

**République Algérienne Démocratique et Populaire**

**Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la  
Recherche Scientifique**

**Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued**

**FACULTE DE TECHNOLOGIE**



**Mémoire de fin d'étude**

Présenté pour l'obtention du diplôme de

**MASTER ACADEMIQUE**

Domaine: Sciences et Technologies

Filière: Industries Pétrochimiques

Spécialité: Génie Pétrochimique

Présenté par:

- SOUCI Ishak
- DERKOUICHE Abdennour
- CHIBANI Yahia

**Thème**

*Elaboration d'un matériau composite à base d'un polymère  
et l'étude de sa capacité d'isolation thermique.*

*Etude théorique*

Devant le jury composé de:

Mr. OUCIF Khaled Mouhamed Tayeb	Président	Université d'EL OUED
Mr. BOUDOUH Issam	Examineur	Université d'EL OUED
Mr. BOUGHEZAL Abdeslam	Encadreur	Université d'EL OUED

**2019-2020**



## Résumé :

Les polymères sont connus pour leur caractère isolant électriquement et thermiquement. Cependant, la modification au niveau de la matrice peut donner des résultats très intéressants en matière d'isolation et donc de l'application. L'ajout d'une fibre végétale du palmier dattier à la matrice polymère conduit à un matériau composite d'une grande importance. Notre objectif est d'élaborer un tel composite et l'étude de ses capacités d'isolation par détermination de sa conductivité thermique en fonction de quelques paramètres à savoir l'épaisseur et le rapport matrice/fibre. Le travail présenté est une recherche théorique dont des travaux publiés récemment sont exposés.

**Mots clés :** composites, polymère isolant, conductivité thermique, palmier dattier.

## الملخص :

تشتهر البوليمرات بطابعها العازل للكهرباء والحرارة. ومع ذلك، فإن تعديل المصفوفة يمكن أن يعطي نتائج مهمة للغاية من حيث العزل وبالتالي التطبيق. ينتج عن إضافة الألياف النباتية من نخيل التمر إلى مصفوفة البوليمر مادة مركبة ذات أهمية كبيرة. هدفنا هو تطوير مثل هذا المركب ودراسة قدراته العازلة من خلال تحديد التوصيل الحراري كدالة لعدد قليل من المعلمات، وهي السماكة ونسبة المصفوفة/الألياف. العمل المقدم هو بحث نظري يتم عرض الأعمال التي تم نشرها مؤخرًا.

**الكلمات المفتاحية:** المركبات، البوليمر العازل، التوصيل الحراري، نخيل التمر.

## Abstract :

Polymers are known for their electrically and thermally insulating character. However, modifying the matrix can give very interesting results in terms of insulation and therefore application. The addition of a plant fiber from the date palm to the polymer matrix results in a composite material of great importance. Our goal is to develop such a composite and study its insulation capacity by determining its thermal conductivity as a function of a few parameters, namely the thickness and the matrix / fiber ratio. The presented work is theoretical research of which recently published works are exposed.

**Keywords:** composites, insulating polymer, thermal conductivity, date palm.

# *Dédicace*

Je dédie ce travail à mes êtres chers, dont ma mère et mon père, et je dédie également ce travail à mes collègues qui y ont participé, à savoir

Abdenmour Derkouche et Yahya Shaibani.

Et à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin.

**Ishak**

# *Dédicace*

Je dédie ce travail à mes honorables père et mère et à tous ceux qui ont  
tendu la main.

en particulier mes amis et camarades de classe tout au long de ces cinq  
années pleines de beaux souvenirs.

et je ne peux pas oublier la mention de mon seul et cher frère pour  
m'avoir soutenu et m'encourager et à la fin je dis  
merci à tous.

**Abdennour**

# *Dédicace*

Je dédie ce travail à mes chers père et mère, je donne également ce travail

en cadeau à tous mes amis

et collègues du département de génie pétrochimique,

et je ne peux pas oublier ma famille ,mes frères et sœurs et toute ma

famille et mes voisins qui ont attendu mon succès alors je vous le dis à

tous, que Dieu vous récompense.

**Yahia**

# *Remerciements*

Tout d'abord, nous remercions Dieu Tout-Puissant pour la grâce et le succès pour nous dans ce travail, et nous adressons également nos sincères remerciements au directeur de cette recherche, Mrs **Abdeslam Boughezal**, pour son aide et ses conseils tout au long de cette période de recherche,

Nous tenons à remercier également le président et les membres de jury d'avoir accepté de juger notre travail.

Nous remercions tous les professeurs de la faculté de Technologies, en particulier le personnel enseignant du Département de génie des procédés et pétrochimie. Tout comme nous ne pouvons oublier nos frères et collègues étudiants du département, que nous avons accompagnés pendant cinq ans avec son amertume et sa douceur.



# SOMMAIRE

## Sommaire

### Résumé

### DEDICACE

### REMERCIEMENTS

### SOMMAIRE

### ABREVIATION ET SYMBOLES

### LISTE DES FIGURES

### LISTE DE TABLEAUX

### INTRODUCTION GENERALE..... 2

#### Chapitre I: Les matrices polymères

I.1. Introduction: .....	2
I.2. Quelques définitions: .....	2
I.2.1. Un polymère: .....	2
I.2.2. Les monomères: .....	3
<b>I.2.3. La polymérisation : .....</b>	<b>3</b>
I.2.4. Un homopolymère: .....	3
I.2.5. Un copolymère: .....	3
I.3. structure des polymères: .....	3
I.3.1. Les polymères linéaires (mono dimensionnels): .....	3
I.3.2. Polymères ramifié (Bidimensionnels): .....	4
I.3.3. Polymères réticulé (tridimensionnels): .....	4
I.4. classification des polymères: .....	4
I.4.1. Polymères naturels: .....	4
I.4.2. Polymères artificiels: .....	5
I.4.3. Polymères synthétique: .....	5
I.5. Les grandes familles de plastique: .....	5
I.5.1. Les polymères thermoplastiques: .....	5
I.5.2. Les polymères thermodurcissables: .....	7
I.5.3. Les élastomères: .....	7
I.6. Propriétés des matériaux polymères : .....	8
I.6.1. Propriétés mécaniques : .....	8
I.6.2. Propriétés physiques : .....	8
I.6.3. Propriétés optiques : .....	9
I.6.4. Propriétés thermiques: .....	9
I.6.5. Propriétés électriques: .....	10
I.6.6. Propriétés chimiques : .....	10
I.7. La polymérisation: .....	10
I.7.1. Définition de la Polymérisation: .....	10
I.7.2. Mécanisme de polymérisation des polymères: .....	11
I.7.2.1. Polymérisation par condensation ou polymérisation par étapes: .....	11

#### Chapitre II: les composites polymères/fibre végétale

II.1. Définition d'un composite à matrice polymère: .....	15
II.2. Matériaux de matrice: .....	15
II.2.1. Thermodurcissables: .....	15
II.2.2. Thermoplastiques: .....	16
II.2.3. Les fibres: .....	16
II.3. Propriétés des composites à matrice polymère: .....	17

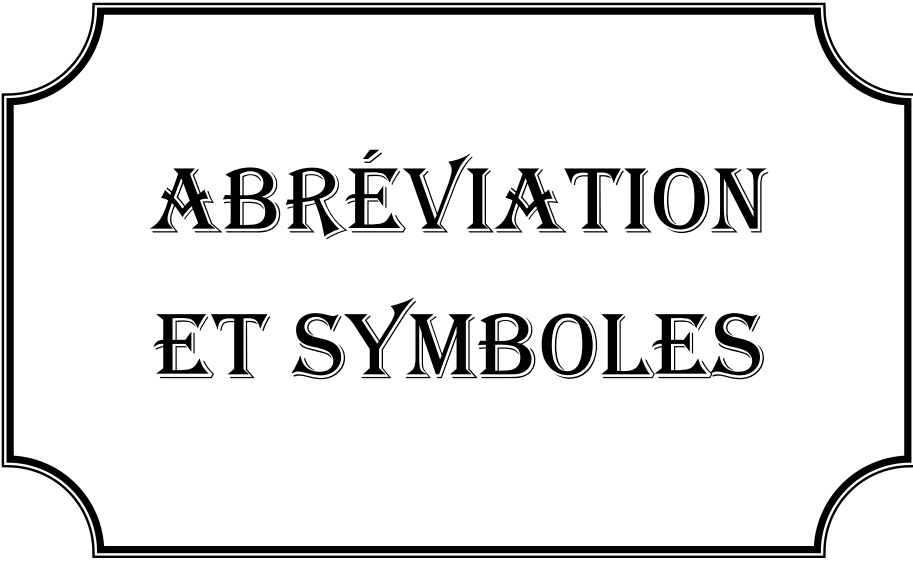
## Sommaire

---

II.4.Applications des composites à matrice polymère: .....	17
II.4.1.Véhicules de transport: .....	17
II.4.2.Véhicules automobiles:.....	17
II.4.3.Véhicules aérospatiaux: .....	17
II.4.4.Véhicules marins:.....	18
II.4.5.Dispositifs médicaux.....	18
II.5. Les différents types de fibres naturelles:.....	18
II.5.1.Les fibres naturelles: .....	18
II.5.2.Les fibres végétales: .....	18
II.5.3.Les fibres animales: .....	19
II.5.4.Les fibres minérales: .....	19
II.6. Les fibres végétales: .....	19
II.6.1 Définition de la fibre végétale: .....	19
II.6.2.Structure de la fibre végétale: .....	19
II.6.3.types de fibres végétales: .....	20
II.7.Propriétés des fibres végétales: .....	21
II.7.1. Propriétés physiques des fibres végétales:.....	21
II.7.2. Propriétés mécaniques: .....	21
II.7.3. Propriétés thermiques: .....	21
II.8.Principaux avantages et inconvénients des matériaux composites à charges végétales:22	
II.9. Application des composites à base des fibres végétales: .....	22
II.9.1.Autres applications: .....	22
II.10.La composition chimique des charges végétales: .....	23
II.10.1.Cellulose: .....	24
II.10.2.Les hémicelluloses:.....	25
II.10.3.Pectine:.....	25
II.10.4.La lignine: .....	25
II.10.4.La cire: .....	26

### Chapitre III: Exposé de quelques Travaux de recherches

1. Travaux de M. Zepeng et all,[21]. .....	28
2. Travaux de M.S.R. Beninet all,[22]. .....	29
3. Travaux de Manish Kumar Rawat et all,[23]. .....	31
4. Travaux de Boudjemaa AGOUDJIL et all,[24]. .....	32
5. Travaux de Junshuai Miao ,Yunzhi Fanget all ,[25]. .....	33
6. ravaux de Zhe Zhang et Yu Du,[26]......	34
7. Travaux de M. Saeed Barkhad et all. ,[27]......	35
8.Travaux de S. P. Jani et all. [28]......	36
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>37</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>40</b>



**ABRÉVIATION  
ET SYMBOLES**

## Abréviation et symboles

---

### Abréviation et symboles

<b>Symboles Désignation</b>	
PVC	Polychlorure de vinyle.
PMC	Composite à Matrice Polymère
MDA	Méthylène-Dianiline
DDS	Sulfonyldianiline
HDI	Diisocyanate d'Hexaméthylène
MDI	Diisocyanate de Méthylène
TDI	Toluène Diisocyanate
<b>Tg</b>	La température de transition vitreuse.
<b>Tf</b>	La température de fusion.



**LISTE DES  
FIGURES**

### Liste des figures

<b>Figure I. 1:</b> polymères ramifiés. ....	4
<b>Figure I. 2:</b> polymères ramifiés. ....	4
<b>Figure I. 3:</b> Les polymères Thermoplastiques .....	6
<b>Figure I. 4:</b> La structure amorphe .....	6
<b>Figure I. 5:</b> La structure semi-cristalline .....	6
<b>Figure I.6:</b> polymère élastomère. ....	8
<b>Figure I.7:</b> Vue schématique d'une réaction de polycondensation. ....	12
<b>Figure I.8:</b> Polymérisation par ouverture d'une double liaison (d'éthylène, par exemple)]. ...	12
<b>Figure II. 1:</b> Structure d'une fibre végétale. ....	23
<b>Figure II.2:</b> La structure de la cellulose .....	24
<b>Figure II.3:</b> Structure d'un type de xyloglucane .....	25
<b>Figure II.4:</b> (a) Le réseau de pectine, (b) L'interaction de calcium avec la pectine. ....	25
<b>Figure II.5:</b> Exemple générique de la macromolécule lignine. ....	26
<b>Figure II.5:</b> Représentation schématique de l'agencement des différents composants des fibres végétales à l'échelle micrométrique. ....	26
<b>Figure III.1:</b> Taux de perte de poids des films PVC et des films composites PVC / CaCO <sub>3</sub> . ...	28
<b>Figure III.2:</b> Micro dureté des composites. ....	31
<b>Figure III.3:</b> Comparaison de la masse volumique et de la conductivité thermique du bois de palmier dattier à d'autres matériaux naturels. ....	32
<b>Figure III.4:</b> Images SEM des résidus de char de EPO (A), PPOP1 / EP-5,0 (B) et PPOP2 / EP-5,0 (C); Spectres Raman des résidus carbonisés de EPO (D), PPOP1 / EP-5,0 (E) et PPOP2 / EP-5,0 (F). ....	33
<b>Figure III.5:</b> Perte de transmission sonore des panneaux en acier, aluminium et CFRP avec la même rigidité en flexion dans la gamme de fréquences entre 50 et 300 Hz. ....	34
<b>Figure III.6:</b> Résultats des tests de conductivité thermique. ....	35
<b>Figure III.7:</b> Résultats des tests de diffusion thermique en fonction du niveau de DPP dans les composites. ....	35
<b>Figure III.8:</b> Résultats des tests thermiques dans le domaine de l'isolation thermique. ....	36



**LISTE DES  
TABLEAUX**

## Liste de tableaux

---

### Liste de tableaux

<b>Tableau I. 1:</b> Les différences essentielles entre thermoplastiques(TP) et thermodurcissables(TD) .	7
<b>Tableau I.2:</b> Propriétés mécanique de quelques polymères	8
<b>Tableau I.3:</b> Indice de réfraction et les facteurs de transmission de quelques matériaux.	9
<b>Tableau I.4:</b> Rapport entre le degré de polymérisation et la vitesse de conversion dans une réaction de croissance par étapes	12
<b>Tableau II.1:</b> Présente une liste des différentes fibres et les propriétés associées à chacune d'elles.	20
<b>Tableau II.2:</b> Propriétés mécaniques de différentes fibres naturelles et synthétiques	21
<b>Tableau II.3:</b> Composition chimique (en %) de différentes fibres végétales	24
<b>Tableau III. 1:</b> Représentant certaines propriétés des fibres naturelles utilisées pour renforcer le composite à matrice polymar.	30



**INTRODUCTION  
GÉNÉRALE**

## **Introduction générale**

---

### **Introduction générale**

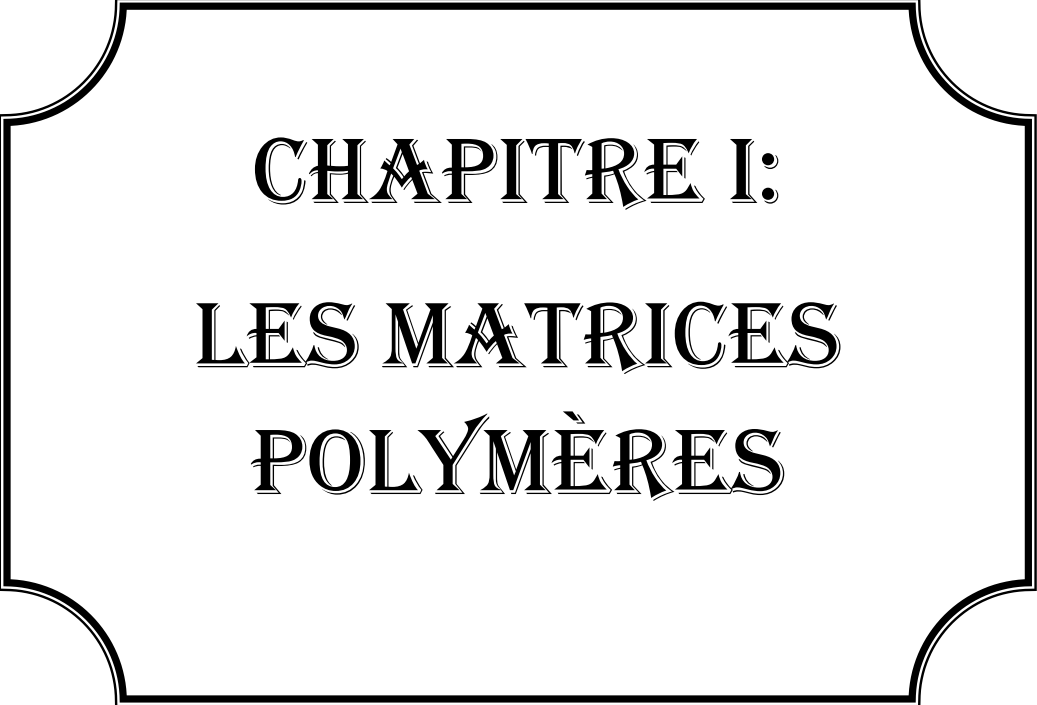
Les composites sont des matériaux constitués généralement d'une matrice et d'un renfort, ce mélange de deux ou plus de constituants offre aux chercheurs une grande opportunité de modification au niveau structurel ou compositionnel permettant ainsi l'élaboration de nouveaux matériaux avec des propriétés et caractéristiques spécifiques. Cependant, et vues les exigences environnementales, les matérialistes concentrent leurs efforts sur la fabrication de matériaux qui ne posent pas de nuisance à la nature lors ou après leur utilisation c'est ce qu'on appelle 'eco-friendly materials'.

Les matériaux polymères synthétiques, utilisés quotidiennement en quantités énormes, sont des composés chimiques non dégradables ou difficilement dégradables. Cependant, l'incorporation d'une charge naturelle biodégradable dans la matrice polymère est l'une des solutions dont beaucoup de chercheurs l'ont suivi.

Parmi les plusieurs domaines d'utilisation et d'application des matériaux composites la matrice polymère et charge naturelle est celui de l'isolation, thermique surtout, dans les secteurs de construction, de l'électricité et de l'automobiles.

Le large disponibilité de la charge naturelle végétale (palmier dattier) dans la région locale (Oued Souf) nous a fait penser à l'utiliser sous forme de fibre biodégradable dans la matrice thermoplastique et exploiter sa possible utilisation dans le domaine d'isolation thermique.

Le mémoire, présenté sous forme d'une étude théorique, est composé de trois chapitres dont le premier traite la matrice polymère d'une façon générale, le deuxième est consacré aux composites polymères/charge végétale tandis que le troisième est une exposée de quelques travaux de recherches publiés récemment.



**CHAPITRE I:**  
**LES MATRICES**  
**POLYMÈRES**

**I.1. Introduction:**

Un matériau est appelé plastique, qu'il soit naturel ou synthétique, quand après avoir été déformé par une action externe (température + contrainte, pression, ...), il conserve la forme acquise après la fin de cette action. Il vient du mot grec plastikos qui signifie modelable.

Scientifiquement il a le nom polymère, qui veut dire en grec plusieurs unités. C'est un matériau organique composé essentiellement d'atomes de carbone et d'hydrogène.

Dans les années 1920, Hermann Staudinger a démontré qu'il était formé de longues chaînes moléculaires qualifiées de macromolécules, elles-mêmes formées d'une répétition de molécules élémentaires appelées monomères (motifs, éléments de base, mères). Ainsi la molécule de polyéthylène est formée de l'association en chaînes du motif  $-CH_2-CH_2-$  provenant molécules élémentaires appelées monomères (motifs, éléments de base, mères). Ainsi la molécule de polyéthylène est formée de l'association en chaînes du motif  $-CH_2-CH_2-$  provenant de l'éthylène  $C_2H_4$ . Le nombre de motifs  $n$  qui est entier, peut être extrêmement élevé jusqu'à  $10^6$ .

La méthode d'élaborer le polymère à partir de monomères ou macromolécules est appelée la polymérisation.[1]

**I.2. Quelques définitions:****I.2.1. Un polymère:**

Un polymère est une substance composée de longues chaînes moléculaires appelées Macromolécules. Une macromolécule résulte de l'enchaînement par liaison covalente, d'unités constitutives (ou groupes d'atomes) appelés « mères » (provenant du grec «meros» qui signifie «partie»). [2]

Les polymères forment une classe de matériaux très importante sans laquelle la vie semble très difficile. Ils sont partout autour de nous dans l'usage quotidien; en caoutchouc, en plastique, en résines et en bandes adhésives et adhésives. Le mot polymère est dérivé de mots grecs, poly = plusieurs et mers = parties ou unités de masse moléculaire élevée dont chaque molécule est constituée d'un très grand nombre d'unités structurelles uniques réunies de manière régulière. En d'autres termes, les polymères sont des molécules géantes de poids moléculaire élevé, appelées macromolécules, qui sont constituées par la liaison d'un grand nombre de petites molécules, appelées monomères.

**I.2.2 Les monomères:**

Ce sont les composés de base des polymères. Relevant de la chimie organique, ils associent par des liaisons covalentes des atomes de carbone et des atomes d'hydrogène, d'oxygène, d'azote, plus éventuellement des atomes de chlore, de fluor, de soufre, etc.. Le terme macromolécule est souvent utilisé à la place de polymère [3, 4].

**I.2.3. La polymérisation :**

La polymérisation est la réaction qui, à partir des monomères, forme en les liants des composés de masse moléculaire plus élevée, les polymères ou macromolécules. Les noyaux des monomères sont le plus souvent constitués d'un atome de carbone (molécules organiques) ou d'un atome de silicium (polymères siliconés).[3]

**I.2.4. Un homopolymère:**

est un polymère qui comporte des motifs monomères tous identiques.

**I .2.5. Un copolymère:**

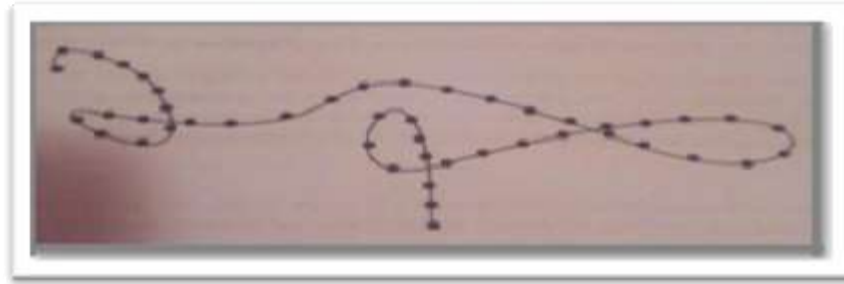
Est un polymère qui comporte des motifs monomères de deux ou plus sortes différentes. Les polymères peuvent être d'origine naturelle (animale ou végétale) ou d'origine synthétique. Les macromolécules naturelles sont les caoutchoucs, les polysaccharides, le glycogène, l'ADN, les protéines... Les macromolécules synthétiques sont représentées par exemple par le polyéthylène PE, le polypropylène PP, le polystyrène PS, le polychlorure devinyle PVC, le poly tétra fluoroéthylène PTFE, les polycarbonates PC, les poly-imides PI.[3]

**I .3. structure des polymères:**

Les polymères peuvent présenter des architectures extrêmement variables, on distingue :

**I.3.1. Les polymères linéaires (mono dimensionnels):**

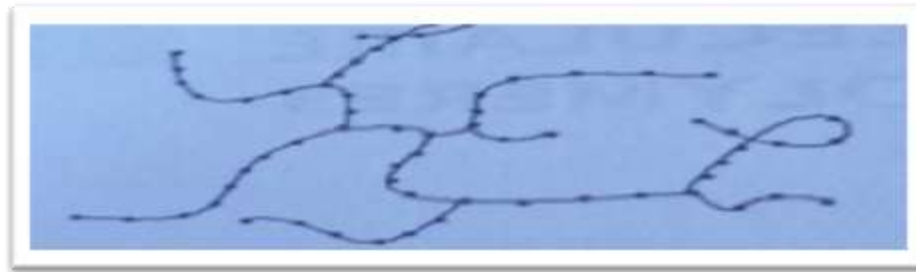
Chaque chaîne macromoléculaire est constituée d'un nombre (éventuellement élevé) mais finis d'unités monomères ; de tel systèmes correspondent à la polymérisation de monomères bivalents et une macromolécule linéaire peut être très schématique ment représentée par un trait continu divisé en intervalles figurant chacun une unité monomère[5].



**Figure I. 1: polymères ramifiés[5].**

### **I.3.2. Polymères ramifié (Bidimensionnels):**

Les polymères ramifiés se présentent sous la forme de feuillets bidimensionnels, d'épaisseur comparable à celle des molécules simples(Figure2) [5].



**Figure I. 2: polymères ramifiés.**

### **I.3.3. Polymères réticulé (tridimensionnels):**

Résultant de la polymérisation de monomères dont la valence moyenne est supérieur à deux; ils peuvent être aussi obtenus par la réticulation (formulation d'un réseau tridimensionnel), par voie physique, ou chimique de polymère linéaire. Leur dimension moléculaire peut être considérée comme infinie puisque toutes les unités monomères constitutives d'un objet sont liées de façon covalente pour former une seule macromolécule[5].

## **I.4. classification des polymères:**

### **I.4.1. Polymères naturels:**

Les polymères naturels sont issus du règne végétal ou l'animal, leur importance est considérable. On peut mentionner dans cette catégorie, la famille des polysaccharides(cellulose, amidon...), le caoutchouc naturel, etc[5].

**I.4.2. Polymères artificiels:**

Les polymères artificiels sont obtenus par modification chimique de polymères naturels, de façon à transformer certaines de leurs propriétés. Les esters cellulosiques (nitrocellulose, acétate de cellulose...) ont toujours connu une certaine importance économique [5].

**I.4.3. Polymères synthétique:**

Les molécules monomères qui permettent de les obtenir n'existent pas dans la nature, cependant on peut remarquer que les structures réalisées par synthèse sont souvent proches de celles des polymères naturels [5].

**I.5. Les grandes familles de plastique:**

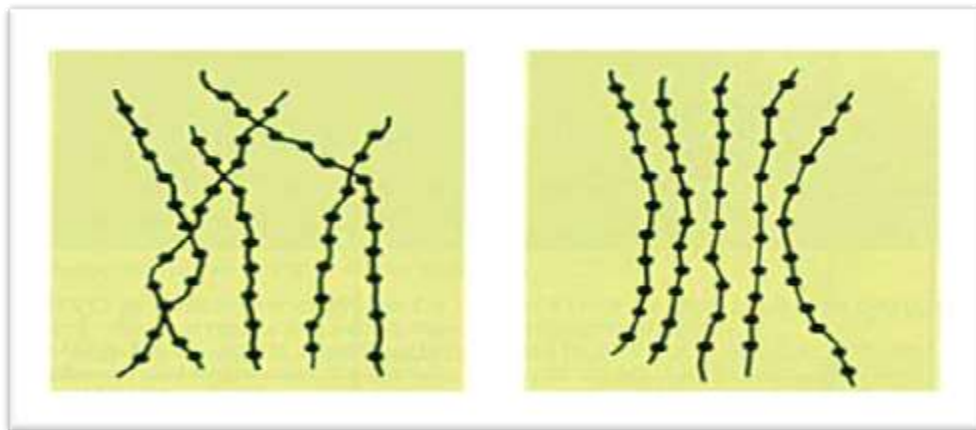
Il existe plusieurs façons de classer les matériaux polymères suivant leur structure, leur origine, leurs propriétés, leur domaine d'application. Une classification classique est de regrouper en trois grandes catégories mettant en évidence leur « élasticité » ou « plasticité ».

**I.5.1. Les polymères thermoplastiques:**

Ces polymères possèdent une structure chimiquement linéaire (figure 3), Il est composé de chaînes macromoléculaires liées entre elles par des forces de cohésion. Les chaînes peuvent être:

- Linéaires et denses : dans ce cas le polymère sera rigide, comme le PEHD (polyéthylène haute densité).
- Ramifiées : dans ce cas le polymère sera plus souple comme le PEBD (poly éthylène basse densité) [6].

Les polymères thermoplastiques ont tendance à avoir un comportement liquide par élévation de température et à redevenir rigide au refroidissement. Il en résulte qu'ils peuvent être chauffés et mis en forme, puis réchauffés et remis en forme de manière répétitive, la forme des macromolécules est généralement linéaire ou peu branchée [7]. Grâce à leur facilité dans la mise en œuvre et à leur possibilité d'être fondus plusieurs fois, les thermoplastiques correspondent à 80% du marché mondial.



**Figure I. 3:**Les polymères Thermoplastiques [8].

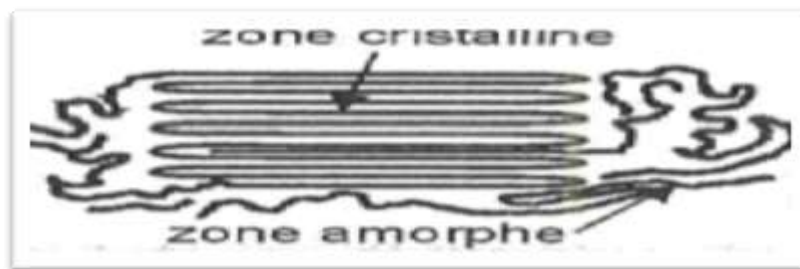
On peut distinguer deux sous classe de Thermoplastiques:

**-Les amorphes:** La structure amorphe où les chaînes moléculaires en vrac, sans aucune organisation particulière (figure 4).



**Figure I. 4:**La structure amorphe [9].

**-Les Semi-cristallin :** La structure semi cristalline ou une proportion variable des chaînes moléculaires, selon la nature du polymère, va s'organiser sous forme de cristallites(figure 5). Une cristallite est la conséquence d'un repliement d'une chaîne moléculaire sur elle-même ou d'un agencement régulier et ordonné de celle-ci. Le reste de la structure est à l'état amorphe.



**Figure I. 5:**La structure semi-cristalline [9]

Parmi les Thermoplastiques de grand tonnage on trouve (Figure 6)

- Le Polyéthylène à haute densité (PEHD);
- Le polyéthylène (PE);
- Les polycarbonates (PC);
- Le polychlorure de vinyle (PVC).

**I.5.2. Les polymères thermodurcissables:**

Les polymères thermodurcissables subissent une transformation chimique lorsqu'ils sont chauffés, leurs molécules forment un réseau tridimensionnel réticulé. Une fois que ces matériaux ont été chauffés et mis en forme, ils ne peuvent plus être remis en forme contrairement aux thermoplastiques [7].

Nous distinguons parmi les polymères thermodurcissables :

- Le poly époxyde(EP) ;
- Le poly ester (UP) ;
- Phénoplaste (FP).

Le tableau ci-dessous représente les différences entre les thermoplastiques et les thermodurcissable

**Tableau I. 1:**Les différences essentielles entre thermoplastiques(TP) et thermodurcissables(TD) [10].

	<b>Thermoplastiques</b>	<b>Thermodurcissables</b>
<b>Mise en forme ou moulage sous</b>	Transformation réversible	Fixation irréversible
<b>réaction chimique</b>		
<b>Outillage ou moule</b>	Refroidi	Chauffé
<b>Cycle de production</b>	Rapide	Plus lent environ double
<b>Chutes ou déchets</b>	Recyclables	Perdus

**I.5.3. Les élastomères:**

Les élastomères est le terme générique désignant des polymères à hauts poids moléculaires et dotés de propriétés élastiques. Ils peuvent être d'origine naturelle(caoutchouc) ou synthétique. Certains types d'élastomères sont nommés « élastomères thermoplastiques » car la réticulation disparaît lorsqu'ils sont chauffés. Ils peuvent donc être recyclés, à la différence des autres matériaux de cette famille (figure 7) [6].

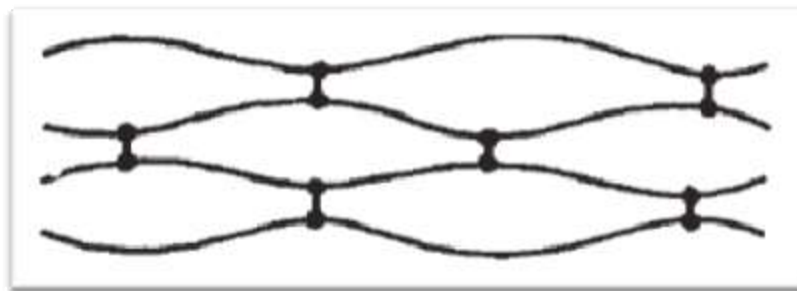


Figure I.6: polymère élastomère [8].

## I.6. Propriétés des matériaux polymères :

### I.6.1. Propriétés mécaniques :

Les propriétés mécaniques sont récapitulées dans le tableau suivant:

**Tableau I.2:** Propriétés mécanique de quelques polymères

Matériau	E(Gpa)	N	Re(MPa)	Rt(MPa)	A(%)	KIC(MPa·m <sup>1/2</sup> )
Mousses polymères	0.001-2	0.25	0.2-10	0.2-10	10-100	0.001-2
Polyamide 6-6 PA	2-4	0.35	50-80	60-110	15-80	0.5-3
Polycarbonate de biphenol PC	2.6	0.40	50	60	15-70	1-2.5
Polyéthylène basse densité PEBD	0.15-0.24	0.44	6-20	7-20	100-100	1-5
Polyéthylène basse densité PEHD	0.55-1	0.42	20-30	20-37	170-1400	2-5
Poly-énthacrylate de méthyle PMMA	3.4	0.39	60-110	60-110	2-10	1-1.6
Polypeopyléne PP	0.9-1.7	0.41	20-35	35-70	60-100	3-3.5
Polysyrène PS	3-3.4	0.39	35-70	40-70	1-4	2
Polyréaflaxreyléne PTFE	0.3-0.8	0.45	10-15	17-40	200-400	3
Polychlerure de vinyle PVC	2.4-3	0.39	40-50	40-60	12-80	2-8

### I.6.2. Propriétés physiques :

Les propriétés physiques des matériaux polymères sont une moyenne de celles des composants quand il s'agit de la masse volumique ou de la reprise d'humidité. Pour le reste,

ces matériaux sont souvent inhomogènes et il n'y a pas de règle d'addition pour prévoir les propriétés à partir de celles des composants. [5]

**I.6.3. Propriétés optiques :**

L'indice de réfraction  $n$  d'un matériau transparent est défini par le rapport de la vitesse de la lumière dans le vide  $C$  à la vitesse de la lumière dans le matériau  $V$  :

$$n = C/V = \sin(i)/\sin(r) \dots \dots \dots (\text{éq. I.1})$$

Ou:

$n$  : L'indice de réfraction.

$C$  : La vitesse de la lumière dans le vide.

$V$  : La vitesse de la lumière dans le matériau

Le tableau suivant représente les indices de réfraction et les facteurs de transmission de quelques matériaux.

**Tableau I.3:** Indice de réfraction et les facteurs de transmission de quelques matériaux.

Matériau	Indice de réfraction	Facteur de transmission (% mm)
Polycarbonate (PC)	1.59	88
Polyméthacrylate de méthyle (PMMA)	1.49 à 1.56	92
Polysulfone (PPSU)	1.65	75
Polytétrafluoréthylène (PTFE)	1.32	0
Résine acrylique	1.49	>99
Styrène-butadiène (SB)	1.57	90

**I.6.4. Propriétés thermiques:**

La température de transition vitreuse " $T_g$ " et la température de fusion " $T_f$ " sont les deux températures fondamentales nécessaires dans l'étude des matériaux polymères. La température de transition vitreuse est partiellement importante pour les polymères amorphes, notamment les thermoplastiques amorphes, pour lesquels, il n'existe aucune force de cohésion importante autre que l'enchevêtrement.

Les zones cristallines ne fondent que bien au-delà de la température de transition vitreuse.

Les températures caractéristiques d'un seul et même matériau peuvent alors être classées de la façon suivante:

Température de transition vitreuse < Température de cristallisation < Température d'effusion < Température de décomposition thermique.

Selon la température à laquelle il est soumis, un matériau polymère peut présenter des comportements mécaniques différents. Ceci peut se produire pour les thermoplastiques semi cristallins dans un domaine même étroit de la température.

### **I.6.5. Propriétés électriques:**

Les polymères organiques sont en général des isolants que des charges conductrices percolates peuvent rendre conducteurs : graphite en poudre ou en fibres, fibres de nickel. La conductibilité en surface, faible, mais suffisante pour assurer un écoulement des charges électriques, est obtenue par des additifs, dits antistatiques, souvent des substances organiques hydrophiles.

### **I.6.6. Propriétés chimiques :**

Le comportement chimique du matériau dépend en grande partie de la nature chimique de la partie polymère mais aussi de son accessibilité aux agents extérieurs. Il faut donc garder en mémoire tout ce qui a été dit sur les propriétés physiques. On traitera dans ce qui suit de l'action des produits chimiques sur le matériau solide, puis du comportement au feu qui est une attaque chimique à température élevée par l'air.

On notera que la distinction entre mise en solution et attaque chimique est théoriquement claire, une solution devant laisser intacte la structure chimique du produit. Cependant des réactifs utilisés comme solvants peuvent être des agents de l'attaque chimique. Ainsi les acides formique ou chloroacétique, qui dissolvent le PA 66, commencent par mettre en jeu une liaison hydrogène avec les fonctions amide ; à température plus élevée ils peuvent provoquer la rupture des liaisons et donc dégrader le polymère chimiquement.

## **I.7. La polymérisation:**

### **I.7.1. Définition de la Polymérisation:**

Est un processus dans lequel des molécules relativement petites, appelées monomères, se combinent chimiquement pour produire une très grande molécule en forme de chaîne ou de réseau, appelée polymère. Les molécules de monomère peuvent être toutes semblables, ou elles peuvent représenter deux, trois ou plusieurs composés différents. Habituellement, au moins 100 molécules de monomères doivent être combinées pour fabriquer un produit qui a certaines propriétés physiques uniques - telles que l'élasticité, la résistance à la traction élevée

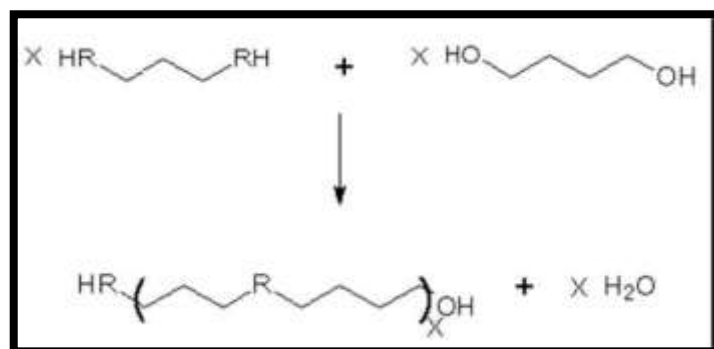
ou la capacité de former des fibres - qui différencient les polymères des substances composées de molécules plus petites et plus simples; souvent, plusieurs milliers d'unités monomères sont incorporées dans une seule molécule d'un polymère. La formation de liaisons chimiques covalentes stables entre les monomères distingue la polymérisation des autres processus, tels que la cristallisation, dans lesquels un grand nombre de molécules s'agrègent sous l'influence de faibles forces intermoléculaires.

### I.7.2.mechanisme de polymérisation des polymères:

L'enchaînement d'un grand nombre de monomères de petites molécules de molécules entre eux pour former une macromolécule ou une molécule de polymère par des réactions chimiques est appelé polymérisation. Il peut également être défini comme le processus fondamental par lequel des composés de faible poids moléculaire sont transportés en composés à poids molaire élevé. En plus des différences de structure et de composition entre les polymères, Flory a souligné la différence très significative dans le mécanisme par lequel les molécules de polymère sont accumulées Bien que Flory ait continué à utiliser les termes «polymérisation par addition» (polymérisation par des procédés d'addition répétés) et «polymérisation par condensation» (olymérisation par des processus de condensation répétés, c'est-à-dire avec élimination de petites molécules) dans sa discussion du mécanisme de polymérisation. Le terme actuel classe la polymérisation en polymérisation par croissance par étapes et polymérisation par croissance de chaîne. Il existe deux types de réaction de polymérisation.

#### I.7.2.1.Polymérisation par condensation ou polymérisation par étapes:

Le principe de la réaction inclut la réaction d'un monomère avec deux groupement fonctionnels réactifs différents ou la combinaison de deux monomères bi fonctionnels formant un polymère et générant un sous-produit qui est, dans de nombreux cas, de l'eau. Une vue schématique de la réaction est représentée à la Figure I.7. [7].



**Figure I.7:** Vue schématique d'une réaction de polycondensation [11].

La polycondensation est considérée comme « une réaction de croissance par étapes ». Le procédé doit utiliser souvent (mais pas toujours) un catalyseur d'habitude sous forme de sel métallique ou d'une combinaison de sels métalliques.

En raison des caractéristiques propres au procédé, le degré d'avancement de polymérisation est généralement inférieur à celui d'une polymérisation en chaîne (entre 1000 et 10 000). La molécule grandit point par point à une vitesse relativement faible. La croissance se procède doucement du monomère au dimère, trimère, etc. jusqu'à ce que ne soient élaborées des macromolécules entières ; cette élaboration ne se fera qu'à des vitesses de conversion élevées à la fin du temps de réaction, comme il est indiqué au Tableau I.3:

**Tableau I.4:** Rapport entre le degré de polymérisation et la vitesse de conversion dans une réaction de croissance par étapes [11].

Degré de polymérisation	Conversion nécessaire
2	50%
10	90%
100	99%
1000	99.9%
10000	99.99%

### I.7.2.2. Polymérisation par addition ou polymérisation en chaîne:

La polymérisation représente le procédé de réaction le plus important et produit, entre autres, le polyéthylène plastique (PE), le polypropylène (PP), le chlorure de vinyle (PVC) et le polystyrène (PS).

Le principe de réaction inclut l'ouverture de la double liaison de la chaîne monomère (voir Figure I.1) ainsi que l'enchaînement de nombreuses molécules monomères formant une longue chaîne de macromolécules saturées. [11]

**Figure I.8:** Polymérisation par ouverture d'une double liaison (d'éthylène, par exemple) [11].

Une différenciation est faite entre la polymérisation radicale et ionique en fonction de l'activation (type d'amorçage) :

- les initiateurs radicaux peuvent être l'oxygène ou, à des températures opératoires plus élevées, des peroxydes organiques, des azoïques ou, tout simplement, la chaleur, comme c'est le cas du polystyrène et, à des températures opératoires inférieures, des systèmes d'oxydoréduction tel que le persulfate / bisulfite.
- les catalyseurs ioniques (y compris organométalliques) sont pour la plupart d'une nature très complexe et nécessitent souvent un procédé de production séparé à l'intérieur de l'usine. Les catalyseurs ioniques modernes sont tellement efficaces, que l'élimination du catalyseur après la polymérisation n'est plus requise pour la plupart des utilisations.

La polymérisation réelle peut être réalisée en masse, dans l'eau, dans des solvants ou dans des dispersants organiques. Le déroulement d'un procédé de réaction peut généralement être décrit comme suit:

- réaction d'amorçage.
- réaction de croissance.
- réaction de rupture.

# CHAPITRE II:

## *LES COMPOSITES POLYMÈRES/FIBRE VÉGÉTALE*

**II.1.Définition d'un composite à matrice polymère:**

Un composite à matrice polymère (PMC) est un matériau composite composé d'une variété de fibres courtes ou continues liées entre elles par une matrice polymère organique. Les PMC sont conçus pour transférer des charges entre les fibres d'une matrice. Certains des avantages des PMC incluent leur légèreté, leur haute rigidité et leur haute résistance dans la direction de leurs renforts. D'autres avantages sont une bonne résistance à l'abrasion et une bonne résistance à la corrosion[13].

**II.2.Matériaux de matrice:**

La fonction de la matrice dans les PMC est de lier les fibres entre elles et de transférer les charges entre elles. Les matrices PMC sont généralement des thermodurcissables et des thermoplastiques. Les thermodurcissables sont de loin le type le plus utilisé aujourd'hui. Les thermodurcissables sont subdivisés en plusieurs systèmes de résine comprenant des époxydes, des phénoliques, des polyuréthanes et des polyimides. Parmi ceux-ci, les systèmes époxy dominant actuellement l'industrie des composites avancés [12].

**II.2.1.Thermodurcissables:**

Les résines thermodurcissables nécessitent l'ajout d'un agent de durcissement ou d'un durcisseur et une imprégnation sur un matériau de renforcement, suivi d'une étape de durcissement pour produire une pièce durcie ou finie. Une fois durcie, la pièce ne peut être ni modifiée ni reformée, sauf pour la finition. Certains des thermodurcissables les plus courants comprennent l'époxy, les polyuréthanes, les résines phénoliques et amino, les bismaléimi des (IMC, polyimides), les polyamides. [17].

Parmi ceux-ci, les époxydes sont les plus couramment utilisés dans l'industrie. Les résines époxy sont utilisées dans l'industrie américaine depuis plus de 40 ans. Les composés époxy sont également appelés composés glycidyliques. La molécule d'époxy peut également être expansée ou réticulée avec d'autres molécules pour former une grande variété de produits de résine, chacun avec des caractéristiques de performance distinctes. Ces résines vont des liquides de faible viscosité aux solides de poids moléculaire élevé. Ce sont généralement des liquides à haute viscosité.

Le deuxième des ingrédients essentiels d'un système composite avancé est l'agent de durcissement ou le durcisseur. Ces composés sont très importants car ils contrôlent la vitesse de réaction et déterminent les caractéristiques de performance de la pièce finie. Puisque ces composés agissent comme catalyseurs de la réaction, ils doivent contenir des sites actifs sur leurs molécules. Certains des agents de durcissement les plus couramment utilisés dans l'industrie des composites avancés sont les amines aromatiques. Deux des plus courants sont la méthylène-dianiline (MDA) et la sulfonyldianiline (DDS). [Citation nécessaire] Les composites à matrice SiC-SiC sont une matrice céramique à haute température traitée à partir de polymères précéramiques (précurseurs polymériques SiC) pour infiltrer une préforme fibreuse pour créer une matrice SiC [18].

Plusieurs autres types d'agents de durcissement sont également utilisés dans l'industrie avancée des composites. Ceux-ci comprennent les amines aliphatiques et cyclo aliphatiques, les polyaminoamides, les amides et les anhydrides. Là encore, le choix de l'agent de durcissement dépend des caractéristiques de durcissement et de performance souhaitées pour la pièce finie. Les polyuréthanes sont un autre groupe de résines utilisées dans les procédés composites avancés. Ces composés sont formés en faisant réagir le composant polyol avec un composé iso cyanate, typiquement le toluène diisocyanate (TDI); Le diisocyanate de méthylène (MDI) et le diisocyanate d'hexaméthylène (HDI) sont également largement utilisés. Les résines phénoliques et aminées sont un autre groupe de résines PMC. Les bismaléimides et les polyamides sont des nouveaux venus dans l'industrie avancée des composites et n'ont pas été étudiés dans la mesure des autres résines [15].

### **II.2.2. Thermoplastiques:**

Les thermoplastiques représentent actuellement une part relativement petite de l'industrie des PMC. Ils sont généralement fournis sous forme de solides non réactifs (aucune réaction chimique ne se produit pendant le traitement) et ne nécessitent que de la chaleur et de la pression pour former la pièce finie. Contrairement aux thermodurcissables, les thermoplastiques peuvent généralement être réchauffés et reformés en une autre forme, si on le souhaite [16].

### **II.2.3. Les fibres:**

Les PMC renforcés de fibres contiennent environ 60% de fibres de renforcement en volume. Les fibres couramment trouvées et utilisées dans les PMC comprennent la fibre de verre, le graphite et l'aramide. La fibre de verre a une rigidité relativement faible tout en présentant une résistance à la traction compétitive par rapport aux autres fibres. Le coût de la fibre de verre est également considérablement inférieur à celui des autres fibres, c'est

pourquoi la fibre de verre est l'une des fibres les plus largement utilisées. Les fibres de renforcement ont leurs propriétés mécaniques les plus élevées sur leurs longueurs plutôt que sur leurs largeurs. Ainsi, les fibres de renforcement peuvent être disposées et orientées dans différentes formes et directions pour fournir différentes propriétés physiques et avantages en fonction de l'application.

### **II.3. Propriétés des composites à matrice polymère:**

Les propriétés du PMC dépendent de la matrice, du ferrailage et de l'interphase. Par conséquent, de nombreuses variables doivent être prises en compte lors de la conception d'un PMC. Ceux-ci incluent non seulement les types de matrice et de ferrailage mais aussi leurs proportions relatives, la géométrie du ferrailage et la nature de l'interphase.

Chacune de ces variables doit être soigneusement contrôlée pour produire un matériau de structure optimisé pour les conditions pour lesquelles il doit être utilisé [13].

### **II.4. Applications des composites à matrice polymère:**

#### **II.4.1. Véhicules de transport:**

les composites à matrice polymère trouvent de nombreuses utilisations dans les applications automobiles, aérospatiales et marines. Quelques exemples de ces utilisations sont fournis ci-dessous. Voir Polymères et composites dans l'industrie des transports pour une discussion plus détaillée [14].

#### **II.4.2. Véhicules automobiles:**

Des exemples d'utilisation de composites à matrice polymère comprennent des pneus et diverses courroies et tuyaux ainsi que des composants composites à matrice polymère dans des carrosseries automobiles. Certaines voitures de sport très chères, comme Bugatti, utilisent un composite à matrice polymère renforcé de fibre de carbone comme principal matériau de construction de la carrosserie [14].

#### **II.4.3. Véhicules aérospatiaux:**

Les composites à matrice polymère sont également utilisés dans les pneus et les intérieurs d'avions. De valeur encore plus grande, cependant, est la capacité des composites à matrice polymère à aider à satisfaire la volonté incessante de l'industrie aérospatiale d'améliorer les performances tout en réduisant le poids. Plus important encore, les composites à matrice polymère renforcés de fibres peuvent être optimisés pour combiner une résistance, une rigidité et une ténacité élevées et une faible densité [14].

**II.4.4. Véhicules marins:**

Les composites à matrice polymère trouvent de nombreuses utilisations dans les véhicules marins. Les bateaux en fibre de verre sont parmi les exemples les plus connus car la fibre de verre est un composite où un polymère de matrice est renforcé par des fibres de verre qui peuvent être disposées de manière aléatoire, ou sous forme de tapis à fils coupés ou de tissu tissé[14].

**II.4.5. Dispositifs médicaux**

Les polymères et les composites sont des composants essentiels de nombreux dispositifs et applications médicaux. Quelques exemples de ces utilisations sont fournis ci-dessous.

Les composites à matrice polymère sont utilisés comme composants dans une large gamme de dispositifs médicaux; tels que les scanners IRM, les scanners C, les divans à rayons X, les plaques de mammographie, les tables, les outils chirurgicaux, les fauteuils roulants et les prothèses[14].

**II.5. Les différents types de fibres naturelles:****II.5.1. Les fibres naturelles:**

Les fibres naturelles peuvent être classées selon leur origine. Il est donc possible de distinguer trois grandes familles:

- Les fibres végétales: elles se subdivisent elles-mêmes selon leur provenance. On peut donc citer les fibres libériennes qui sont extraites de tiges de plantes (chanvre, lin, ramie, jute), les fibres dures qui sont extraites de feuilles, de troncs ou d'écorces de fruits (sisal, chanvre démanille, noix de coco), et les fibres qui proviennent des poils séminaux de graines (coton, kapok);
- Les fibres animales: elles peuvent émaner des poils (toison animale) ou encore des sécrétions (soie);
- Les fibres minérales (amiante).

**II.5.2. Les fibres végétales:**

Les fibres végétales sont issues de la biomasse, elles peuvent être extraites du fruit, de la tige ou de la feuille d'une plante. Elles sont principalement composées de cellulose, d'hémicelluloses, de lignines et de pectines. Elles sont surtout utilisées pour leurs avantages inégalés : leur faible densité, leur pouvoir d'isolant thermique, leurs propriétés mécaniques, et notamment pour leur biodégradabilité et atouts écologiques [13].

**II.5.3. Les fibres animales:**

La petite part du marché que tiennent ces fibres (à peine 2%) sur l'ensemble des fibres textiles utilisées dans le monde d'un point de vue tonnage ne reflète pas la proportion économique plus importante. La fibre la plus importante et la plus utilisée est la fibre de laine connue pour ses qualités de bon isolant thermique, son pouvoir absorbant élevé (16-18%) et son élasticité importante (45%) [14].

**II.5.4. Les fibres minérales:**

L'amiante est la seule fibre minérale naturelle. Il a attiré l'attention des industriels pour sa résistance à la chaleur, au feu, aux agressions électriques et chimiques et pour son pouvoir absorbant. Il a été utilisé pour les patins de freins ou en garniture de chaudières ou fours électriques, ou encore dans diverses installations électriques (ex : plaques chauffantes) avant de l'interdire progressivement à cause des risques cancérogènes qu'il présente [15].

**II.6. Les fibres végétales:****II.6.1 Définition de la fibre végétale:**

Les fibres végétales sont des structures biologiques fibrillaires composées de cellulose, hémicelluloses et de lignine. En proportion relativement faible d'extractibles non azoté, de matière protéique brute, de lipide et de matières minérales. Les proportions de ces constituants dépendent énormément de l'espèce, de l'âge et des organes de la plante [16].

**II.6.2. Structure de la fibre végétale:**

La fibre végétale est un composite en elle-même. Le renfort est constitué par les couches de micro-fibrille cellulosiques en partie cristalline. Ce dernier est enrobé d'une matrice polysaccharidique amorphe (hémicellulose et pectine) qui est associée par liaison hydrogène et covalentes à la lignine [17].

La fibre végétale est composée de plusieurs parois parallèles à l'axe de la fibre et disposée en couche superposée dans le sens radiale. Ces différentes couches qui forment la lamelle mitoyenne, la paroi primaire et la paroi secondaire. Ces dernières bordent un lumen de diamètre variable suivant l'espèce. La paroi secondaire est composée de trois couches demicro-fibrilles (S1, S2, S3) [16].

**II.6.3. types de fibres végétales:**

**Le Kenaf** (ou Hibiscus hemb): il provient d'une plante, appelée aussi dah, cultivée aux Indes, en Afrique et dans l'île de Java. La fibre de kenaf a des qualités comparables à celles du jute.

**Le jute:** fibre extraite de la tige de la plante du même nom cultivée en zone tropicale, du genre Corchorus appartenant à la famille des Tiliacées. Il peut être utilisé pour des revêtements de sol.

**Le sisal:** fibre extraite des feuilles d'un agave originaire du Mexique du genre Agave appartenant à la famille des Agavacées (Agave sisalana). Elle peut être utilisée pour des revêtements de sol.

**Le lin:** fibre extraite de la tige de la plante du même nom cultivée en zone tempérée, du genre Linus appartenant à la famille des Linacées.

**Le chanvre:** fibre extraite de la tige de la plante du même nom cultivée en zone tempérée, du genre Cannabis appartenant à la famille des Cannabinacées.

**Le coton:** fibres extraites des fruits des cotonniers, plantes cultivées en zone subtropicale à tropicale, du genre Gossypium appartenant à la famille des Malvacées.

**Le coir de la noix de coco:** les fibres sont prélevées dans le coir (mesocarpe fibre) de la noix de coco et sont utilisées en corderie et en sparterie (objet tissé, vanné ou tressé) .

Les performances varient d'une fibre à une autre et il convient donc de noter que chaque type de fibres, dans ce cas les fibres végétales ou cellulosiques, possèdent des caractéristiques très variables, dues au caractère naturel .

**Tableau II.1:** Présente une liste des différentes fibres et les propriétés associées à chacune d'elles.

Fibre	Longueur de la Fibre technique (mm)	Diamètre ( $\mu\text{m}$ )	Module de Traction (GPa)	Déformation maximale (%)
Genêt d'Espagne	50-120	5-10	22	2,5-12
Coton	25	12-23	6-10	6-8
Lin	4-8.5	12-30	50-70	1.3-3.3
Chanvre	5-40	16-50	30-60	1.7-2.7
Kénafe	2.5-4.5	14-33	60	1.7-2.1
Jute	2.5	5-25	20-55	1.5-2
Sisal	100-125	100-400	9-22	3-14
Banane	4.5-10	50-250	7-20	1.8-3.5
Abaca	60	50-280	-	2.1-2.4

## II.7. Propriétés des fibres végétales:

### II.7.1. Propriétés physiques des fibres végétales:

Les fibres végétales de qualité présentent de grands intérêts dans de nombreux domaines d'application. Même si leurs propriétés font qu'elles ne peuvent pas concurrencer certaines fibres synthétiques pour des utilisations spécifiques, dans de larges domaines, elles peuvent être employées avec succès, voire même avec un gain de performance.[18].

### II.7.2. Propriétés mécaniques:

Les caractéristiques mécaniques des fibres végétales sont toutefois soumises à une variabilité parfois importante. D'une part la composition chimique joue un rôle important:

les espèces produisant des fibres ayant un taux de cellulose élevé possèdent les meilleurs potentiels. La microstructure des fibres a aussi son importance, l'angle micro-fibrillaire et le rapport L/D des fibres élémentaires sont d'autres paramètres influençant la résistance des fibres. Ces paramètres propres à chaque type de plantes peuvent être manipulés par sélection de certaines variétés et par leurs conditions de croissance dans le tableau suivant[18].

**Tableau II.2:** Propriétés mécaniques de différentes fibres naturelles et synthétiques

Fibre	Densité g/cm <sup>3</sup>	Module d'élasticité GPa	Résistance à rupture MPa	Allongement à rupture %
Verre E	2,54	72	2200	4,8
Verre S	2,48	86	4400	5,4
Carbone	1,8	400	2200	0,5
Aramide	1,45	130	3100	1
Lin	1,4-1,5	50-70	500-900	1,3-3,3
Chanvre	1,4-1,5	30-60	310-750	2-4
Coton	1,55	6-10	300-700	6-8

### II.7.3. Propriétés thermiques:

Bien qu'il semble qu'aucune étude n'ait été réalisée pour comparer de façon objective les différentes fibres végétales entre elles, il semblerait que leurs caractéristiques soient assez proches.[9] Pour les matériaux d'isolation thermique, en fonction du type de conditionnement, la conductivité thermique ( $\lambda$ ) des produits manufacturés se situe généralement entre 0,035 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup> et 0,040 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>. Ce qui leur permet d'entrer en concurrence avec la plupart des produits existants sur le marché.

La température de dégradation des fibres naturelles est beaucoup plus basse que celle des fibres d'origine minérale, ce qui doit être pris en compte si le matériau doit être soumis à des températures supérieures à 150°C dans certaines applications techniques[19].

### **II.8.Principaux avantages et inconvénients des matériaux composites à charges végétales:**

L'utilisation des matériaux composites à fibres végétales sous différentes conditions environnementales est devenue populaire ces dernières années.

Beaucoup de fibres végétales ont été employées en tant que renfort efficace dans des matrices polymériques.

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

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

Cependant, certains inconvénients freinent leur diffusion:

- Les coûts des matières premières et des procédés de fabrication;
- La gestion des déchets engendrés et la réglementation de plus en plus stricte;
- Faible stabilité dimensionnelle;
- Absorption de l'eau.

### **II.9. Application des composites à base des fibres végétales:**

L'utilisation des matériaux composites s'inscrit dans une démarche d'éco-conception. On note enfin le développement de granulés thermoplastiques renforcés par des fibres naturelles végétales est utilisé dans différents domaines (cosmétique, automobile, horticulture, électroménager, mobilier urbain, outillage...).

#### **II.9.1.Autres applications:**

Les palettes, le mobilier (table de camping Lafuma ou chaise IKEA), et FUTURAMAT, une société Française, produit des pièces techniques en résine thermoplastique renforcée de fibres de bois (ainsi que des matériaux biodégradables à base de farines céréalières).

La recherche porte sur la caractérisation des fibres, la capacité à les utiliser à des conditions économiques comme renforts de composites structuraux tels que des hublots

d'avion, et les moyens permettant d'améliorer l'interaction entre les fibres et la matrice dans laquelle elles sont noyées.

### II.10. La composition chimique des charges végétales:

Les fibres naturelles se composent principalement de cellulose, d'hémicellulose et de lignine. Elles contiennent aussi des quantités faibles en protéines, extractibles et quelques composés inorganiques. Il existe différentes classifications de ces fibres. Les fibres dures, tel que le bois, forment un groupe à part entière qui représente environ 90% de la production mondiale [20].

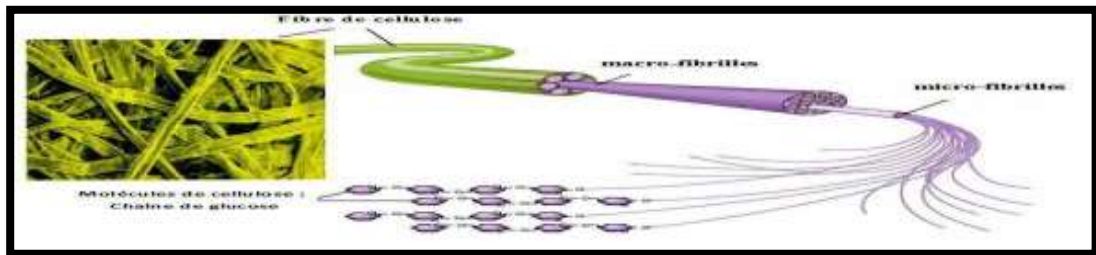


Figure II. 1: Structure d'une fibre végétale.

La proportion de cellulose, d'hémicelluloses et de lignine varie d'une espèce à une autre. À l'intérieur de chaque fibre, la lignine joue le rôle d'une matrice enrobant la cellulose, qui est une structure très rigide .

La composition chimique (en %) de différentes fibres végétales dans le tableaux suivant.

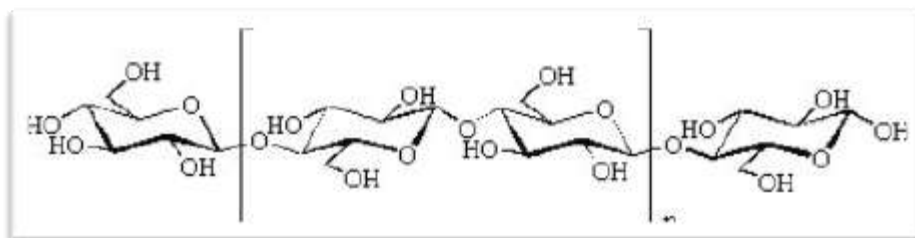
**Tableau II.3:**Composition chimique (en %) de différentes fibres végétales[20].

Fibres	Cellulose (%)	Lignine (%)	Hémicellulose(%)	Pectine (%)	Cendre (%)
KénaF	37-49	15-21	18-24	-	2-4
Jute	41-48	21-24	18-22	-	0,8
Chanvre	57-77	3,7-13	14-22,4	0,9	0,8
Ramie	68,6-91	0,6-0,7	5-16,7	1,9	-
Abaca	56-63	7-9	15-17	6	3
Sisal	47-78	7-11	70-24	10	0,6-1
Lin	71	2,2	18,6-20,6	2,3	-
Coton	94	-	-	1,2	1,2
Noix de Coco	36-46	31-45	10	3-4	-
Genêt	44,5	18,5	16,3	13,3	4

### II.10.1.Cellulose:

La cellulose est le constituant qui assure la protection et le soutien dans les organismes végétaux. Elle se situe dans la paroi des fibres et constitue la substance organique la plus abondante dans la nature puisqu'on estime sa production mondiale à environ  $1,3 \cdot 10^{10}$  tonnes par an. A l'échelle d'un arbre cela correspond à la formation de 10 g de cellulose par jour. La cellulose est un homopolysaccharide composé d'unités  $\beta$ -D-glucopyranose liées entre elles par une liaison glycosidique $\beta$ .

D'un point de vue chimique, la cellulose est une molécule formée de longues chaînes dont le motif de base est le glucose (Schéma I-1). Les molécules cycliques de glucose adoptent la conformation «chaise», qui est plus stable que la conformation «bateau».

**Figure II.2:**La structure de la cellulose

Le nombre de monomères de glucose, ou degré de polymérisation (DP), varie selon l'espèce végétale. Il est par exemple de 10000 pour le coton, de 9000 pour le chanvre, le lin et le ramie, ou encore de 8000 pour l'épicéa. La cellulose cristalline est l'un des polymères ayant le module d'élasticité le plus élevé, soit environ 136 GPa à comparer à la fibre de verre. Cette rigidité provient de la structure cristalline qui suit un agencement supramoléculaire hélicoïdal très ordonné.

### II.10.2. Les hémicelluloses:

Les hémicelluloses sont des polysaccharides, qui se trouvent dans tous les végétaux caractérisés par des masses molaires beaucoup plus faibles que celle de la cellulose et par des structures moins régulières à la fois par la présence de différentes unités dans leurs chaînes et/ou de ramifications. Si l'on considère que le bois est un matériau composite dans lequel la cellulose est la fibre de renfort et la lignine est la matrice, les hémicelluloses jouent le rôle de comptabilisant à l'interface entre ces deux éléments .

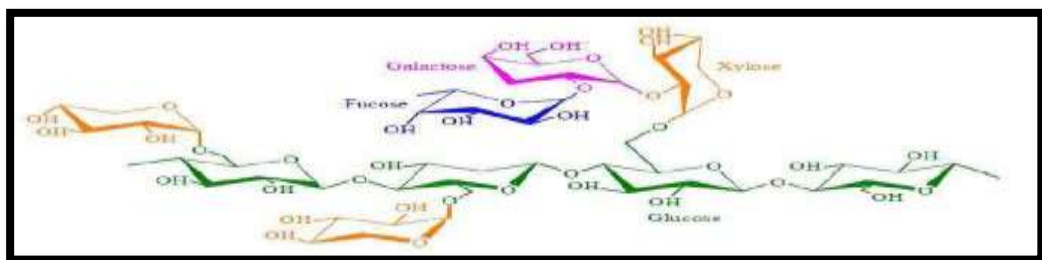


Figure II.3: Structure d'un type de xyloglucane

### II.10.3. Pectine:

La pectine, substance dérivée de glucides complexes, analogue à l'amidon, produite par de nombreux végétaux. Les pectines sont des substances amorphes blanches qui forment dans l'eau une solution visqueuse.

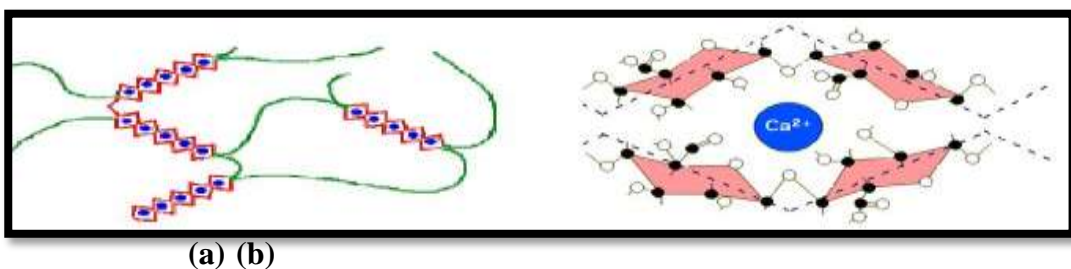


Figure II.4:(a) Le réseau de pectine, (b) L'interaction de calcium avec la pectine.

### II.10.4. La lignine:

Après la cellulose, la lignine est la deuxième macromolécule présente dans les végétaux. Il s'agit d'un polymère réticulé in situ ayant une structure très complexe qui varie aussi en

fonction de l'espèce et de l'âge du végétal, des conditions climatiques environnantes, etc. La structure de base(Schéma II.5.

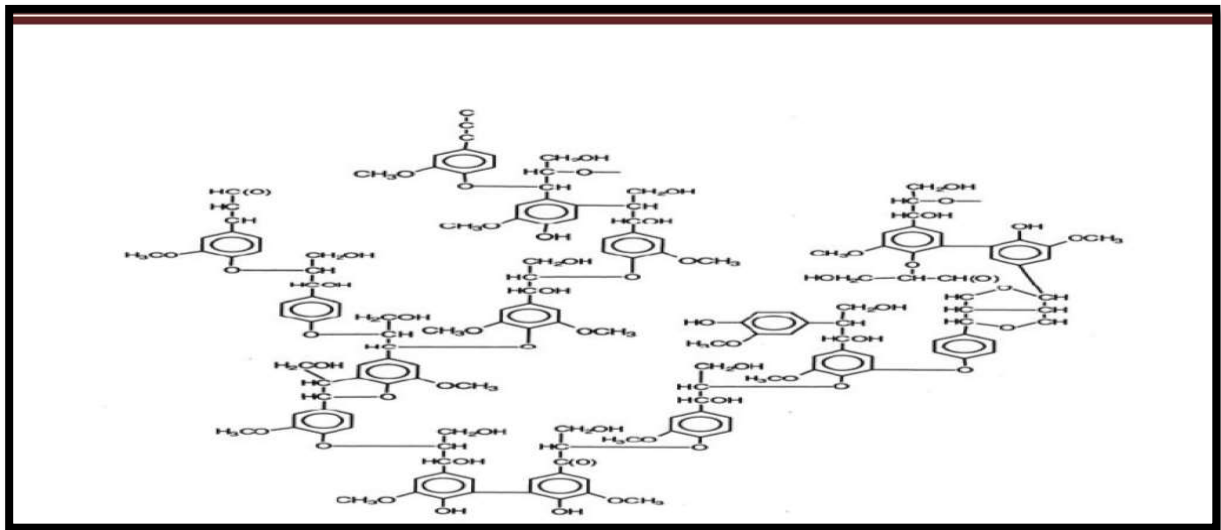
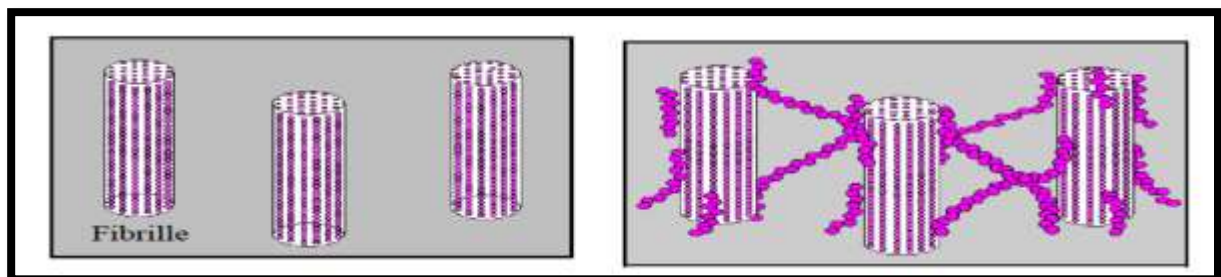


Figure II.5:Exemple générique de la macromolécule lignine.

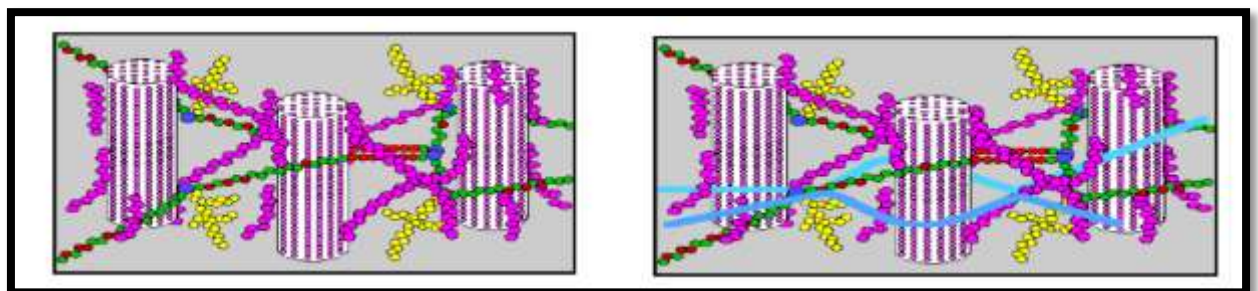
II.10.4.La cire:

La cire est une partie des fibres qui peut être extraite avec une solution organique. Elle est constituée de différents types d'alcools, qui sont insolubles dans l'eau et se gonflent



a : Cellulose seule

b : Cellulose et hémicelluloses



c : Cellulose, hémicelluloses et pectine

d : Cellulose, hémicelluloses, pectines et réseau de protéines

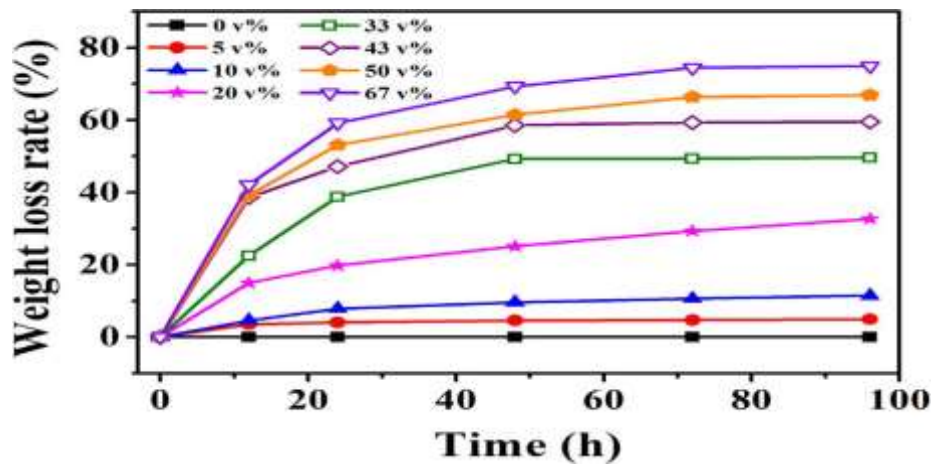
Figure II.6:Représentation schématique de l'agencement des différents composants des fibres végétales à l'échelle micrométrique.



**CHAPITRE III:**  
**EXPOSÉ DE**  
**QUELQUES TRAVAUX**  
**DE RECHERCHES**

**1. Travaux de M. Zepeng et all,[21].**

Dans cette étude, la structure poreuse de la matrice de PVC a été construite par gravure chimique pour préparer des réfrigérants poreux en PVC avec à la fois des propriétés d'isolation thermique et de réflectance solaire. La porosité du PVC est contrôlée en modifiant la teneur en particules de  $\text{CaCO}_3$  comme gabarit de pores. La performance d'isolation thermique des films PVC poreux s'améliore avec l'augmentation de la porosité, et elle est meilleure que les films PVC et les films composites PVC /  $\text{CaCO}_3$ . Les films plastiques poreux préparés dans cette étude ont un bon potentiel d'application, qui peut être utilisé dans la construction réelle en recouvrant la surface extérieure du toit du bâtiment.



**Figure III.1:**Taux de perte de poids des films PVC et des films composites PVC /  $\text{CaCO}_3$ .

**2. Travaux de M.S.R. Beninet all,[22].**

Cet article passe en revue les différents types de fibres naturelles qui peuvent être exploitées dans la fabrication de composites à matrice polymère. Les propriétés physiques et les techniques d'extraction des fibres naturelles telles que les fibres de varech, de chanvre, de sisal, de ramie, d'ananas, de noix de coco, de coton et de bambou sont expliquées. Les tests mécaniques utilisés pour estimer la résistance des fibres naturelles et des composites renforcés de fibres naturelles sont également discutés. Des composites de matrice polymère renforcés de fibres naturelles sont utilisés dans la fabrication de pièces automobiles légères. Les informations sur les différentes fibres naturelles et leurs composites correspondants illustrées dans ce manuscrit peuvent être utilisées comme matériaux de base pour élargir la portée de la recherche en améliorant les propriétés des composants de la matrice polymère qui sont renforcés avec des fibres naturelles. Il permet également de découvrir de nouvelles fibres naturelles.

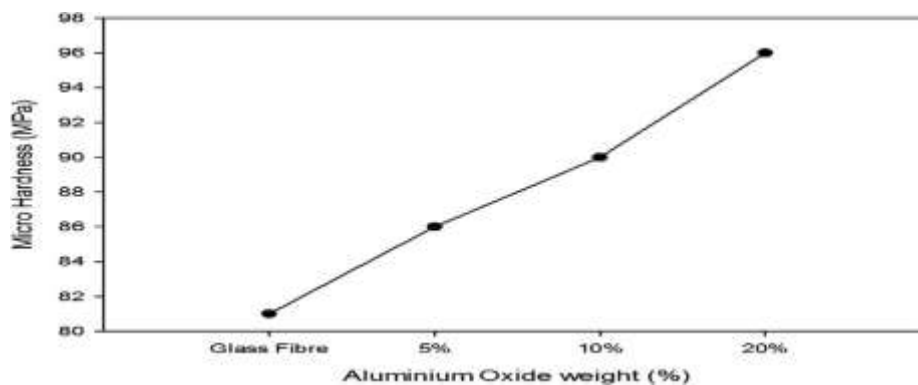
**Tableau III. 1:** Représentant certaines propriétés des fibres naturelles utilisées pour renforcer le composite à matrice polymar.

	Bast			Leaf		Fruit/Seed		Grass/Reed	
	Kenaf	Hemp	Ramie	Sisal	Pine appl e	Coir	Cot ton	Bamb oo	
Density (g/cm <sup>3</sup> )	1.5–1.6	1.47	1.5–1.6	1.45–1.5	0.8–1.6	1.2	1.6	0.6–1.1	
Cellulose (wt.%)	31.39	70–74	68.6–76.2	66–78	70–82	32–34	82.7–91	20–60	
Lignin (wt.%)	9–17	4–10	0.6–0.8	8–10	8–13	40–45	0.75	21–31	
Microfibrillar Angle (degree)	9–15	2–6	7.5–8	10–25	8–14	30–49	20–30	8–11	
Moisture (wt.%)	6.2–12	6.2–12	12–17	11	11.8	11.3	7.85–8.5	9.16	
Elongation (%)	1.5	1.50–51.4	1.2–4.6	1.9–14	0.8–14.5	30	2–10	3.8–5.8	
TensileStrength (MPa)	215–930	95–1735	290–1060	80–855	170–627	160–250	220–840	140–230	
Young’sModulus (GPa)	35–53	2.8–90	5–128	9–38	2–128	3.3–6	4.5–12.6	11–17	

### 3. Travaux de Manish Kumar Rawat et all,[23].

L'objectif principal de cette étude est d'améliorer et d'évaluer les différentes propriétés mécaniques du composé de matrice polymère en renforçant les particules d'oxyde d'aluminium de petite taille. Une étude comparative de la résistance mécanique et de la rigidité du composé de matrice polymère et du PMC avec des particules d'oxyde d'aluminium comme renforcement secondaire a également été réalisée dans cette étude. La résistance mécanique, à la fois la résistance à la flexion et la résistance à la compression, du composé de matrice polymère avec de l'oxyde d'aluminium de petite taille est secondaire.

Il en résulte que l'ajout de fines particules d'oxyde d'aluminium de 5%, 10% et 20% en poids dans le composite à matrice polymère entraîne une augmentation de la résistance à la flexion, de la résistance à la compression et de la rigidité fine du composé. Les résultats montrent également une bonne amélioration des propriétés mécaniques.

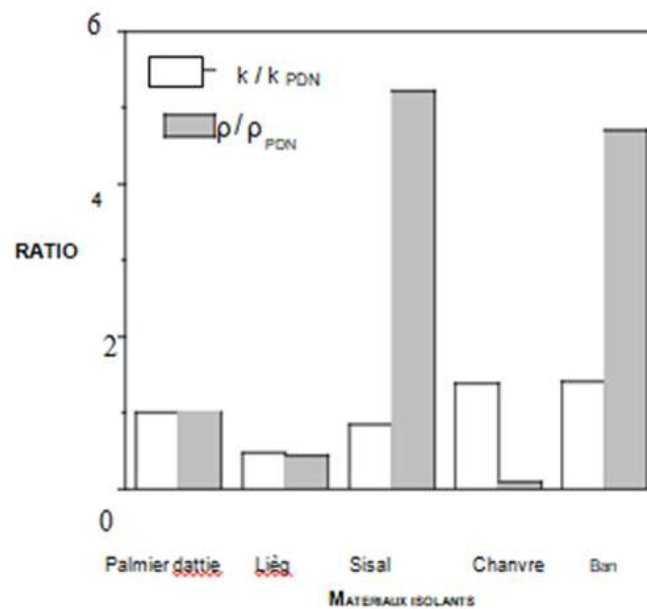


**Figure III.2:**Micro duresse des composites.

#### 4. Travaux de Boudjemaa AGOUDJIL et al,[24].

Ce travail porte sur l'étude expérimentale des propriétés thermophysiques du bois de palmier en vue de sa possible utilisation pour la réalisation de nouveaux matériaux isolants. Les échantillons de parties renouvelables de bois de palmier provenant de l'oasis de Biskra (Algérie). L'objectif est de mettre en évidence l'effet de l'orientation des fibres, de la pression, de la variété de palmier et du type de bois sur les propriétés thermophysiques.

Il en résulte que les parties renouvelables du palmier dattier (pétiole et grappe) constituent un bon isolant thermique présentant une faible masse volumique. L'effet de l'orientation des fibres sur la conductivité thermique n'est pas significatif.

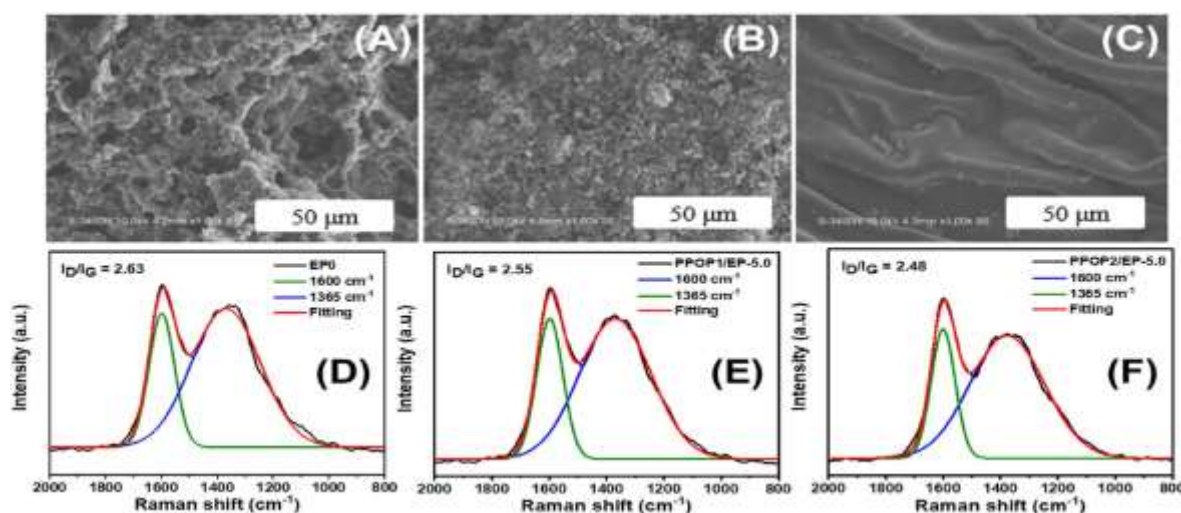


**Figure III.3:** Comparaison de la masse volumique et de la conductivité thermique du bois de palmier dattier à d'autres matériaux naturels.

### 5. Travaux de Junshuai Miao ,Yunzhi Fanget all ,[25].

Cette recherche étudie la possibilité de fabriquer une bonne isolation ignifuge et thermique des PPOP Il contient des polymères organiques poreux / des composés de résine époxy basés sur ses propriétés physiques. La résine époxy (EP) est l'un des matériaux les plus utilisés pour ses caractéristiques exceptionnelles et impressionnantes (stabilité dimensionnelle, résistance aux solvants et aux produits chimiques, faible absorption d'humidité.

Les polymères organiques (PPOP) ont été synthétisés par réaction de Friedel-Crafts entre TPPO et BD (PPOP1) ou DX (PPOP2) pour la première fois .Les deux PPOP présentent une stabilité thermique élevée. L'incorporation de PPOP pourrait améliorer la stabilité thermique et propriété diélectrique de la matrice EP.

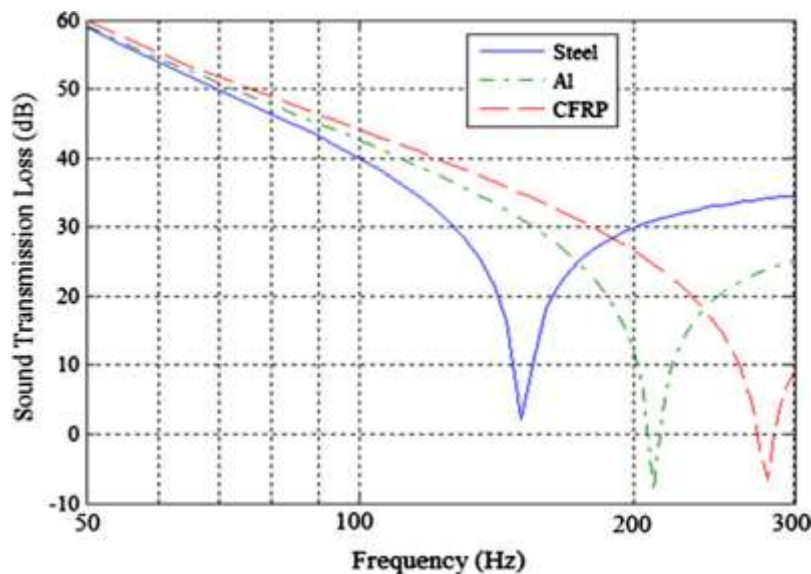


**Figure III.4:** Images SEM des résidus de char de EPO (A), PPOP1 / EP-5,0 (B) et PPOP2 / EP-5,0 (C); Spectres Raman des résidus carbonisés de EPO (D), PPOP1 / EP-5,0 (E) et PPOP2 / EP-5,0 (F).

## 6. Travaux de Zhe Zhang et Yu Du,[26].

Cette étude examine les performances d'isolation acoustique représentées comme TL des panneaux CFRP par rapport aux panneaux en acier et en aluminium à des fréquences relativement basses où le TL est principalement contrôlé par la rigidité et les modes d'ordre bas du panneau.

On constate que les angles de pli optimaux dans la rigidité contrôlés région pour les panneaux CFRP de différents rapports longueur-largeur varient de l'une et l'autre; tandis que pour la région à quelques modes, l'angle de pli optimal pour les panneaux avec différents rapports longueur / largeur maintient constant. Cette conclusion pourrait potentiellement simplifier les conceptions du PRFC pour des applications telles que les carrosseries automobiles où le bruit l'isolation dans la région à quelques modes est généralement la plus préoccupante. En outre, il est démontré que le panneau CFRP, lorsqu'il conçu, peut atteindre une performance TL comparable à son métal homologues à basses fréquences.



**Figure III.5:** Perte de transmission sonore des panneaux en acier, aluminium et CFRP avec la même rigidité en flexion dans la gamme de fréquences entre 50 et 300 Hz.

7. Travaux de M. Saeed Barkhad et all. ,[27].

Leur travail consiste en la préparation d'un matériau composite a base d'un polymère biodégradable le poly(lactique acide) PLA et une charge naturelle (noix des dattes DPP) sous forme de poudre et d'étudier sa possibilité d'utilisation comme isolant thermique dans le domaine de la construction. Les échantillons des composites obtenus sont préparés par mélangeage à l'état fondu et sont soumises à plusieurs tests et analyses.

Les résultats des test thermiques montrent que la conductivité et la diffusivité thermique diminuent avec l'augmentation du taux de DPP dans le composites (figure 6-7).

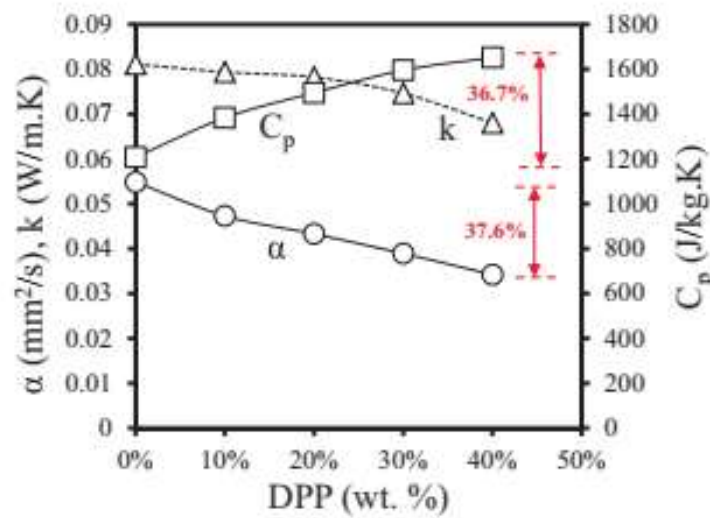


Figure III.6: Résultats des tests de conductivité thermique.

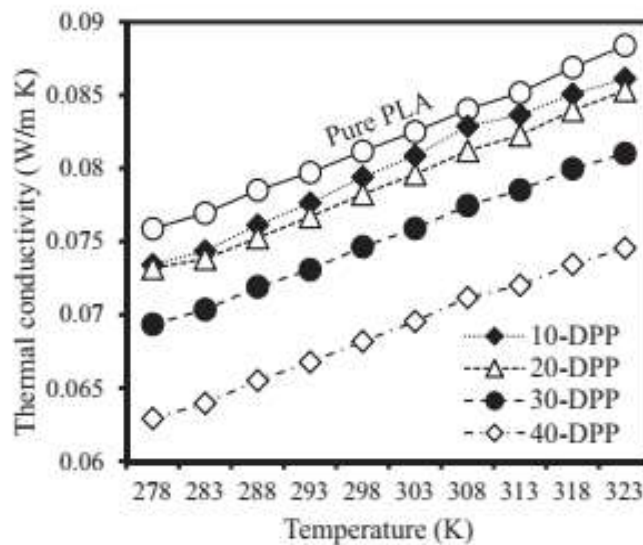


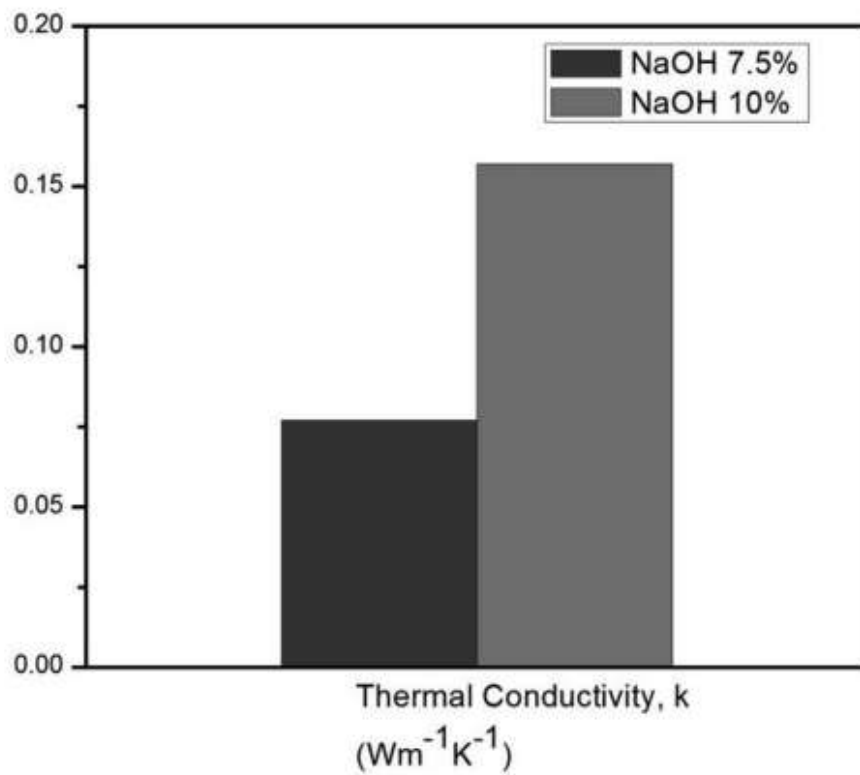
Figure III.7: Résultats des tests de diffusion thermique en fonction du niveau de DPP dans les composites.

**8.Travaux de S. P. Jani et all. [28].**

Le travail est basé sur l'élaboration d'un matériaux composite constitué d'une matrice polymère époxy renforcée par une charge naturelle (agave americana) et les fibre de carbone.

La charge naturelle est traitée par NaOH afin d'améliorer sa compatibilité avec la matrice polymère. Les différentes éprouvettes, préparées par moulage compression, sont soumise sa des analyses tels que TGA, TDA, conductivité thermique...ect.

Les résultats du test thermique montrent que le matériaux a de bonne perspectives dans le domaine d'isolation thermique figure III-8.



**Figure III.8:** Résultats des tests thermiques dans le domaine de l'isolation thermique.



**CONCLUSION  
GÉNÉRALE**

## **Conclusion générale**

---

### **Conclusion générale**

A la lumière de cette étude théorique nous pouvons conclure que :

- Les composites à matrice polymères et charge végétale ont une grande importance dans plusieurs domaines d'applications quotidiennes ;
- L'incorporation d'une charge biosourcée, donc biodégradable, dans la matrice polymère permet l'obtention de matériaux environnementalement acceptables ;
- Les méthodes de préparation sont simples (selon les travaux exposés) et ne nécessitent pas une grande technologie ce qui va influencer positivement sur le coût ;
- L'application de ces matériaux dans le domaine d'isolation thermique a montré sa faisabilité et donc ses bonnes perspectives.



**BIBLIOGRAPHIE**

### Bibliographie

- [1] O. Gilles, Chimie des matériaux, Ecole industrielle et commerciale de la ville de Namur ; 3ème édition, 2005.
- [2] P. Combette, I. Ernoult, physique des polymères tome I : STRUCTURE, FABRICATION ETEMPLOI. Hermann (2005).
- [3] P. WEISS. La chimie des polymères, Support de Cours (Version PDF) Université Médicale Virtuelle Francophone 2009-2010.
- [4] M. Dupeux ,Aide-mémoire science des matériaux livre. Paru en février 2013.
- [5] M. Fontanille ,Y. Gnanou. Chimie et physico chimie des polymères. Edit 2,DUNOD, Paris.546p. 2013.
- [6] P. E. Bouchez. Meilleures méthodes d'essai et techniques disponibles .REACH for Polymers.203p.19 mars 2014.
- [7] M. Benhamou. introduction à la physique des polymères. Edit 2, DUNOD,Paris.368p. September 2006.
- [8] A.contway, les matières plastiques : généralités. Edit Fonds deFormation professionnelle De la Construction, Bruxelles. 27p in 2011.
- [9] I.Ernoult,P.combette. Physique des polymères : structure, fabrication,emploi. Edit 1, Presses International Polytechnique, Paris.213pp. 30 Oct. 2019.
- [10] M.Reyne,Transformation, assemblages et traitements des plastiques. Edit Lavoisier, Paris. 297p.2006.
- [11] Fabrication des polymères ;Document de référence sur les meilleures techniques disponiblesAoût 2007.
- [12] D. Gay., "Matériaux composites". Édition Hermes. 1997.
- [13] P.BONO, Fibres et renforts végétaux Solutions composites, Fibres Recherche Développement (FRD), Troyes – France (Mars 2012).
- [14] M..Feughelman , Mechanical properties of wool fibers& the two-phase model,

## Bibliographie

---

- Mechanical Properties and Structure of Alpha-Keratin Fibers: Wool, Human and related fibers, Université of New South Wales Press, pp. 28-59 (1997).
- [15] Amiante, Service de la santé et de la sécurité du travail – Service du répertoire toxicologique, Canada (Octobre 2004).
- [16] F. Michaud, Rhéologie de panneaux composites bois/thermoplastiques sous chargement thermomécanique : Aptitude post formage’’ thèse Phd, univ Laval, 2003.
- [17] A.K. Bledzki, J. Gassan .Composites reinforced with cellulose based fibres Prog.Polym.Sci. 24 221–274, 1999
- [18] A. Latteri, G. Recca, G. Cicala, G. Cristaldi. Composites based on natural fibre fabrics in Woven Fabric Engineering, Sciyo, Ed.: PolonaDobnikDubrovski, 2010, ch. 17, pp317- 342.
- [19] S.V.Yoone ,Construire en Chanvre.[ **Online**] .([http://www.constructionchanvre.asso.fr/performances\\_fr\\_20\\_31.html](http://www.constructionchanvre.asso.fr/performances_fr_20_31.html).) 10/2019.
- [20] J.W.S.Hearle. «The fine structure of fibers and crystalline polymers. III . Interpretation of the mechanical properties of fibers», Journal of Applied Polymers Science, Vol 7, pp.1207-1223(1963).
- [21] M. Zepeng , Yiyi Tao et all. Preparation and characterization of polymer matrix passive cooling materials with thermal insulation and solar reflection properties based on porous structure. Available online 3 August 2020.
- [22] S.R. Benin, S. Kannan et all.A review on mechanical characterization of polymer matrix composites& its effects reinforced with various natural fibres. Materials Today 13 June 2020.
- [23] R.Pramod, M.E Shashi Kumarin.Evaluation of Mechanical and Insulation Properties of Nomex-T410 and HS Glass Polymer Matrix Composites. Materials Today: Proceedings 4 (2017) 3233–3242.

## Bibliographie

---

- [24] S .B .AGOUDJIL, Adel BENCHABANE et all.Laboratoire de Physique, Energétique Appliquée (LPEA), Caractérisation thermophysique du bois de palmier dattier en vue de son utilisation en isolation thermique dans l’habitat.
- [25] J .Miao ,Y .Fang et all, :Fabrication,flameretardancy and physicalproperties of phosphoruscontainingporousorganicpolymers/epoxyresin composites. *Polymer Degradation and Stability* 176 (2020) 109159.
- [26] M.H. Alaaeddin, S.M. Sapuan et all. Polymer matrix materialsselection for short sugar palm composites usingintegrated multi criteriaevaluationmethod *Composites Part B* 176 (2019) 107342.
- [27] M. S. Barkhad, B. Ab-Jdayl, M. Iqbal, A. Mourad. Thermal insulation using biodegradable poly(lactic acide)/date pit composites. *Construction and building materials*, 2020.
- [28] S. P. Jani, S. Sajith, C. Rajaganapathy, M. Adam Khan. Mechanical and thermal insulation properties of surface-modified agave Americana/ carbon fibre hybrid reinforced epoxy composites. *Materials Today*, 2020.