



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences et de la technologie
Department de chimie industrielle

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie chimique

Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :
Khadouma Siham

Le : 08/septembre /2020

Etude De Vieillessement Naturel D'un Biopolymère Renforcé par une Charge Organique

Jury :

Mr. A.SAKRI	MCA	Université de Biskra	Président
Mme. H. REHALI	MCB	Université de Biskra	Examineur
Mme. C.BOUREMEL	MCA	Université de Biskra	Encadreur

Remerciement

Tous d'abord, je remercie Dieu Tout-Puissant qui m'a aidé avec courage et volonté à faire ce travail.

Je remercie mes parents pour leur encouragements et toujours à mes cotés à chaque étape de ma vie et de mon éducation, et je les remercie pour tous leur sacrifice pour moi, je prie Dieu les préserve et soutien la santé pour eux.

Je remercie mon encadreur et mon cher professeur Mme Bouremel Cherifa pour la confiance qu'elle a placée, le soutien, ses conseils, l'encouragement et m'aider à mener à bien ce travail, je prie Dieu de la protéger et de l'aider toujours dans son travail.

Je remerciements s'adressent également au chef de département M. Sakri Adet.

Je remercie tous les professeurs de génie chimique.

Je remercie aussi tous les ingénieurs et les techniciens du laboratoire de génie de procédés de faculté science et technologie de l'université de Biskra, ainsi qu'à toutes les personnes ayant participé de réalisation de ce modeste travail.

Je remercie également les membres du jury d'avoir accepté de juger mon travail.



Dédicace

Je dédie ce mémoire

A mon Dieu qui m'a aidé de ce travail.

*A celle qui a inséré le goût de la vie et les sens de la responsabilité.....Merci
MERE.*

*A celui qui a été toujours mon soutien et la source de courage et tendresse.....Merci
PERE.*

*A mon frère Amine qui m'a soutenu et ma beaucoup aidé, et sa femme Houda et ses
enfants : Nadhir, Wassim et Adem.*

A mon frère Akram qui était toujours à côté de moi.

*A mes sœurs : Kaltoume et son mari Yacine et sa fille Assil, et
Meriem et son mari Salim et son fils Abdelsamad, mes sœurs qui m'ont toujours
conseillé et encouragé.*

A mon fiancé Aboufattah, qui m'a encouragé et soutenu dans Mes études.

*A mon grand-père Baba Sidou et ma grand-mère
Ayî qui me sont chers que Dieu la préserve.*

A ma grand-mère Mahinia que Dieu la préserve et la santé.

*A tous ma famille surtout Mes tantes : Nadia, Karima, Faiza, Zohra, Nawal, Kenza,
et tous leurs enfants, ma cousine Chahrazed et ses enfants.*

A toutes mes tantes : Saida, Nazihâ, Hayat, Nadia, et tous leurs enfants.

A mon oncle : Youcef, Naâer, leurs femmes Assia et Badia, et tous leurs enfants.

A mon oncle : Belkasem, Salah, Madjide, Tous leurs femmes et tous leurs enfants.

SOMMAIRE

SOMMAIRE

Remerciement.....	i
Dédicace.....	ii
Liste des figures.....	iii
Liste des tableaux.....	iv
Liste des abréviations.....	v
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Polymères et les biopolymères

I.1. Polymères	3
I.1.1.Introduction	3
I.1.2. Définition	3
I.1.3. Polymérisation.....	4
I.1.4. Type de polymères.....	4
I.1.4.1. Les thermoplastiques.....	5
I.1.4.2. Les thermodurcissables.....	6
I.1.4.3. Les élastomères.....	6
I.1.5 .Différent type et structure moléculaire.....	7
I.1.6. Domaine d'application	7
I.2. Les biopolymères.....	8
I.2.1.Introduction	8
I.2.2. Définition.....	8
I.2.3. Historique	10
I.2.4. Les familles des biopolymères.....	10
I.2.4.1. Biopolymères issus directement de la nature	10

SOMMAIRE

I.2.4.2. Polymères synthétisés à partir de biomonomères.....	11
I.2.4.3. Biopolymères synthétisés à partir de micro-organismes.....	11
I.2.4.4. Organigramme des différentes familles de biopolymères.....	12
I.2.5. Propriétés des biopolymères et leurs applications.....	12
I.2.6. Exemple des biopolymères et leurs propriétés.....	13
I.2.6.1. Les biopolymères naturel et les polysaccharides.....	13
I.2.6.1.1. L'amidon.....	14
I.2.6.1.1.1. Définition.....	14
I.2.6.1.1.2. Structure de l'amidon.....	15
I.2.6.1.1.3. Application.....	19
I.2.6.1.2. La cellulose	19
I.2.7. Les avantages et inconvénients des bioplastiques.....	20
 Chapitre II : Les additifs et les charge	
II.1. Les additifs et les charges.....	22
II.1.1. Les additifs.....	22
II.1.1.1. Définition.....	22
II.1.1.2. Rôle et fonction.....	22
II.1.2. Les charge.....	23
II.1.2.1. Charges renforçantes.....	23
II.1.2.2. Charges non renforçantes.....	24
II.2. Renfort.....	24

SOMMAIRE

II.2.1. Les type de renfort.....	24
II.2.2. Les fibres naturelles.....	25
II.2.3. Renfort à fibre végétale	26
II.2.3.1. Généralité sur les fibres végétales.....	26
II.2.3.2. composition chimique des charges végétales.....	27
II.2.3.2.1. La cellulose.....	28
II.2.3.2.2. Hémicellulose.....	29
II.2.3.2.3. La lignine.....	30
II.2.3.2.4. La pectine.....	31
II.2.3.2.5. La cire	32
II.2.3.3. Structure de la fibre végétale.....	33
II.2.3.4. Propriétés physico-mécanique des fibres végétales	34
II.2.4. Le palmier dattier.....	37
II.2.4.1. Présentation générale	37
II.2.4.2. Description et zone de culture.....	37
II.2.4.3. Fibres du palmier dattier.....	40
II.2.4.4. Composition chimique de fibre de palmier dattier.....	42
II.2.4.5. Structure et morphologie des fibres lignocellulosiques	42
II.2.4.6. Utilisation des fibres et de bois des palmiers dattiers.....	44

SOMMAIRE

Chapitre III : Matériaux utilisés et techniques expérimentales

III.1. Introduction.....	46
III.2. Matériaux utilisés.....	46
III.2.1. Amidon.....	46
III.2.1.1. Propriétés chimiques de l'amidon.....	46
III.2.2. Glycérol	47
III.2.3. Fibres de palmier dattier.....	47
III.2.3.1. Prétraitement des fibres.....	47
III.2.3.2. Traitement alcalin des fibres.....	49
III. 3. Techniques expérimentale.....	52
III. 3.1. Préparation des films d'amidon.....	52
III.3.1.1. Préparation d'un film bioplastique sans charge (fibre de palmier dattier).....	52
III.3.1.2. Préparation d'un film bioplastique renforcé par les fibres de palmier dattier	53
III.3.1.2.1. Préparation des films à base d'amidon/fibre de palmier dattier.....	54
III.4. Technique de caractérisation.....	55
III.4.1. Etude structural	55
III.4.1.1. Infrarouge FTIR.....	55
III.4.1.1.1. principe.....	56
III.4.2. Test de vieillissement naturel.....	57

SOMMAIRE

III.4.3. Test de gonflement.....	57
----------------------------------	----

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1. Étude spectroscopique des diverses compositions.....	59
IV.2. Etude de dégradation.....	63
IV.2.1. Etude de vieillissement naturel.....	63
IV.2.2 : Test de gonflement	68
Conclusion générale.....	70
Références Bibliographiques.....	71
Résumé.....	

LISTE DES FIGURER

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Polymérisation d'éthylène.....	3
Figure I. 2 : La réaction entre monomères pour former un produit final appelé polymère.....	4
Figure I.3 : Type de polymère.....	5
Figure I.4 : Classification des polymères biodégradables.....	9
Figure I.5 : Schéma de la cellulose.....	11
Figure I.6 : Organigramme des différentes familles de biopolymères.....	12
Figure I.7 : Structure chimique de l'amidon.....	15
Figure I.8 : Structure de l'amylose.....	16
Figure I.9 : (a) Structure de l'amylopectine (b) Classification des chaînes et organisation en grappes de l'amylopectine.....	17
Figure I.10 : Formule de la cellulose.....	20
Figure II.1 : Les types de renfort.....	25
Figure II.2 : Classification des fibres naturelles et quelques exemples.....	26
Figure II.3 : Quelques plantes, origine des fibres utilisées comme renfort dans les matrices polymères.....	27
Figure II.4 : Structure d'une fibre végétale.....	28
Figure II.5 : Représenter la-formule-chimique de la cellulose.....	29
Figure II.6 : Diagramme d'illustration de vecteur de biologie de cellulose d'usine et le plan de fibre.....	29
Figure II.7 : Structure d' hémicelluloses.....	30
Figure II.8 : Structure de lignine.....	31
Figure II.9 : Structure de la pectine.....	32
Figure II.10 : La structure de la cire.....	33
Figure II.11 : Modèle de description de la structure d'une fibre végétale.....	34
Figure II.12 : Exemple de défaut structural sur une fibre de lin.....	36
Figure II.13 : Différents composants de palmier dattier.....	37
Figure II.14 : Présentation schématique d'un palmier dattier.....	38

LISTE DES FIGURER

Figure II.15 : Observation de la fibre de surface du tronc par (MEB), a)coupe transversale, b) coupe longitudinale.....	40
Figure II.16 : Feuilles de palmier dattier.....	40
Figure II.17 : Fibres de tige du support dattier (grappe).....	41
Figure II.18 : Bois d'un pétiole du palmier dattier.....	41
Figure II.19 : Observation de la fibre de Life du tronc par (MEB).....	41
Figure II.20 : Structure des fibres de bois.....	42
Figure II.21 : Structure tridimensionnelle de la paroi primaire.....	43
Figure II.22 : Produits artisanal en déchets de palmier dattier a)Chapeau, b) Panier, c) Tapis.....	44
Figure III.1 : Amidon utilisé dans ce travail.....	46
Figure III.2 : Fibres de palmier dattier (traitées et non traitées).....	47
Figure III.3 : Laver les fibres de palmier.....	48
Figure III.4 : Fibres de palmier dattier après lavage.....	48
Figure III.5 : Fibres de palmier divisées en petits morceaux.....	48
Figure III.6 : fibres de palmier dattier (poudre) non traité.....	49
Figure III.7 : Les fibres de palmier dattier immergés dans une solution d'hydroxyde de sodium.....	49
Figure III.8 : Lavage des fibres de palmier avec l'eau distillé après plusieurs fois.....	50
Figure III.9 : Les fibres de palmier dattier traité immergé dans une solution d'acide sulfurique.....	50
Figure III.10 : Fibre de palmier traité avant le séchage.....	51
Figure III.11 : Les fibres de palmier traitées dans l'étuve pour le séchage.....	51
Figure III.12 : Fibres de palmier dattier traité après le séchage et broyer ces fibres.....	51
Figure III.13 : Etapes de la préparation d'un film bioplastique à base d'amidon.....	52

LISTE DES FIGURER

Figure III.14 : Protocole expérimental de la préparation des échantillons.....	52
Figure III.15 : Biopolymère obtenu.....	53
Figure III.16 : Film bioplastique sans charge organique après le séchage.....	53
Figure III.17 : Préparation d'une solution de fibre de palmier /eau distillé.....	54
Figure III.18 : Biopolymères à base de l'amidon/fibre de palmier obtenu.....	55
Figure III.19 : Appareil FT-IR.....	56
Figure III.20 : Presse hydraulique pour préparer des pastilles.....	57
Figure III.21 : Découpez une tranche de l'échantillon.....	58
Figure III.22 : Tranches dans des tubes à essai.....	58
Figure IV.1 : Spectre FT-IR de l'amidon pur.....	60
Figure IV.2 : Spectre FT-IR d'un biopolymère à base d'amidon.....	60
Figure IV.3 : Spectre FT-IR de fibre de palmier poudre non traité.....	61
Figure IV.4 : Spectre FT-IR de fibre de palmier poudre traité.....	61
Figure IV.5 : Spectre FT-IR de la matrice biopolymère à base d'amidon et 5% de fibres palmier non traitées.....	62
Figure IV.6 : Spectre FT-IR de la matrice biopolymère à base d'amidon et 5% de fibres de palmier alcalin.....	62
Figure IV.7 : Echantillons exposé à l'aire libre (vieillessement naturel) pendant Deux premières semaines.....	64
Figure IV.8 : Echantillons exposé à l'aire libre (vieillessement naturel) pendant deux mois.....	64
Figure IV.9 : Echantillons exposé à l'aire libre (vieillessement naturel) pendant trois mois.....	65
Figure IV.10 : Echantillons exposé à l'aire libre (vieillessement naturel) pendant quatre mois.....	66
Figure IV.11 : Echantillons exposé à l'aire libre (vieillessement naturel) pendant Cinque mois.....	67
Figure VI.13 : Histogramme montre le test de gonflement des échantillons amidon/ fibres de palmier traitées.....	68
Figure IV.14 : Histogramme montre le test de gonflement des échantillons amidon/ fibres de palmier non traitées.....	69

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Type et Structure Moléculaire des polymères.....	07
Tableau I.2 : Propriétés spécifiques de quelques biopolymères et les applications attendues	13
Tableau I.3 : Teneurs en éléments mineurs des amidons.....	16
Tableau I.4 : Contenu en amylose et amylopectine des amidons	18
Tableau II.1 : Composition chimique (en %) de différentes fibres végétales.....	28
Tableau II.2 : propriétés physique de différentes fibres végétales.....	36
Tableau II.3 : Propriétés mécaniques en traction de quelques fibres végétales.....	36
Tableau II.4 : Composante chimique de fibre de palmier dattier.....	42
Tableau III.1 : Propriété de Glycérol.....	47
Tableau III.2 : Différents biocomposites préparés.....	54
Tableau IV.1 : Attribution des principales bandes observées sur le spectre IR pour le biopolymère à base d' amidon pur.....	59
Tableau IV.2 : Tableau montrant les masses prélevées pour différents échantillons dans le test de gonflement.....	68

LISTE DES ABREVIATION

LISTE DES ABREVIATIO N

DP : degré de polymérisation

PE : polyéthylène

HD : haute densité

BD : basse densité

ABS : Acrylonitrile butadiène styrène

ASA : Acrylonitrile styrène acrylate

PC : Polycarbonate

PMMA : Poly méthacrylate de méthyle

PS : Polystyrène

PVC : Polychlorure de vinyle

SBS : Styrène butadiène styrène

SEBS : Styrène éthylène butylène styrène

EPDM : Caoutchouc éthylène propylène ter polymère

PP : polypropène

PET : poly (téréphtalate d'éthylène)

PA-6 : polycaprolactame

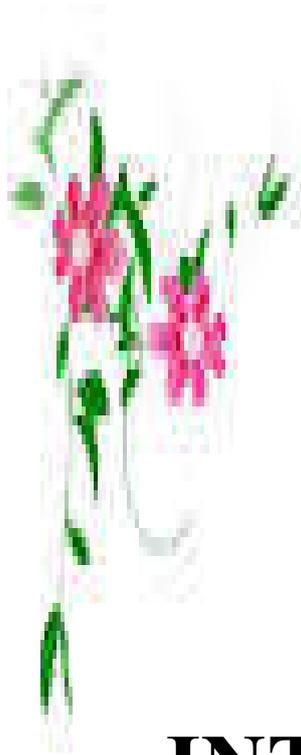
CEN : Comité européen de normalisation

PLA : polyacidelactique

PHAs : polyhydroxyalcanoates

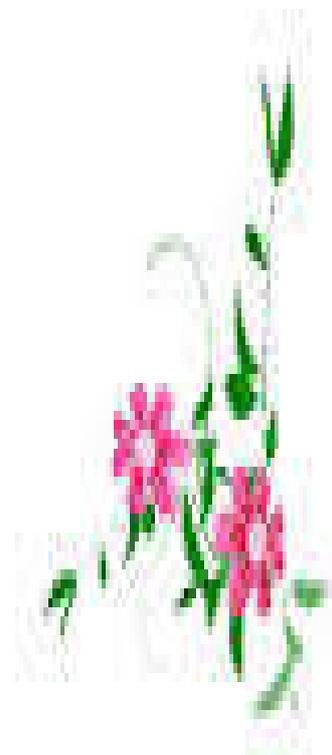
PHA : polyhydroxyalkanoates

CO₂ : le dioxyde de carbone



INTRODUCTION

GENERAL



Introduction générale

De nos jours, l'utilisation des ressources naturelles dans les matériaux composites devient de plus en plus fréquente, et ce, du fait que ces ressources sont moins coûteuses et rivalisant. De plus, les tendances industrielles se penchent vers des produits propres et écologiques, d'où l'intérêt d'intégrer des produits naturels facilement recyclable et biodégradables. Il est donc important de faire le point sur les différentes catégories de matériaux issus de ressources renouvelables et biodégradables. Certains secteurs industriels, comme l'emballage et le transport, s'intéressent à l'utilisation de fibres cellulosiques qui conduisent à des produits de bonnes performances ayant une bonne aptitude à la mise en forme [1].

Cependant, le manque d'adhésion avec les matrices polymères est une difficulté qui peut empêcher un large usage des fibres végétales dans les composites. Le caractère hydrophobe de la majorité des polymères et le caractère hydrophile des fibres végétales affectent négativement l'adhésion. Pour minimiser ces problèmes, la modification de la surface des fibres est généralement nécessaire afin d'améliorer leur adhésion avec la matrice polymérique et réduire l'absorption d'humidité. Il a été démontré qu'un traitement approprié appliqué sur les fibres peut entraîner une compatibilité avec la matrice polymère, ce qui améliore la qualité des composites. Des méthodes variées comme le traitement alcalin, le traitement avec des silanes ou encore avec d'autres produits chimiques ont permis d'améliorer la compatibilité des fibres avec la matrice polymérique [2].

L'objectif de ce travail est synthétiser un biopolymère (composite) à base de l'amidon renforcé avec charge organique de la fibre de palmier dattier non traité et traité, et étudier la dégradation de ces composites. Différentes analyses ont été faites tels que : l'étude structurelle à l'aide de spectroscopie infrarouge FTIR, test de vieillissement naturel et le test de gonflement.

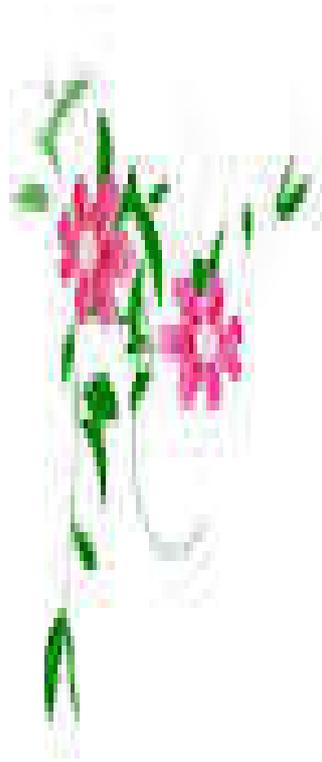
Ce mémoire s'articule sur quatre principaux chapitres :

- ✚ Le premier chapitre, s'articule sur généralité sur les polymères et les biopolymères
- ✚ Le deuxième chapitre, représente les additifs des polymères et Les charges qui peuvent y être ajoutées.

INTRODUCTION GENERALE

- ✚ Le troisième chapitre, on expose les matériaux utilisés et le protocole expérimental suivi pour la synthèse des composites amidon/charge ainsi que les techniques d'analyse utilisées.
- ✚ Le quatrième chapitre illustre tous les résultats expérimentaux que nous avons obtenus et leurs discussions.

Enfin, dans la conclusion, nous évoquerons les principaux résultats trouvés et nous décrirons les perspectives ouvertes par ce travail.



CHAPITE I

POLYMERES ET LES BIOPOLYMERES



I. Polymères et les biopolymères :**I.1. Polymères :****I.1.1. Introduction :**

Depuis l'aube de la civilisation, l'homme a utilisé des polymères naturels comme matière à partir de laquelle il pourrait produire des armes, des outils, des vêtements, et un abri. Aujourd'hui, les polymères naturels qui comprennent des matériaux tels que le bois, le caoutchouc, la laine, le coton, la soie, le cuir et le papier ont été par des certaines de polymères synthétiques, communément connu sous le nom de plastique [3].

Les polymères, ces dernières années, ont trouvé une utilisation dans une variété d'application. Certains sont utilisés dans des applications dentaires et médicales. Leur excellente isolation les rend bien adaptés aux applications électriques. En outre, ils ont un usage intensif comme matériaux d'emballage. En termes d'application mécanique, dans certains systèmes, les roulements, les pignons, les joints sont faits de plastique. En remplacement des métaux, ils sont maintenant largement utilisés pour la fabrication des tubes pour le transport des fluides [3].

I.1.2. Définition :

Le terme polymère (du grec polus qui signifie « nombreux, plusieurs » et mēros qui signifie « unité, partie ») ; qui sont typiquement regroupe toute matériau formées par la répétition d'un très grand nombre n de petites molécules de faible masse moléculaire appelées monomères qui liés entre eux par des liaisons primaires (liaisons covalentes) sachant que le monomère est une molécule de base (pouvant être par exemple non saturée ou cyclique ou encore comportant des fonctions réactives à ses extrémités [4].

L'assemblage des monomères pour l'obtention de polymères (ou macromolécules) s'appelle la polymérisation. La réaction de polymérisation est également utilisée par les organismes vivants [4].

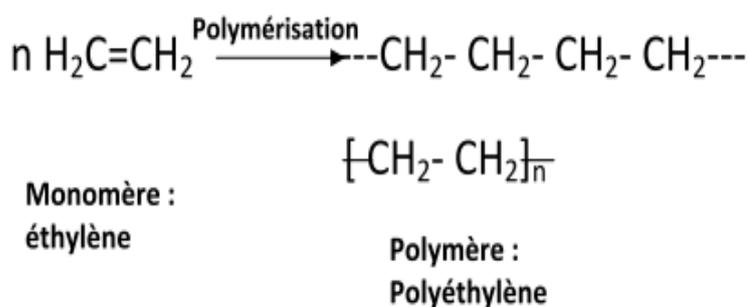


Figure I.1 : Polymérisation d'éthylène [4].

Une grande molécule constituée d'unités fondamentales appelées monomères (ou motifs monomères) reliées par des liaisons covalentes.

Réaction qui enchaîne des molécules de faible masse moléculaire (monomères) pour en faire des composés de masse moléculaire élevée (macromolécules) [5].

I.1.3. Polymérisation :

La réaction qui, à partir des monomères, forme en le liant, 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).

La polymérisation, qui désigne la réaction chimique de fabrication des macromolécules. Lorsque ce degré de polymérisation (DP) est inférieur à 30, on parle d'oligomère et lorsqu'il est supérieur à 30, c'est un polymère [5].

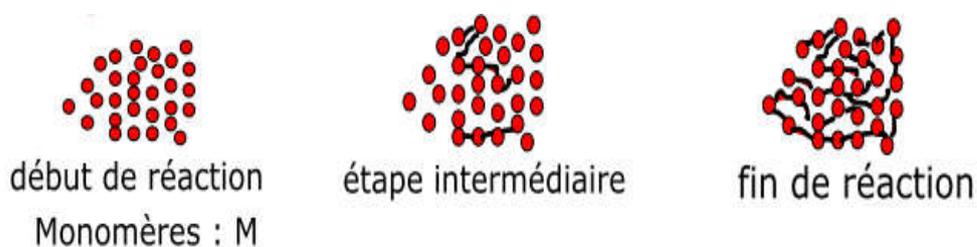


Figure I. 2 : La réaction entre monomères pour former un produit final appelé polymère [6].

I.1.4. Type de polymères :

On distingue deux types de chaînes :

Il existe de nombreuses classifications pour les polymères, en fonction du mode D'obtention, (polyaddition, polycondensation ou polymérisation) ou bien alors en Fonction de leurs propriétés (thermoplastiques, thermodurcissables et élastomères) [7].

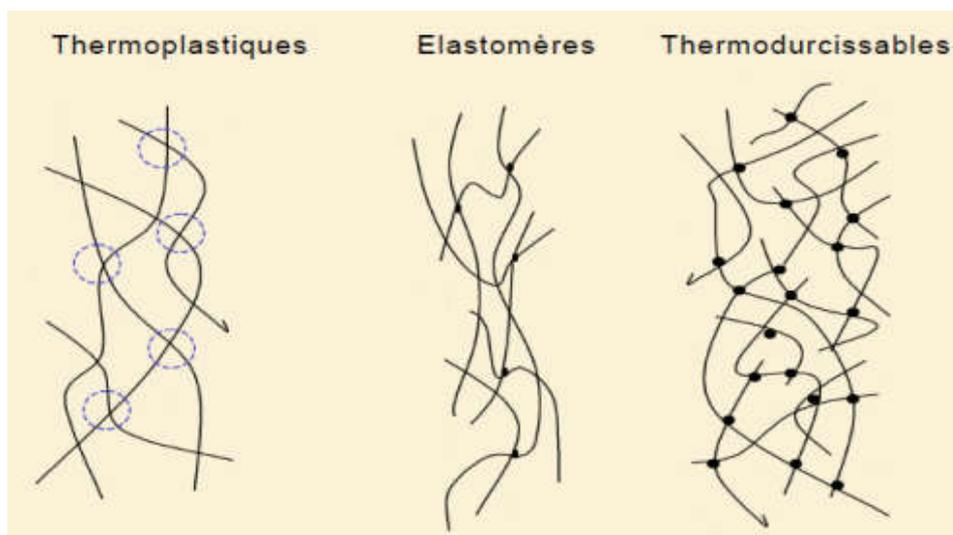


Figure I.3 : Type de polymère [7].

On peut également les différencier par leurs structures : cristallines ou amorphes. Les acronymes permettent une identification aisée puisqu'ils utilisent une séquence de symboles indiquant la structure chimique. Des lettres supplémentaires permettent de qualifier les charges ou les propriétés de base comme la densité, par exemple PE-HD désigne un polyéthylène (PE) haute densité (HD) [7].

Lorsque l'on classe les polymères selon leurs propriétés on distingue 3 grands types de polymères :

I.1.4.1. Les thermoplastiques :

Un polymère thermoplastique possède une structure chimiquement linéaire. 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 PE HD (polyéthylène haute densité) [7].

- **Ramifiées** : dans ce cas le polymère sera plus souple comme le PE BD (Polyéthylène basse densité). Les thermoplastiques peuvent être fondus à plusieurs reprises et sont capables soit de se dissoudre ou au moins d'être sensibles au gonflement sous l'action de nombreux solvants. Ils sont rigides à température ambiante, ramollissent avec l'augmentation de la température puis finalement deviennent fluides. Les thermoplastiques amorphes sont semblables au verre par rapport à la structure moléculaire et la transparence. Ils se distinguent des thermoplastiques semi cristallins, qui sont laiteux et opaques. Quand un plastique est transparent comme le verre on peut supposer qu'il s'agit d'un thermoplastique amorphe (mais attention il y a des exceptions, comme par exemple le polyméthylpentène). Les

plastiques thermoplastiques constituent la plus grande proportion de matières utilisées dans le monde [7].

Exemples de thermoplastiques amorphes :

- Acrylonitrile butadiène styrène (ABS)
- Acrylonitrile styrène acrylate (ASA)
- Polycarbonate (PC)
- Poly méthacrylate de méthyle (PMMA)
- Polystyrène (PS)
- Polychlorure de vinyle (PVC) [7]

I.1.4.2. Les thermodurcissables :

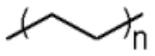
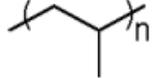
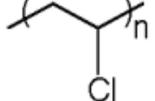
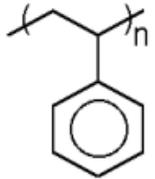
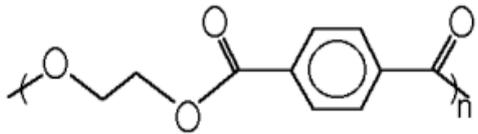
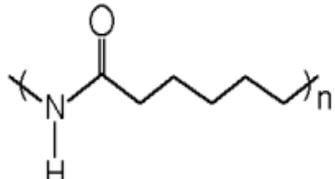
Les plastiques thermodurcissables sont transformés sous l'impact conjugué de la Température, la pression et les produits chimiques. Les macromolécules réticulent Pendant la cuisson. Cet état de la matière est irréversible, et donc les thermodurcissables ne peuvent être fondus de nouveau après leur réticulation. Ils restent solides et rigides presque jusqu'à la température de décomposition. Cette famille comprend différents matériaux comme les compounds qui durcissent, les résines liquides ou de coulée et les semi-produits. Ils sont indissolubles et ne fusionnent pas. De ce fait, la tenue à la chaleur et la résistance aux attaques chimiques sont considérables [7].

I.1.4.3. Les élastomères :

Elastomères 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. Ils peuvent subir une élongation qui peut atteindre plusieurs fois leur longueur initiale puis reprendre leur forme originelle. Exemples d'élastomères :

- Styrène butadiène styrène (SBS)
- Styrène éthylène butylène styrène (SEBS)
- Caoutchouc éthylène propylène ter polymère (EPDM) [7].

I.1.5 .Différent type et structure moléculaire:**Tableau I.1 :** Type et Structure Moléculaire des polymères [4].

Sigle	Structure moléculaire	Désignation courante
PE		polyéthylène
PP		polypropène
PVC		poly(chlorure de vinyle)
PS		polystyrène
PET		poly(téréphtalate d'éthylène)
PA-6		polycaprolactame

I.1.6. Domaine d'application :

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

Les domaines d'utilisation sont relativement classés comme suit :

- ❖ Emballage
- ❖ Bâtiment et construction 23%
- ❖ Électricité et électronique 9%
- ❖ Automobile 8%
- ❖ Sport et loisirs 3%
- ❖ L'agriculture 2%
- ❖ Autres 21% [7]

I.2. Les biopolymères :

I.2.1.Introduction :

Depuis quelques années, les termes biopolymère, polymère biosourcé ou encore polymère biodégradable sont au cœur de notre société mais il convient de ne pas les confondre. A ce sujet, une publication récente de l'IUPAC permet de clarifier cette terminologie. Ainsi, un biopolymère est défini comme étant constitué par un genre de biomacromolécules, elles-mêmes formées par des organismes vivants. C'est le cas des protéines, des acides nucléiques ou encore des polysaccharides. Lorsque l'on parle de polymère biosourcé, le terme biosourcé signifie que le polymère est composé ou issu en partie ou complètement de la biomasse. Cette caractéristique présente un avantage certain puisqu'elle limite l'utilisation des ressources fossiles[4].

Le terme « bioplastique » est un terme qui qualifie deux réalités très différentes: l'origine biosourcée du matériau, (i.e. ressource renouvelable), et la gestion de sa fin de vie (i.e. biodégradable). Il regroupe 3 familles de polymères : les polymères biosourcés et biodégradables, les polymères biosourcés et non-biodégradables et les polymères nonbiosourcés mais biodégradables [8].

I.2.2. Définition :

Les biopolymères sont donc des polymères issus exclusivement d'organismes vivants ou de polymères synthétisés à partir de ressources renouvelables. Ces polymères connaissent depuis quelques années un réel essor du fait de leurs origines biologiques et surtout de leur caractère biodégradable. Leurs utilisations en substitution ou même en mélange à d'autres polymères synthétisés à partir d'hydrocarbures offrent donc des applications intéressantes. En effet, dans un monde où les matériaux recyclables ou biodégradables prennent peu à peu plus de place, les biopolymères sont de plus en plus valorisés [9].

Les biopolymères regroupent suivant les définitions CEN à la fois les macromolécules bio basés, les macromolécules biodégradables et les macromolécules biocompatibles. Les polymères bios basés, comme catégorie importante des produits bio basés, sont des molécules issues partiellement ou totalement de la biomasse. Ils proviennent donc en tout ou en partie de matières premières renouvelables. Les polymères bios basés ne sont pas nécessairement biodégradables, de même que les polymères issus de ressources fossiles ne sont pas nécessairement non biodégradables [10].

Les bioplastiques s'intègrent dans le champ plus vaste des biomatériaux, qui recouvre l'ensemble des matériaux vivants, provenant d'espèces vivantes, ou compatibles avec les espèces vivantes. Tout polymère biodégradable, ou bio-sourcé (issu de la biomasse renouvelable) peut être défini comme un bioplastique. Plusieurs types de ressources peuvent être à l'origine des bioplastiques. De nombreuses voies restent donc à explorer, puisque la recherche s'est focalisée jusqu'à présent sur les polymères issus du pétrole. La cellulose étant la ressource la plus abondante sur terre, la recherche sur les bioplastiques n'en est qu'à ses débuts. L'une de ces ressources est en train d'émerger depuis peu, il s'agit des micro-organismes, actuellement produits par des bactéries, et bientôt par des microalgues. Ces micro-organismes sont porteurs d'un fort potentiel, et de nombreux produits vont probablement en émerger. Les bioplastiques comprennent également les polymères issus de la fermentation de ressources naturelles, l'amidon par exemple [11].

Le terme bioplastique regroupe deux types de polymères distincts :

- ✚ Les polymères dits bio-sourcés (ou agro-sourcés), c'est à dire issus de ressources renouvelables, souvent de la matière végétale, telles que le blé, le maïs ou bien la pomme de terre par exemple.

- ✚ Les polymères biodégradables. Ceux-ci peuvent être issus aussi bien de la pétrochimie que de la biomasse [12].

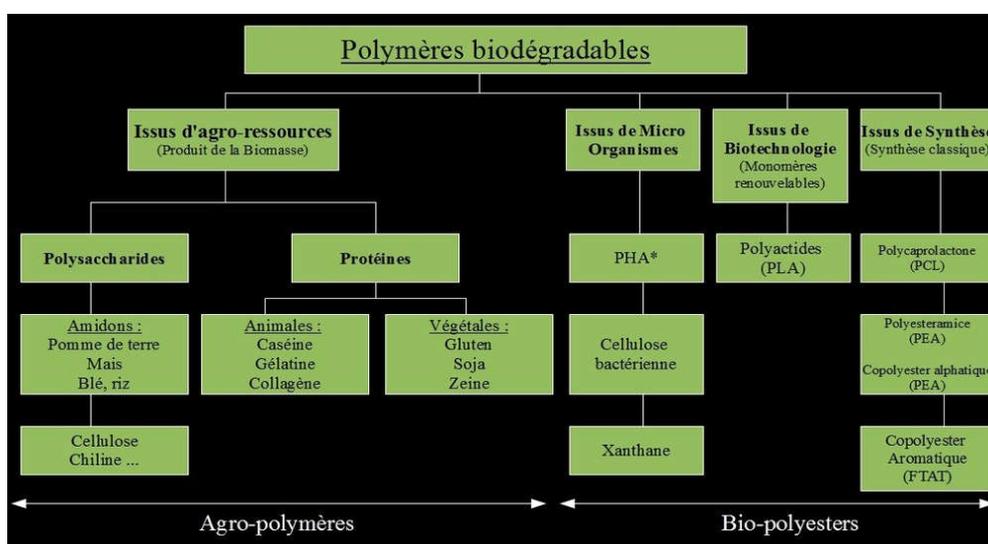


Figure I.4 : Classification des polymères biodégradables [12].

I.2.3. Historique :

Historiquement, les premières matières plastiques utilisées industriellement par l'homme étaient d'origine naturelle. Avant de maîtriser les monomères issus du raffinage du pétrole à partir des années 1930, de nombreux objets de la vie courante étaient fabriqués avec des polymères biosourcés. Les ressources utilisées sont alors le caoutchouc naturel (découvert dès le 18^{ème} siècle), la cellulose avec la *Parkésine*, le *Celluloïd* ou encore la cellophane à la fin du 19^{ème} puis début du 20^{ème} siècle ou encore des composants du lait comme la caséine qui mena à la fabrication de la *Galatithe* en 1897. Des dizaines d'années plus tard en 1947, le Rilsan (ou polyamide 11) fut le premier bioplastique technique introduit sur le marché, porté par ses excellentes propriétés mécaniques et de résistance chimique. Il fut ensuite suivi à partir des années 1990 par les bioplastiques les plus connus aujourd'hui comme le PLA, les PHAs ou encore les amidons plastifiés qui ont pu bénéficier des avancées rapides du secteur de la chimie vert et de la chimie blanche dans la valorisation de la biomasse (amidons, sucres, cellulose, etc.). Outre de nouveaux polymères biosourcés et / ou biodégradables qui voient le jour régulièrement comme le PEF, les principales évolutions reposent sur la diversification des ressources utilisées afin de produire ces matériaux, avec l'essentiel des travaux qui sont effectués sur la valorisation de coproduits ou de déchets de différentes biomasses [13].

I.2.4. Les familles des biopolymères :

Les biopolymères classés en trois familles : les biopolymères issus directement de la nature, les polymères synthétisés à partir de biomonomères et les biopolymères synthétisés à partir de micro-organismes [14].

I.2.4.1. Biopolymères issus directement de la nature :

Les biopolymères issus directement de la nature les plus connus sont la cellulose [Figure I.5] et la lignine. Ils sont présents dans les plantes dans les organes de structure. La cellulose est le biopolymère le plus important sur la planète grâce à la photosynthèse des végétaux. La biomasse en produit environ 200 milliards de tonnes par an et 3% seulement sont actuellement exploités [14].

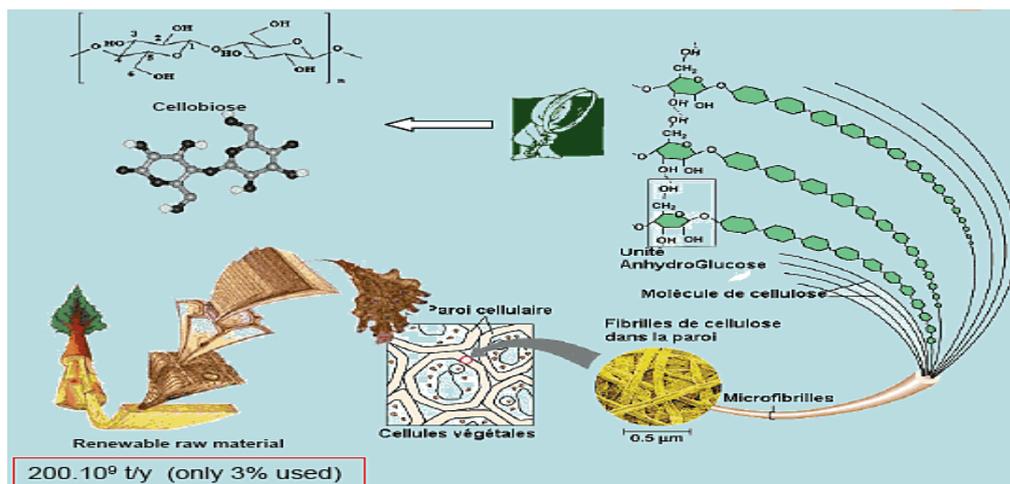


Figure I.5 : Schéma de la cellulose [14].

Autre biopolymère de grand intérêt : l'amidon présent dans les organes de stockage de la pomme de terre, du riz, du maïs, ... [14].

1.2.4.2. Polymères synthétisés à partir de biomonères :

Ce sont des polymères fabriqués classiquement comme tous les plastiques, mais avec des molécules issues de la nature. Citons le polyacidelactique (PLA) qui est fabriqué à partir d'acide lactique lui-même obtenu à partir du glucose issu de l'amidon de maïs par exemple. Ce PLA correspond aux deux tiers des biopolymères utilisés industriellement et présente l'avantage d'être rigide et transparent. [14].

1.2.4.3. Biopolymères synthétisés à partir de micro-organismes :

Il s'agit principalement des polyhydroxyalkanoates (PHA) fabriqués par des micro-organismes particuliers nourris du sucre. La production en batch limite encore leurs applications en raison de prix trop élevés. Toutefois, la possibilité d'avoir une large gamme de propriétés en fait les biopolymères de l'avenir (cinq à dix ans) [14].

I.2.4.4. Organigramme des différentes familles de biopolymères :

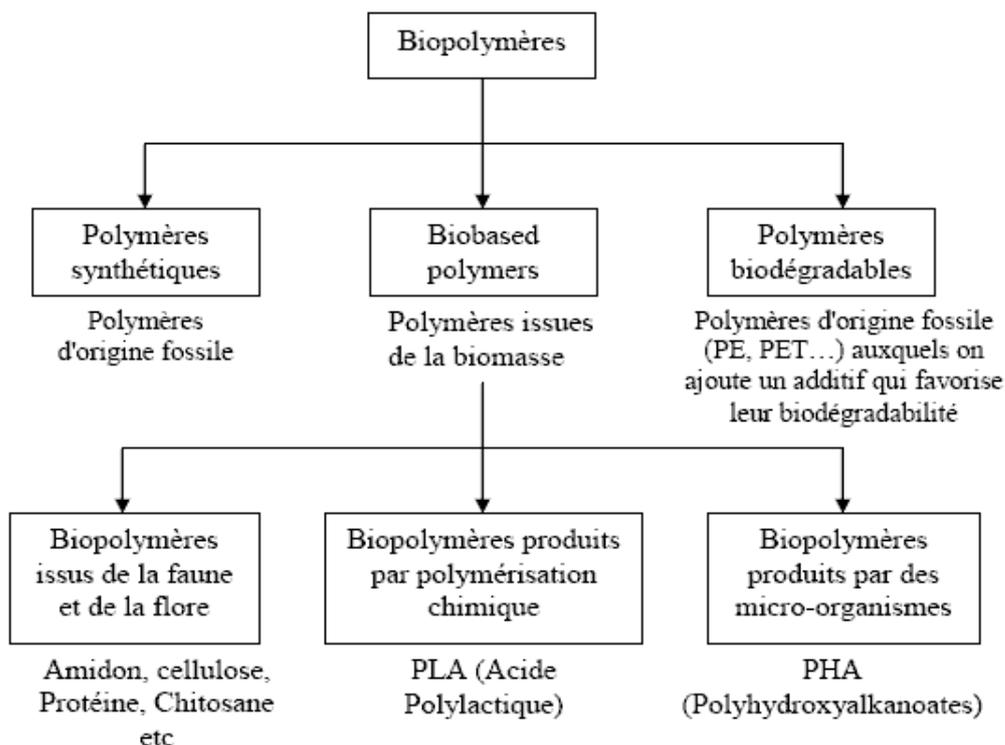


Figure I.6 : Organigramme des différentes familles de biopolymères [15]

I.2.5. Propriétés des biopolymères et leurs applications :

De par leur structure chimique, les biopolymères présentent des propriétés particulières et intéressantes utilisés dans des domaines très variés tels que l'emballage, l'agriculture, la construction, l'automobile, l'électronique et le textile. Ils sont également employés pour des applications à forte valeur ajoutée dans le domaine médical (implants vasculaires, fils de suture, vis et broches, ligaments artificiels...) [4].

Tableau I.2 : Propriétés spécifiques de quelques biopolymères et les applications attendues [4].

Biopolymères	Propriétés particulières	Applications ciblées
Polymères à base d'amidon	Antistatiques, anticondensations, toucher naturel	Emballages, sacs, films de paillage
Polymères à base de cellulose	Transparences, antistatiques	Fibres, épaississant
Polymères à base de protéine	Comestibles, perméabilité sélective aux gaz	Galénique, emballages alimentaires
Polymères à base d'huile	Siccativités	Peinture, vernis
Polymères de synthèse (PLA)	Anticondensations, brillances, antibactériens	Emballages, fibres textiles
Polyesters bactériens (PHA)	piézoélectriques, antioxydants, insolubilité dans l'eau	Médical, matériau ostéosynthétique

I.2.6. Exemple des biopolymères et leurs propriétés :

I.2.6.1. Les biopolymères naturel et les polysaccharides :

✚ Les biopolymères naturel :

Ce sont les polymères issus directement de la nature, synthétisés par les végétaux, les animaux ou les micro-organismes. Les plus importants sont les polysaccharides comme l'amidon dont les sources principales sont le maïs, le blé et la pomme de terre, la cellulose (papier), la lignine (bois) ou le chitosane (chitine des crustacées). La deuxième catégorie est constituée par les protéines qui sont issus des plantes oléagineuses (colza, tournesol, soja), des protéagineux (pois, féveroles), du son des céréales (gluten du blé), des tissus animaux (collagène, gélatine) ou des produits animaux (caséine). En fin, on compte aussi ans cette famille les élastomères hydrocarbonés produits par les plantes (caoutchouc naturel) [16].

✚ Les polysaccharides :

Les polysaccharides sont des polymères d'unités de monosaccharides et leur nombre, et degré de polymérisation, varient selon la source. Plusieurs facteurs influencent la structure des polysaccharides. La nature des unités de base (monosaccharides), la liaison glycosidique, les groupements fonctionnels (carboxyle, sulfate, etc.) et le poids moléculaire influencent directement les propriétés des polysaccharides. Les polysaccharides sont retrouvés dans les algues, les plantes ou synthétisés par des microorganismes qui produisent respectivement l'alginate, l'amidon et la gomme xanthane. Les B-glucanes sont une famille de polysaccharides retrouvées dans plusieurs sources différentes (plante, champignon, levure, etc.) qui sont largement étudiées. Ces derniers possèdent tous la même caractéristique structurale soit d'être majoritairement composés de 3-D-glucose mais le type de liaison glycosidique et leurs poids moléculaires diffèrent grandement [17].

Les polysaccharides constituent la famille de biopolymères les plus répandus et les plus utilisés. Sont appelées également glycanes, sont constitués de monosaccharides liés entre eux par des liaisons glycosidiques, on distingue les homopolysaccharides et les hétéropolysaccharides selon qu'il présente un ou plusieurs types de monosaccharides [16].

Les polysaccharides simples ou complexes synthétisés par des organismes vivants entrent dans la composition de la plupart des cellules (microbiennes, animales et végétales). Parmi les plus connus, on peut citer la cellulose, l'amidon, la chitine. Ces polysaccharides sont constitués de 100 à 1000 motifs D-glucopyranose reliés entre eux par des liaisons acétal [16].

I.2.6.1.1. L'amidon :

I.2.6.1.1.1. Définition :

L'amidon est un polysaccharide d'origine végétale qui constitue la principale réserve glucidique des plantes supérieures. Il représente une fraction pondérale importante dans un grand nombre de matières premières agricoles telles que les céréales (30 à 70 %), les tubercules (60 à 90 %) et les légumineuses (25 à 50 %). L'amidon est la principale source d'énergie dans l'alimentation animale et humaine. La moitié de la production industrielle mondiale de l'amidon est destinée à l'alimentation humaine. L'amidon trouve des applications dans divers secteurs industriels non alimentaires, notamment dans l'industrie du papier, l'industrie pharmaceutique, cosmétique et textile. [18]

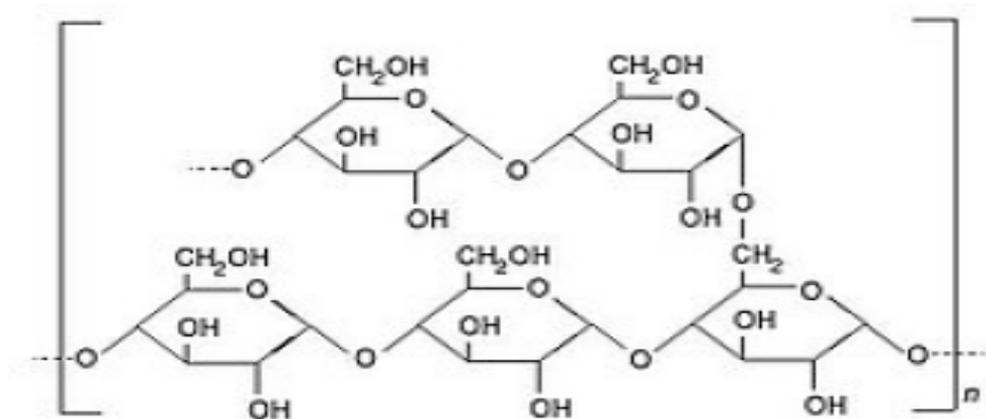


Figure I.7 : Structure chimique de l'amidon [19].

I.2.6.1.1.2. Structure de l'amidon :

L'amidon est un homopolymère du D-glucose. Il est formé de deux polymères de structures primaires différentes : l'amylose et l'amylopectine (composants glucidiques). L'amylose est une molécule quasi linéaire tandis que l'amylopectine est ramifiée [20].

Il faut noter que l'amidon contient également des composants mineurs non glucidiques (lipides, protéines et minéraux) dont les teneurs varient avec l'origine botanique et la technologie d'extraction (Tableau 3). La teneur en amylose varie avec l'origine botanique de l'amidon entre 13 % et 35 %. Elle atteint des valeurs extrêmes dans des mutants, comme 0 % dans le maïs cireux ou 70-80 % dans le pois ridé ou l'amylomais (maïs riche en amylose) [20].

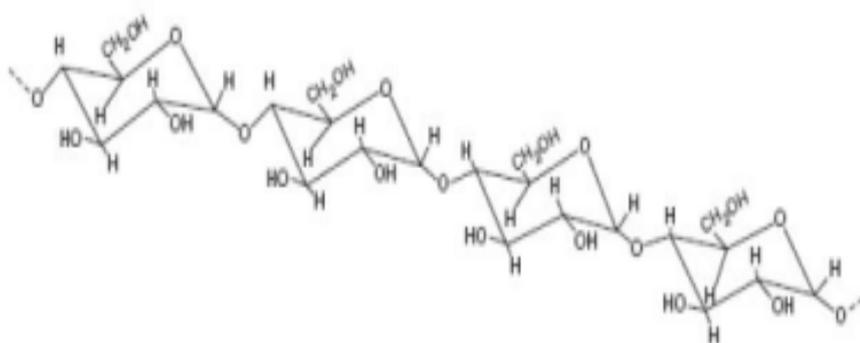
L'amidon se présente sous forme de granules de taille variant de 1 à 100 μm ; ces granules ont une structure semi-cristalline qui résulte de l'organisation spatiale des macromolécules d'amylopectine et d'amylose [20].

Tableau I.3 : Teneurs en éléments mineurs des amidons [20].

	Lipide (%)			Protéine (%)	Éléments Minéraux (%)	Phosphore (%)
	totaux	acide gras libres	lysophospholipides			
Mais Standard	0,63	0,30-0,53	0,16-0,35	0,35	0,10	0,02
Mais cireux	0,23	0,03-0,04	0,12-0,75	0,25	0,10	0,01
Amylomais	1,11	0,38-0,67	0,26-0,61	0,50	0,20	0,03
Blé	1,12	0,03-0,05	0,86-1,36	0,25	0,30	0,06
Riz	1,04	0,22-0,50	0,41-0,86	0,44	0,30	0,03
Pois	0,19	-	-	0,18	0,50	0,04
Pomme de Terre	0,9	-	-	0,25	0,30	~0,1
Manioc	0,1	-	-	0,10	0,20	0,01

✚ L'amylose :

L'amylose est un homopolymère linéaire de 600 à 6000 unités D-glucosyl liées par des liaisons α -D-glucopyranoses (1-4) ce qui lui confère une structure non-linéaire contrairement à celle de la cellulose (les monomères glucoses de la cellulose sont liés par des liaisons β -D-glucopyranoses (1-4)). La masse molaire de l'amylose varie de 105 à 106 g/mol. Les molécules d'amylose peuvent être faiblement ramifiées et ces ramifications sont d'autant plus nombreuses que la masse molaire est grande [20].

**Figure I.8** : Structure de l'amylose [20].

La conformation et le mode de liaison de l'amylose lui permettent d'adopter des formes hélicoïdales comportant 6, 7 ou 8 unités glucosyls par tour [20].

Ces hélices forment des cavités hydrophobes qui confèrent à l'amylose sa capacité à complexer des molécules hydrophobes telles que l'iode, des acides gras ou des alcools.

Cette capacité est utilisée pour la caractérisation analytique de l'amylose dans l'amidon. En effet, l'amylose a la capacité de lier 20 % de sa masse à l'iode et forme un complexe présentant une coloration bleue qui est caractérisé par une longueur d'onde maximale d'absorption comprise entre 620 et 640 nm. La séparation de l'amylose se fait par fractionnement alcoolique notamment avec le butanol [20].

✚ L'amylopectine :

L'amylopectine est un homopolymère extrêmement ramifié et beaucoup plus abondant que l'amylose. Chez les céréales, L'amylopectine est constituée d'un ensemble de grappes de chaînes généralement classifiées A, B ou C. Les chaînes A (ne portent pas d'autres chaînes), portées par les chaînes B, sont liées à la structure par des liaisons $\alpha(1,6)$ et sont les plus courtes avec un degré de polymérisation compris entre 12 et 20. Les chaînes B, sont reliées à l'unique chaîne C d'une macromolécule d'amylopectine qui porte la seule extrémité réductrice, par des liaisons $\alpha(1,6)$. Les chaînes B portent une ou plusieurs chaînes A et/ou B (Figure I-3b). Le degré de polymérisation moyen des chaînes B et C varie de 30 à 45 [20].

L'extrémité réductrice du polymère correspond à l'unité glucosyl dont le carbone anomérique n'est pas lié à une autre unité glucidique. L'unité glucose située à l'autre bout de la chaîne est appelée extrémité non-réductrice car le carbone anomérique est engagé dans une liaison glycosidique $\alpha(1-4)$ et $\alpha(1-6)$. Certaines réactions de dégradation commencent par l'extrémité réductrice [20].

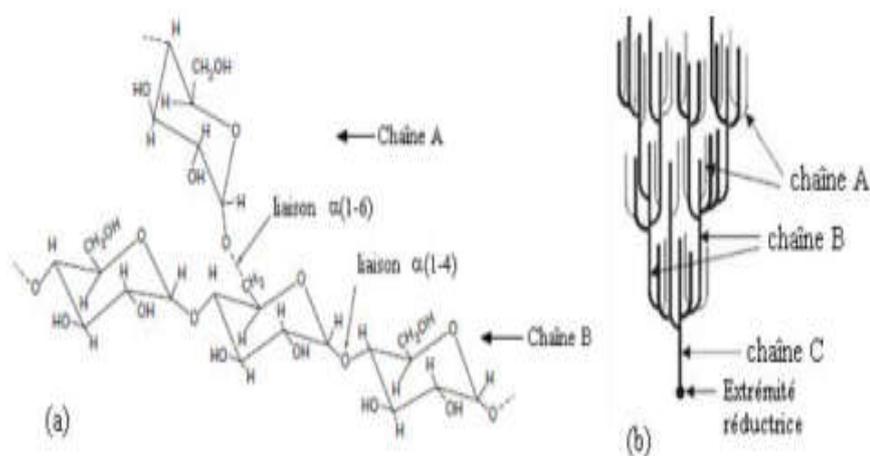


Figure I.9 : (a) Structure de l'amylopectine (b) Classification des chaînes et organisation en grappes de l'amylopectine [20].

Les différences structurales, liées à l'origine botanique, portent essentiellement sur le rapport chaînes longues/chaînes courtes qui serait de l'ordre de 5 pour les amylopectines de tubercules et de 8 à 10 pour les amylopectines de céréales et légumineuses [20].

L'amylopectine a une masse molaire qui varie de 107 à 108 g/mol. Il possède une faible capacité à lier l'iode (moins de 1 % en masse) ; le complexe formé de couleur brune est identifié à la longueur d'onde maximale de 540 nm [20].

L'amylopectine est le constituant majeur de la phase cristalline du granule. Associent la résistance thermique des amidons extraits de certaines lignées de maïs au pourcentage élevé de courtes chaînes d'amylopectine présent dans leurs parties cristallines. Cette résistance résulterait principalement du grand nombre de ramifications dans la structure cristalline de ces amidons, ce qui leur conférerait une plus grande résistance à la désarticulation pendant leur traitement thermique [20].

Tous les amidons sont constitués par ces deux macromolécules. Le rapport amylose/amylopectine, ainsi que la quantité d'eau qu'ils contiennent, varient avec l'origine de l'amidon (Tableau I.4). Les autres propriétés de l'amidon varient également suivant son origine [20].

Tableau I.4 : Contenu en amylose et amylopectine des amidons [21].

	AMYLOSE (%)	AMYLOPECTINE (%)
MAÏS STANDARD	24,0	76,0
MAÏS CIREUX	0,8	99,2
MAÏS en haute teneur en amylose	70,0	30,0
POMME DE TERRE	20,0	80,0
RIZ	18,5	81,5
TAPIOCA	16,7	83,3
BLE	25,0	75,0

Tous les types d'amidon commerciaux contiennent environ 0,2-0,6% de protéines résiduelles, sauf l'amidon de pomme de terre qui en contient, en général, 0,05%. Ces pourcentages dépendent des procédés d'obtention de l'amidon à partir des végétaux [20].

I.2.6.1.1.3. Application :

L'amidon est exploité pour ses propriétés :

- ✚ d'épaississant de gélifiant.
- ✚ biodégradabilité originelle.

Dans :

- ✓ L'agroalimentaire à travers l'industrie des boissons, confiseries et boulangeries.
- ✓ L'industrie chimique qui l'utilise dans les procédés de fermentation pour la production de bioéthanol, les traitements de surface, la formation de colles, l'encapsulation de produits pharmaceutique, les cosmétiques, la papeterie et les matières plastique biodégradables [16].

I.2.6.1.2. La cellulose :

Les organismes photosynthétiques, tels que les plantes, algues et certaines bactéries, produisent en fixant le gaz carbonique, plus de 100 milliards de tonnes de matière organique chaque année. La moitié environ de cette masse est constituée d'un biopolymère tout à fait remarquable, la cellulose, qui représente de ce fait, la molécule biologique la plus abondante sur notre planète. Cette macromolécule glucidique est un élément structural de premier ordre pour la grande majorité des parois végétales. Élément constitutif majeur du bois, la cellulose est également un constituant majoritaire du coton et des fibres textiles telles que le lin, le chanvre, le jute ou la ramie [22].

La cellulose est un homopolymère linéaire de résidus gluco-se de configuration D, connectés selon une liaison glycosidique β (1-4) [22].

Des esters et éthers de cellulose peuvent être aisément obtenus. A noter cependant que cette substitution induit souvent une diminution de la sensibilité à la biodégradation [22].

La cellulose est très utilisée pour la formation de films flexibles et transparents, présentant des propriétés barrières à l'humidité et à l'oxygène non négligeables. Citons par exemple le cellophane qui domine le marché des emballages transparents depuis l'introduction des emballages thermoplastiques synthétiques dans les années 50. Le cellophane est constituée de cellulose régénérée, obtenue par extrusion d'une dispersion visqueuse alcaline de xanthate de cellulose dans un bain acide. Le film est obtenu après traitement avec un agent plastifiant (glycérol) et séchage [22].

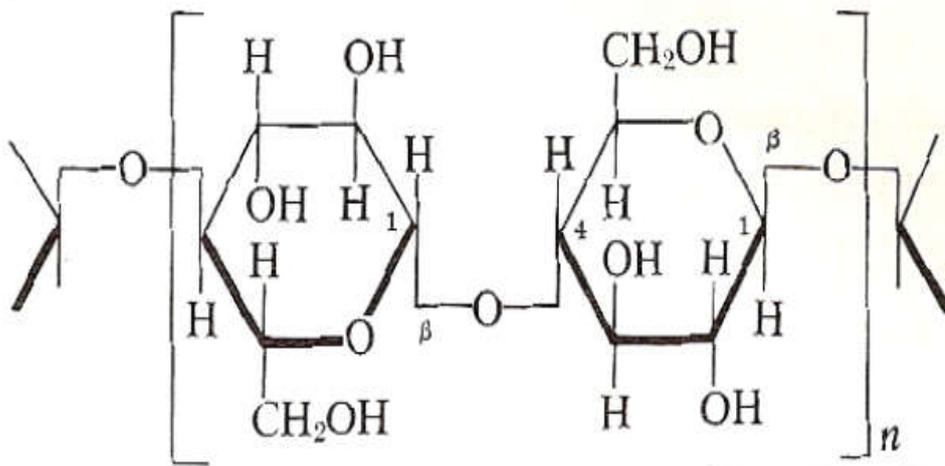


Figure I.10 : Formule de la cellulose. [23]

I.2.7. Les avantages et inconvénients des bioplastiques :

Tout d'abord les bioplastiques contribuent à la réduction des gaz à effet de serre comme le dioxyde de carbone (CO₂). Ceci est dû à la partie végétale de leur composition. Qu'ils soient incinérés ou dégradés, ils ne produisent pas de carbone additionnel. Ils ne contribuent donc pas à l'augmentation de l'effet de serre. De plus, le bioplastique participe à la réduction des déchets à la source. C'est-à-dire qu'actuellement, 50% des déchets ménagers vont en décharges contrôlées [24].

- Ils économisent aussi les matières premières fossiles. Comme ils sont créés grâce à des produits issus de matières renouvelables (amidon, maïs...), ils permettent de diminuer les prélèvements de ressources fossiles et d'affranchir des variations du prix du pétrole.
- Le bioplastique permet de réduire la pollution sur le long terme ainsi que notre dépendance aux combustibles fossiles. Les Bioplastiques génèrent 68% de gaz à effet de serre en moins par rapport aux matières plastiques à base de combustibles fossiles. La fabrication de matières plastiques à base de pétrole nécessite environ 200.000 barils de pétrole par jour. Le passage aux Bioplastiques permettra d'être nettement moins dépendant du pétrole étranger.
- Ils permettent de même une anticipation de l'épuisement du pétrole, les bioplastiques issus de ressources végétales annuellement renouvelables, permettent une diminution des déchets par compostages et une diminution de l'empreinte carbone.

Enfin ils permettent une sensibilisation de l'opinion publique aux problèmes environnementaux. C'est un argument marketing fort. Ils aident à être actif sur la question du développement durable [24].

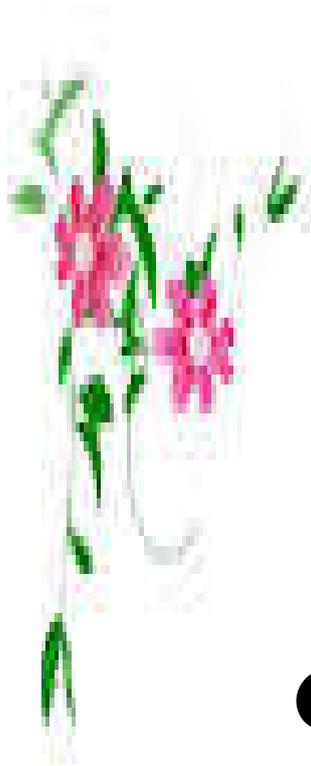
Les bioplastiques présentent malgré leurs nombreux avantages quelques défauts, principalement engendrés par des abus ou un manque de maturité de développement :

- Le principal problème des bioplastiques réside en leur coût de production.
- La production trop restreinte de bioplastiques est à la base du problème.

A produire, un sachet plastique standard coûte environ 5 centimes d'euro, contre 9 pour un sachet en bioplastique. Ils sont donc environ 30% plus cher que le plastique traditionnel. De plus la part de marché des bioplastiques est estimée entre 1 et 4% en 2020, ces chiffres sont faibles, le marché des bioplastiques n'est donc pas encore une solution économique réellement fiable [24].

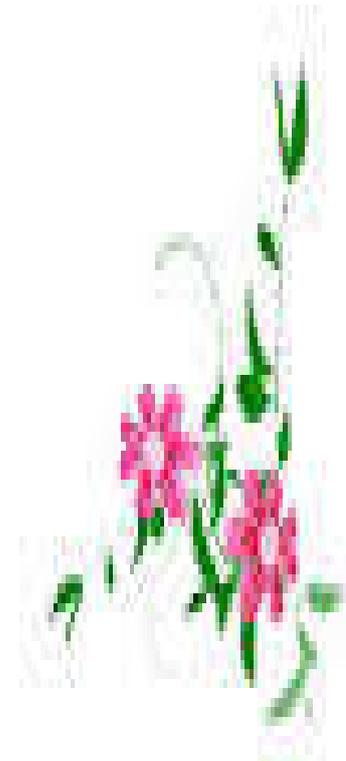
Cependant ce coût va être réduit dans l'optique d'une production massive. Les quantités produites vont en effet être multipliées par 4 en 2010, rabaisant le prix des produits en bioplastique à ceux faits en plastiques normaux.

Une aide intergouvernementale ou nationale est attendue dans le domaine des bioplastiques. En effet, dans le cadre d'une politique favorable (subventions, autorisations de cultures), la production peut être deux fois plus importante qu'une production laissée sans intervention de l'Etat [24].



CHAPITRE II

LES ADDITIFS ET LES CHARGES



II.1. Les additifs et les charges :

II.1.1. Les additifs :

II.1.1.1. Définition :

Les additifs sont des substances organiques ou minérales que l'on incorpore aux polymères pour modifier leurs propriétés physiques ou chimiques [25].

Ces composés sont ajoutés aux polymères pour améliorer ou modifier leurs propriétés comme la stabilité, la souplesse, la teinte.....etc.

Les additifs sont des matières ajoutées à un polymère, modifient ses propriétés ou ses caractéristiques.

Il existe une grande variété d'additifs pour une multitude de fonctions : développer ou étendre les propriétés des thermoplastiques, améliorer leur transformation, modifier leur aspect ou augmenter leur résistance à l'environnement extérieur [26].

II.1.1.2. Rôle et fonction :

- ❖ **Les stabilisants UV** : l'ajout de stabilisants UV adaptés garantira une durabilité du produit. La formulation est fonction du lieu et de la durée d'exposition, de la nature des pigments, du polymère, des exigences toxicologiques.
- ❖ **Les Anti-oxydants** : l'ajout d'antioxydants permet de maîtriser la rhéologie du polymère en limitant la dégradation thermique lors de la mise en forme, ainsi que de prévenir une éventuelle dégradation de surface ou de propriétés mécaniques due à une exposition prolongée proche d'une source de chaleur.
- ❖ **Les ignifugeants** : la qualité première d'un plastique est sa facilité de mise en œuvre et sa légèreté, mais pour certains marchés, cette macromolécule organique ne répond pas aux critères de résistance au feu. Une formulation adaptée permettra de répondre aux normes de résistance au feu (Classement UL 94 V0, V1, V2 ; fil incandescent, ...).
- ❖ **Les Anti-statiques** : leur fonction est de neutraliser les charges électriques en surface afin d'éviter le dépôt de poussières, s'opposer au bon fonctionnement des machines automatiques d'emballage ou détruire certains systèmes électroniques. L'effet est fonction de l'humidité ambiante, de la durée d'exposition, du polymère.

- ❖ **Les Agents de process** : leur fonction est d'éviter les frottements polymère-métal lors de l'extrusion. Les avantages sont une réduction du coût énergétique, une augmentation du débit et une meilleure brillance.
- ❖ **Les Glissants** : l'ajout de glissant dans un polymère permet de réduire les frottements lors de la production ou à l'utilisation. (démoulage, productivité, aspect de surface).
- ❖ **Les Anti-microbiens** : ils apportent une certaine tenue à l'encontre des micro-organismes comme les bactéries, les moisissures. La formulation est adaptée au polymère et à l'efficacité recherchée.
- ❖ **Les neutralisants d'odeurs** : leur rôle est de réagir chimiquement avec certaines molécules odorantes pour les neutraliser [25].

II.1.2. Les charge :

Les charges sont des substances organiques ou minérales, végétales ou synthétiques qui, ajoutées aux polymères ou mélanges de polymères, permettent d'en modifier les propriétés physiques, thermiques, mécaniques et électriques ou simplement d'en abaisser le prix de revient.

Les propriétés ainsi conférées aux polymères ou mélanges de polymères dépendent de la nature et de la forme de la charge utilisée (poudres, fibres, plaquettaires, petites billes...) ainsi que de la quantité ajoutée. Les charges minérales améliorent les propriétés électriques, la résistance à la chaleur et à l'humidité ; elles permettent également d'augmenter la densité de la matière à mouler et de diminuer le retrait [27].

II.1.2.1. 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 [28].

II.1.2.2. 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 antistatiques [28].

II.2. Renfort :

Un renfort est tout produit ni soluble ni miscibles, mélangé à un polymère permet d'améliorer les propriétés mécaniques, électriques, chimiques, coût de production..., du mélange final [29].

Souvent sous forme de fibres, le but des renforts dans les matériaux composites est essentiellement d'accroître leurs propriétés mécaniques (rigidité, résistance à la rupture, dureté, etc.) et d'améliorer des propriétés physiques, tels les comportements au feu et à l'abrasion, la tenue en température ou les propriétés électriques. Les caractéristiques recherchées dans les renforts sont une masse volumique faible, une compatibilité avec les matrices et une facilité de mise en œuvre. Les renforts constitués de fibres se présentent sous les formes suivantes : linéique (fils, mèches), tissus surfaciques (tissus, mats), multidirectionnelle (tresse, tissus complexes, tissage tri directionnel) [28].

II.2.1. Les type de renfort :

La classification des types de renforts couramment rencontrés est indiquée sur la (Figure II.1) [28].

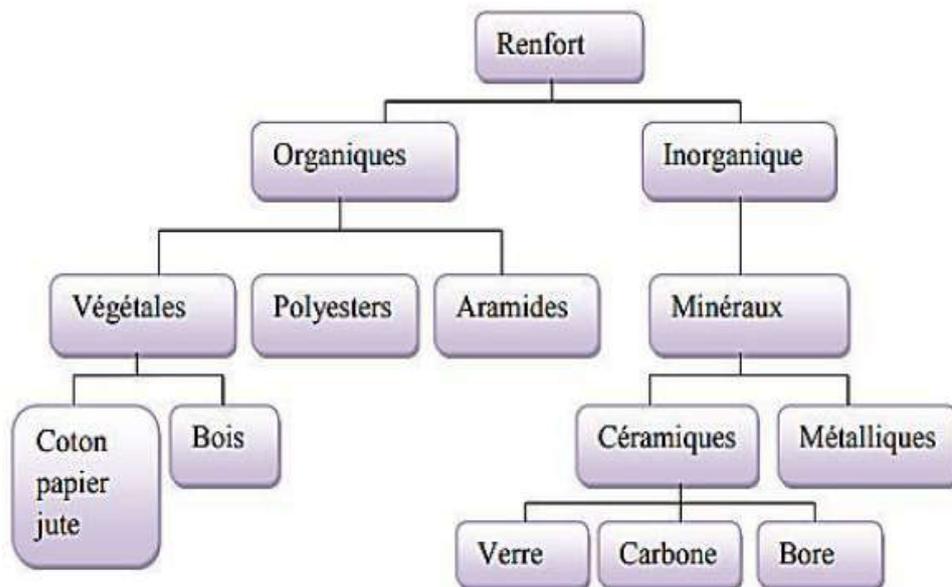


Figure II.1 : Les types de renfort [28].

II.2.2. 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 de manille, 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). La Figure I-10 illustre la classification des fibres naturelles [30].

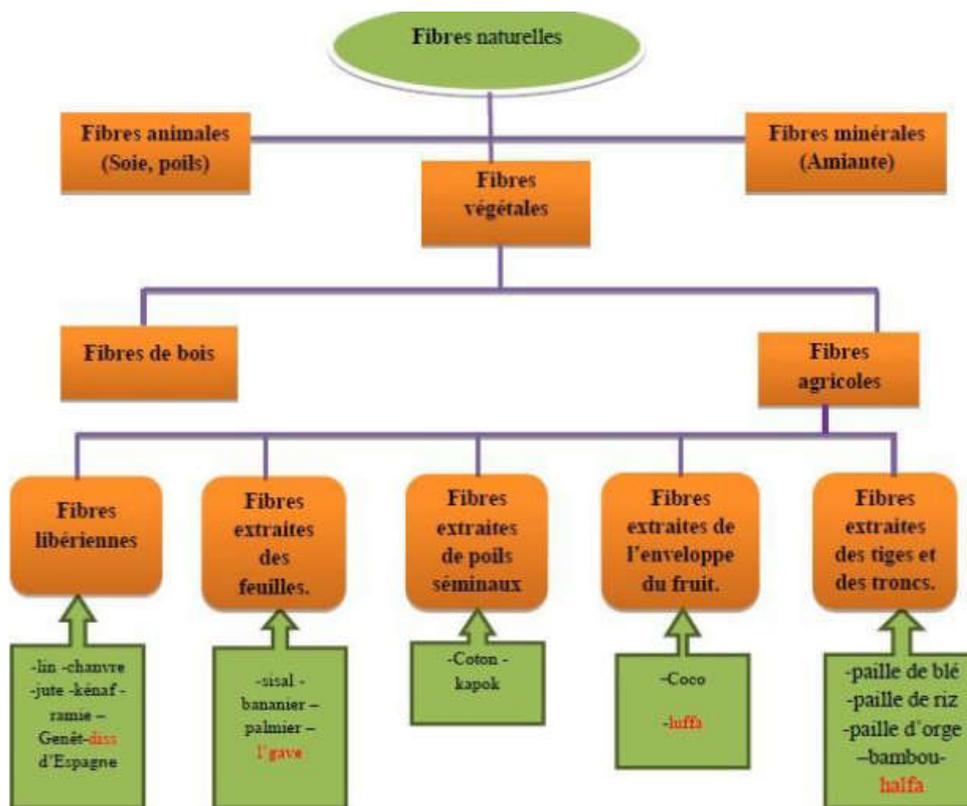


Figure II.2 : Classification des fibres naturelles et quelques exemples [30].

II.2.3. Renfort à fibre végétale :

II.2.3.1. Généralité sur les fibres végétales :

Une fibre végétale est une expansion cellulaire filiforme et morte, principalement composée de cellulose, d'hémicelluloses, de lignines, et de pectines. Elle est isolée ou compose avec d'autres un faisceau [31].

Les fibres végétales peuvent permettre aux industriels des matériaux de réduire leur dépendance vis-à-vis du pétrole, grâce à leurs propriétés mécaniques, leur faible densité, leur résistance thermique, leur absorption phonique, leurs propriétés de surface, et leur biodégradabilité [31].

Les fibres végétale dites encore fibre lignocellulosique, sont des structures rigides microfibrillaires, les fibres végétales sont réparties entre les fibres libériennes (extraites de tige, lin, jute, chanvre) les fibres de feuilles (alfa, sisal), de graines, de fruits, de bois, de la paille de céréales et d'autres fibres d'herbe. Leur composition principale est la cellulose, la lignine et l'hémicellulose [2].

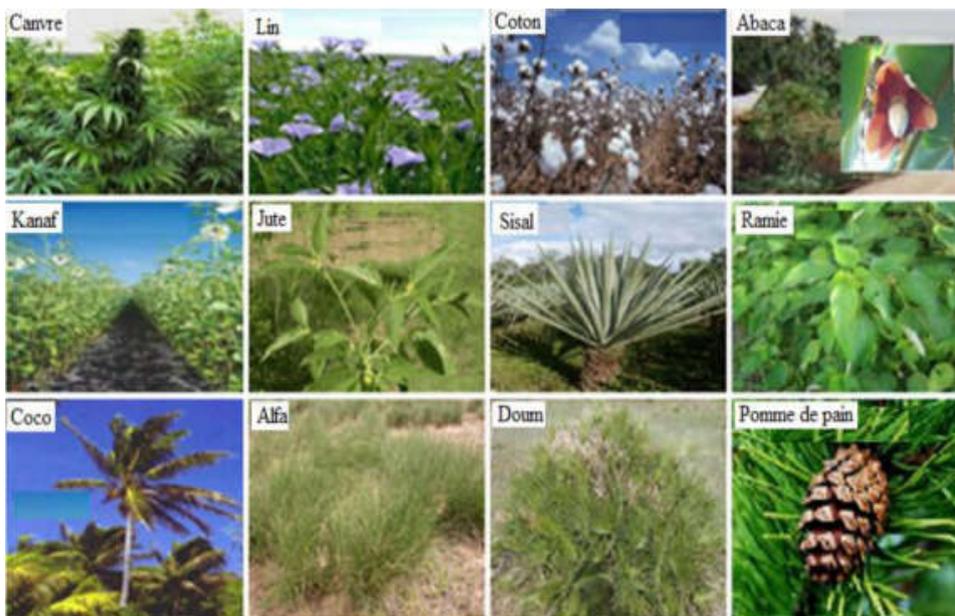


Figure II.3 : Quelques plantes, origine des fibres utilisées comme renfort dans les matrices polymères [2].

II.2.3.2. 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 [1].

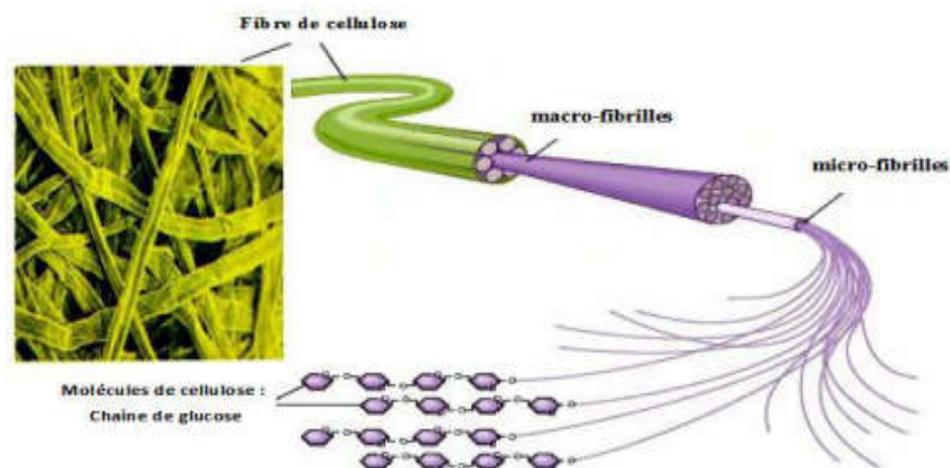


Figure II.4 : Structure d'une fibre végétale [1].

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 [1].

Tableau II.1 : Composition chimique (en %) de différentes fibres végétales [32].

Fibres	Cellulose	Hémicelluloses	Lignine	Pectine	Cire
Coton	85 - 90	5.7	0.7 - 1.6	0-1	0.6
Lin	71	18.6 - 20.6	2.2	2.3	1.7
Chanvre	70 - 74	17.9 - 22.4	3.7 - 5.7	0.9	0.8
Jute	61.1 - 71.5	13.6 - 20.4	12 - 13	0.2	0.5
Ramie	68.6 - 76.2	13.1 - 16.7	0.6 - 0.7	1.9	0.3
Sisal	66 - 78	10 - 14	10 - 14	10	2
Coco	32 - 43	0.15 - 0.25	40 - 45	3 - 4	-
Alfa	45	24	24	5	2

II.2.3.2.1. La cellulose :

La cellulose est un glucide constitué d'une chaîne linéaire de molécules de D-glucose (entre 15 et 15 000). Ce biopolymère est le principal constituant de la paroi des cellules végétales, y compris du bois (lequel est caractérisé par ailleurs par une forte teneur en lignine) [33].

La cellulose constitue 35 à 50 % de la biomasse végétale terrestre devant l'hémicellulose (30 à 45 %) et la lignine (15 à 25 %), formant ainsi la première famille de composés par ordre d'abondance dans les plantes et dans les écosystèmes terrestres où domine la biomasse végétale morte ou vive [33].

La cellulolyse désigne le processus d'hydrolyse des liaisons de la cellulose par des enzymes cellulolytiques [33].

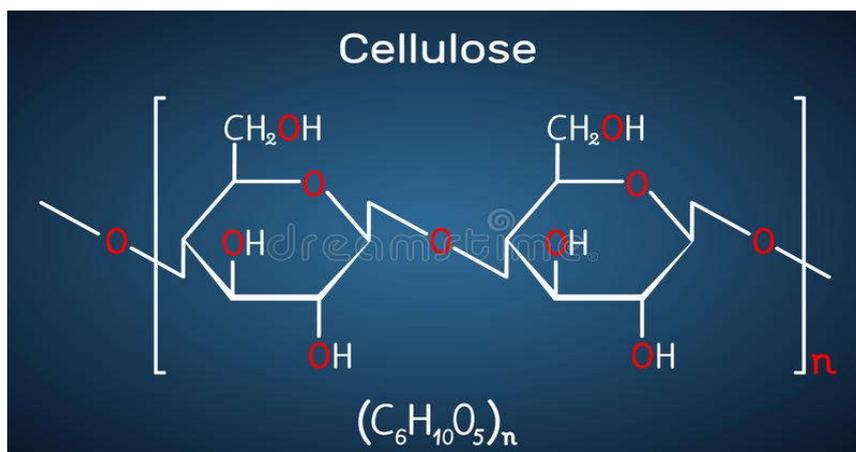


Figure II.5 : Représenter la-formule-chimique de la cellulose [34].

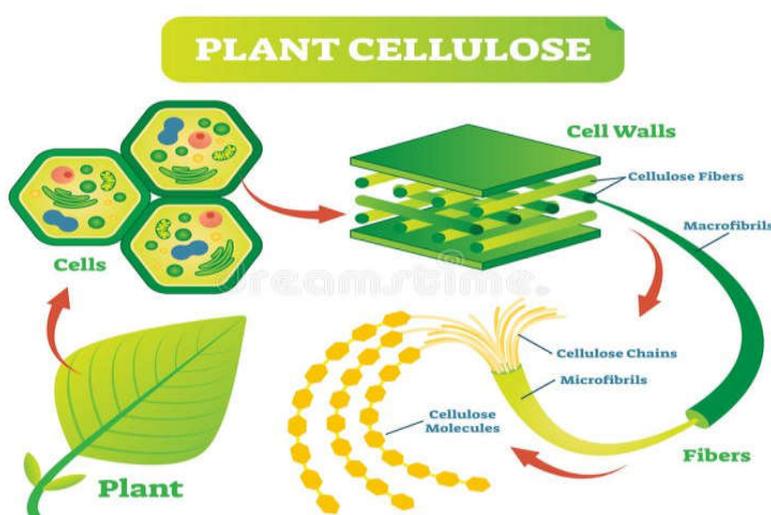


Figure II.6 : Diagramme d'illustration de vecteur de biologie de cellulose d'usine et le plan de fibre [35].

II.2.3.2.2. Hémicellulose:

L'hémicellulose est une fibre polysaccharidique non amyliacée. Elle est un polymère branché avec différents types de sucres. Par rapport à la cellulose, l'hémicellulose ne contient pas que des glucoses anhydres. Par exemple, en plus du glucose, les monomères de l'hémicellulose peuvent être du xylose, du mannose, du galactose, du rhamnose ou de l'arabinose. L'hémicellulose est une fibre insoluble dans l'eau et donc peu fermentescible, elle traverse le système digestif sans être transformée. Mais il existe des hémicelluloses fermentescibles comme l'arabinoxylane qui est rapidement fermenté dans le colon, cela dépend de leur nature. L'hémicellulose est contenue dans le son, les céréales complètes, il

représente environ 1/3 des fibres des fruits, légumes, légumineuses et noix. L'hémicellulose est faite majoritairement de D-pentoses, parfois de petites quantités d'oses de configuration L. Le xylose est toujours l'ose le plus représenté mais les acides mannuronique et galacturonique sont aussi souvent présents. Les hémicelluloses incluent les polysides suivants : xylane, glucuronoxylane, arabinoxylane, glucomannane et xylogluane [36].

50 % des hémicelluloses contiennent des acides uroniques (dérivés carboxylés de glucose et galactose) [36].

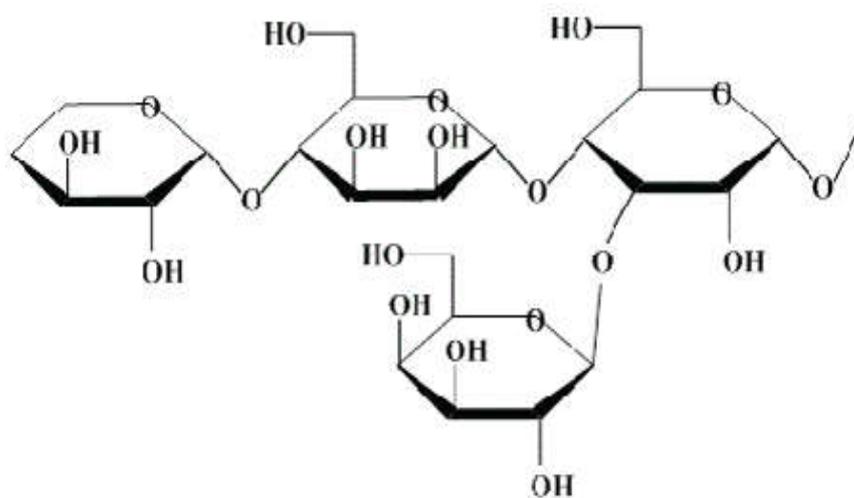


Figure II.7 : Structure d' hémicelluloses [37].

II.2.3.2.3. La lignine :

La lignine (du latin *lignum* qui signifie bois) est une biomolécule, en fait une famille de macromolécules polymères polyphénoliques (famille des tannins *lato sensu*), qui est un des principaux composants du bois avec la cellulose et l'hémicellulose. La lignine est présente principalement dans les plantes vasculaires et dans quelques algues¹. Ses principales fonctions sont d'apporter de la rigidité, une imperméabilité à l'eau et une grande résistance à la décomposition. Toutes les plantes vasculaires, ligneuses et herbacées, fabriquent de la lignine [38].

Quantitativement, la teneur en lignine est de 3 à 5 % dans les feuilles, 5 à 20 % dans les tiges herbacées, 15 à 35 % dans les tiges ligneuses². Elle est moindre pour les plantes

annuelles que pour les vivaces, elle est maximum chez les arbres. La lignine est principalement localisée entre les cellules (voir parois pectocellulosiques), mais on en trouve une quantité significative à l'intérieur même de celles-ci. Bien que la lignine soit un réseau tridimensionnel hydrophobe complexe, l'unité de base se résume essentiellement à une unité de phénylpropane [38].

Après la cellulose (constituant 35 à 50 % de la biomasse végétale terrestre) et l'hémicellulose (30 à 45 %), la lignine (15 à 25 %) forme la troisième famille de composés par ordre d'abondance dans les plantes et dans les écosystèmes terrestres où domine la biomasse végétale morte ou vive. L'abondance de ce biopolymère explique qu'il fasse l'objet de recherches en vue de valorisations autres que ses utilisations actuelles en bois d'œuvre et en combustible [38].

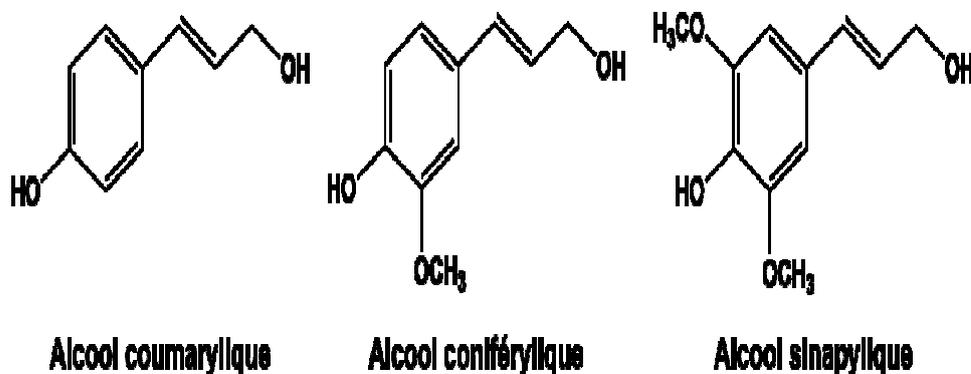


Figure II.8 : Structure de lignine [39].

II.2.3.2.4. La pectine :

Les pectines (du grec ancien πηκτός / *pêktós*, « épaissi, caillé »), ou plus largement les substances pectiques, sont des polysides, rattachées aux glucides. Ce sont des substances exclusivement d'origine végétale. Les pectines sont présentes en grande quantité dans les parois primaires des dicotylédones, et en particulier dans les parois végétales de nombreux fruits et légumes¹. Elles sont extraites industriellement des coproduits de l'industrie des jus de fruits, principalement des agrumes et en moins grande quantité des marcs de pomme. La pectolyse est la lyse de pectines par des enzymes pectolytiques [40].

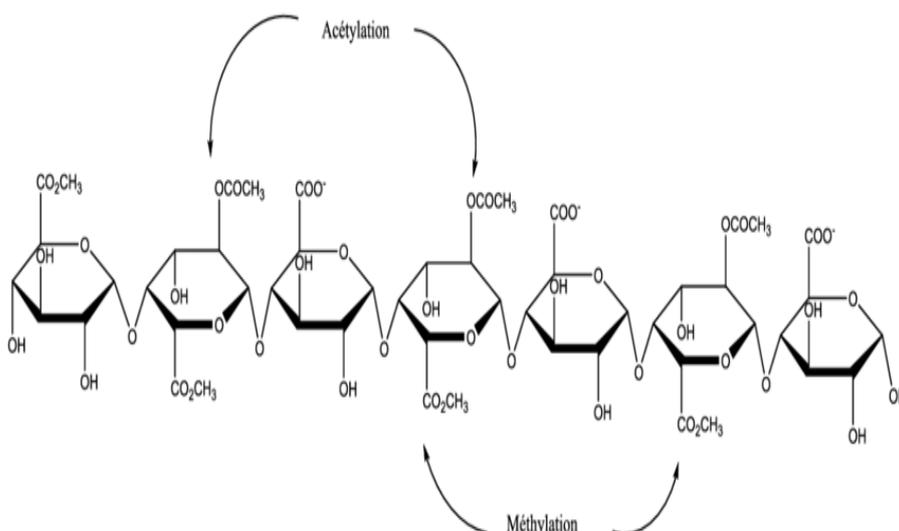


Figure II.9 : Structure de la pectine [41].

II.2.3.2.5. La cire :

Chimiquement, la cire est un ester de l'éthylène glycol et de deux acides gras ou un monoester d'acide gras et d'alcool à longues chaînes. Le terme de cire a longtemps fait référence à la cire d'abeille, substance sécrétée par les abeilles pour construire les rayons de leur ruche [42].

Plus généralement, une cire est une substance dont les propriétés sont similaires à celles de la cire d'abeille. Ces propriétés sont :

- la plasticité : une cire est malléable à température ambiante ;
- un point de fusion supérieur à 45 °C (ce qui différencie les cires des graisses et des huiles) ;
- une faible viscosité lorsqu'elle est fondue (à la différence de beaucoup de plastiques) ;
- l'hydrophobie : une cire est insoluble dans l'eau.

La cire est un corps chimiquement très stable et ses propriétés ne varient guère dans le temps [42].

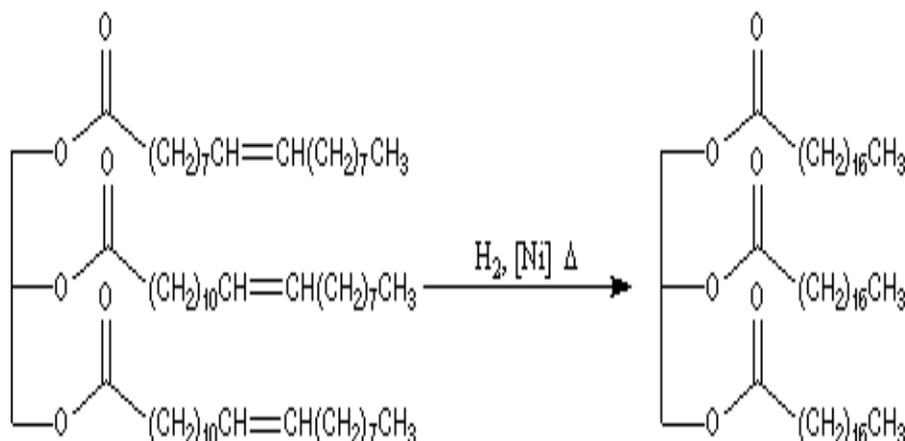


Figure II.10 : La structure de la cire [43].

II.2.3.3. Structure de la fibre végétale :

La fibre végétale est un composite en elle-même. Le renfort est constitué par les couches de microfibrille 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 [44].

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 de microfibrilles (S1, S2, S3) [44].

Les microfibrilles décrivent par rapport à l'axe de la fibre, un angle micro fibrillaire (MAF) dont la valeur varie d'une espèce à l'autre. L'orientation des microfibrilles par rapport à l'axe de la cellule joue un grand rôle dans les propriétés mécaniques des parois des fibres, plus que l'angle des microfibrilles augmente, le module de Young (une mesure de la rigidité) décroît, tandis que l'extensibilité des parois augment [44].

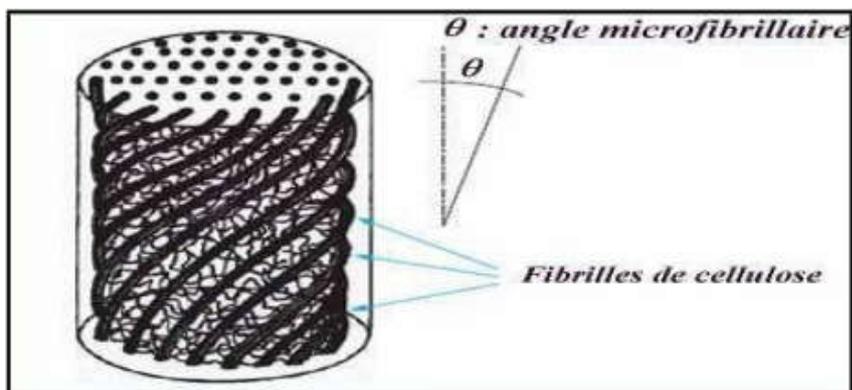


Figure II.11 : Modèle de description de la structure d'une fibre végétale [44].

II.2.3.4. Propriétés physico-mécanique des fibres végétales :

Il est très difficile de présenter un tableau qui répertorie toutes les propriétés des fibres lignocellulosiques. La grande variabilité constitutive et anatomique de la fibre végétale implique une variabilité de leurs propriétés mécaniques [45].

La faiblesse de la masse volumique des fibres végétales (1,2 à 1,5 g/cm³) confère à ces matériaux des propriétés mécaniques spécifiques intéressantes. Les fibres longues ont des contraintes en traction plus faibles que les fibres courtes, du fait que les premières ont de plus grandes probabilités de contenir des défauts de formation [45].

La cellulose cristalline est l'un des polymères ayant un module d'élasticité relativement plus élevé (90-137 Gpa), comparé à celui de la fibre de verre qui est de 75 Gp. Ainsi un index de cristallinité de la cellulose d'une fibre élevé est indicateur de propriétés mécaniques élevées [45].

Les fréquents défauts structuraux (Fig. II. 12) observés de la surface des fibres sont des conséquences de la grande variabilité de morphologie, de composition chimique, de structure et de comportement mécanique spécifique de ces fibres [45].

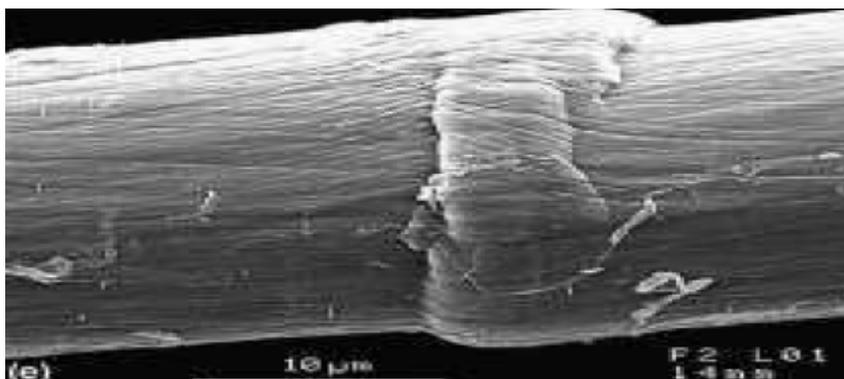


Figure II.12 : Exemple de défaut structural sur une fibre de lin [45].

L'angle micro fibrillaire explique en partie la déformation élastique de la fibre végétale et dès lors son allongement à la rupture en traction. En effet, sous l'action de forces de traction relativement faibles, la fibre lignocellulosique subit une déformation réversible du fait de l'alignement progressif des microfibrilles cellulosiques avec l'axe de la fibre et une déformation élasto-viscoplastique des polymères amorphes [45].

Si la sollicitation de la fibre est plus forte, la déformation de celle-ci entre dans une phase irréversible qui peut se poursuivre jusqu'à la rupture. Un angle micro fibrillaire élevé suppose une déformation élastique plus importante pour une sollicitation de la fibre en traction faible [45].

Tableau II.2 : propriétés physique de différentes fibres végétales [32].

Fibres	Cellulose (%)	Angle microfibrillaire (°)	Diamètre (μm)	Longueur (mm)	Rapport L / d
Coton	85 - 90	33	19	35	1842
Lin	71	10	5 - 76	4 - 77	1687
Chanvre	70 - 74	6.2	10 - 51	5 - 55	960
Jute	61.1 - 71.5	8	25 - 200	9 - 70	110
Ramie	68.6 - 76.2	7.5	16 - 126	40 - 250	3500
Sisal	66 - 78	20	7 - 47	0.8 - 8	100
Coco	32 - 43	45	12 - 24	0.3 - 1	35
Alfa	45	-	5 - 95	5 - 50	1964

Tableau II.3 : Propriétés mécaniques en traction de quelques fibres végétales [32].

Fibres	E (GPa)	All (%)	σ (MPa)	Densité
Coton	5,5 - 12,6	7 - 8	287 - 597	1,5 - 1,6
Lin	58	3,27	1339	1,53
Chanvre	35	1,6	389	1,07
Jute	26,5	1,5 - 1,8	393 - 773	1,44
Ramie	61,4 - 128	1,2 - 3,8	400 - 938	1,56
Sisal	9 - 21	3 - 7	350 - 700	1,45
Coco	4 - 6	15 - 40	131 - 175	1,15
Alfa	12.7	1.6	75 - 154	1.51

II.2.4. Le palmier dattier :

II.2.4.1. Présentation générale :

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) est une monocotylédone de la famille des Palmacées un dont des genres sont le Coryphoideae dont une espèce est *Phoenix dactylifera*, caractérisée par un pseudo – tronc (stipe) unique terminé par un panache de feuilles composées avec une série de folioles de chaque côté d'un pétiole commun, provenant d'un point croissant sur le tronc. Le palmier dattier peut atteindre un âge de 100 ans et atteint jusqu'à 24 m de hauteur au point croissant. Normalement la limite d'âge utile est moins et par conséquent la taille ne sera pas au maximum plus de 15-2 m. C'est une plante dioïque. Les fruits sont des drupes qui forment de longues grappes ou régimes. On distingue les variétés à dattes molles, demi molles et sèches [46].

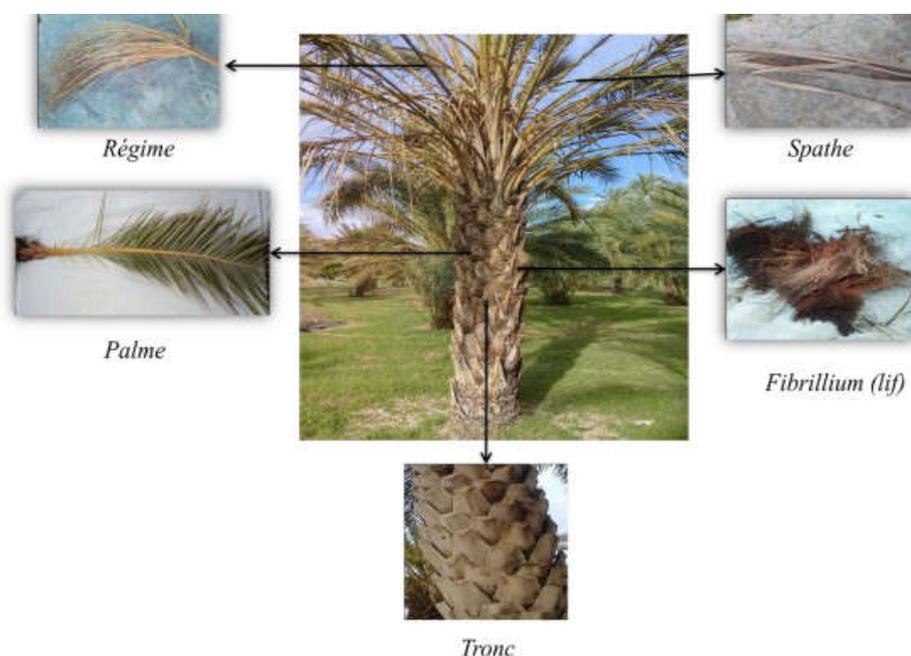


Figure II.13 : Différents composants de palmier dattier [30].

II.2.4.2. Description et zone de culture :

Le palmier dattier est typiquement cultivé dans les oasis sahariennes. Celui originaire d'Afrique du Nord, est amplement cultivé de l'Arabie jusqu'au Golfe Persique, où il forme la végétation caractéristique des oasis. Il est cultivé en outre aux Canaries, dans la Méditerranée septentrionale et dans la partie méridionale des Etats-Unis. C'est une plante sensible au froid, qui pousse sur des terrains de n'importe quelle nature, pourvu qu'ils soient fertiles et bien

drainés. Dans les régions à climat doux, il est cultivé en plein air, en position ensoleillée, utilisé surtout comme plante ornementale pour son allure élancée et son feuillage [47].

Il existe plus de 2600 espèces de palmiers. On pourrait croire que c'est un arbre qui possède un tronc alors que c'est un monocotylédone qui ne contient pas de bois ni de tronc mais possède un stipe. De plus, c'est une plante dioïque contenant donc des palmiers mâles et des palmiers femelles. Le palmier a un tronc très élancé, haut jusqu'à 30 m, couvert de manière visible par les gaines des feuilles tombées. Les feuilles, réunies en un nombre de 20 à 30 maximums, forment une couronne apicale clairsemée. Elles sont pennées, longues jusqu'à 6m; les feuilles supérieures sont ascendantes, les basales recourbées vers le bas, avec des segments coriaces, linéaires, rigides et piquants, de couleur verte [47].

Le palmier dattier se constitue principalement de 10 parties à savoir (figure II.14) [47].

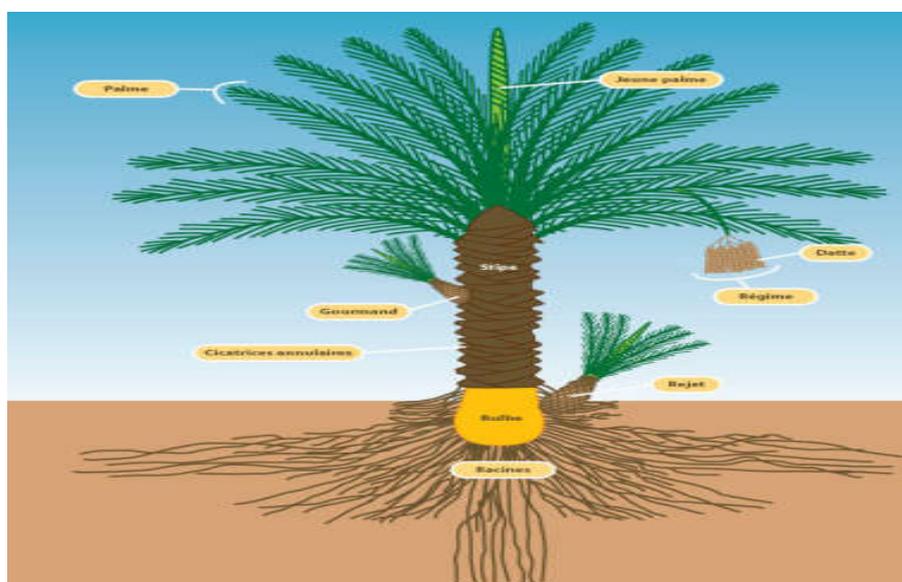


Figure II.14 : Présentation schématique d'un palmier dattier [47].

- **Palmes :** Les palmes sont les feuilles du palmier constitués de rachis le long duquel sont déposés des folioles. Elles sont longues de 4 à 7 mètres. Les feuilles âgées peuvent rester contre le stipe quelques mois voire plusieurs années avant de tomber. L'ensemble des feuilles au sommet du stipe est appelé couronne ; elle peut faire de 6 à 10 mètres d'envergure.
- **Jeune palme :** La jeune palme est enroulée pendant toute sa croissance comme les brins d' - **Régime de dattes :** Un régime de dattes (ou

spécule) est la partie qui supporte les fruits du palmier. On parle aussi de régime pour les bananes. Il est accroché au palmier par la hampe, qui est d'ailleurs tellement résistante qu'elle doit être sciée pour être décrochée. Il peut contenir plus de 1000 fruits, Le palmier devra être âgé d'au minimum 7 ans avant de produire des dattes.

- Dattes : Ces fruits sont des baies de forme ovale de 3 cm de long. La chaire très sucrée entoure la graine. Récoltées en automne, leur couleur varie du rouge lumineux au jaune lumineux selon les variétés; elles seront ensuite séchées au soleil. Un palmier dattier peut produire de 10 jusqu'à 100 kg par an.
- Gourmand : Un gourmand est une branche secondaire qui se développe sur la branche principale d'une plante. Il faut généralement les supprimer car comme leur nom l'indique, ils sont gourmands et épuisent inutilement la plante. On retrouvera ce cas notamment sur les tomates, ou il est indispensable de les retirer pour avoir de bons fruits.
- Stipe : Le stipe rappelle le tronc des arbres mais est en fait composé de fibres végétales des anciennes feuilles. Son diamètre peut varier légèrement selon les conditions climatiques.
- Cicatrices annulaires : On a l'impression que le palmier a un «tronc recouvert d'écailles». Ces cicatrices annulaires correspondent au point d'attache de la feuille ancienne une fois le pétiole (support de la feuille) tombé. Elles permettent au grimpeur de s'y accrocher pour atteindre les dattes.
- Rejet : Le rejet est une jeune pousse du végétal, qu'il est possible de planter pour obtenir un nouveau palmier. Celui-ci sera choisi par l'homme parmi une sélection des meilleurs palmiers.
- Bulbe : Se situant à la base du stipe, le bulbe constitue la réserve du palmier. De là part le système racinaire d'où émergent les racines primaires courtes de moins d'un mètre, et longues de plus de 20 mètres.
- Racines : Elles sont nombreuses et profondes jusqu'à 20 mètres ; elles sont capables d'aspirer des centaines de litres d'eau par jour [47].

II.2.4.3. Fibres du palmier dattier :

Le palmier dattier a une structure fibreuse, possédant quatre types de fibres :

*Fibres de bois de tronc.

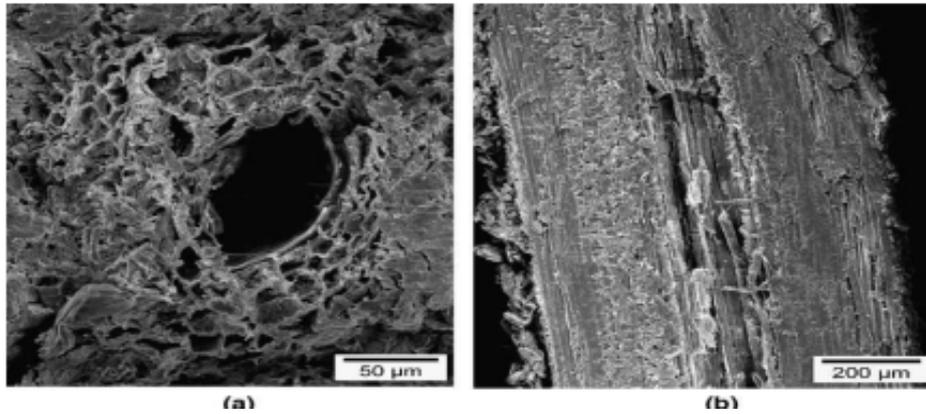


Figure II.15 : Observation de la fibre de surface du tronc par (MEB),

a) coupe transversale, b) coupe longitudinale [30].



Figure II.16 : Feuilles de palmier dattier [48].

*Fibres de tige au niveau des tiges des pédoncules et du support dattier (grappe) [30].



Figure II.17 : Fibres de tige du support dattier (grappe) [30].

*Fibres de surface autour de son tronc ou de bases de palmes (pétiole) [30].

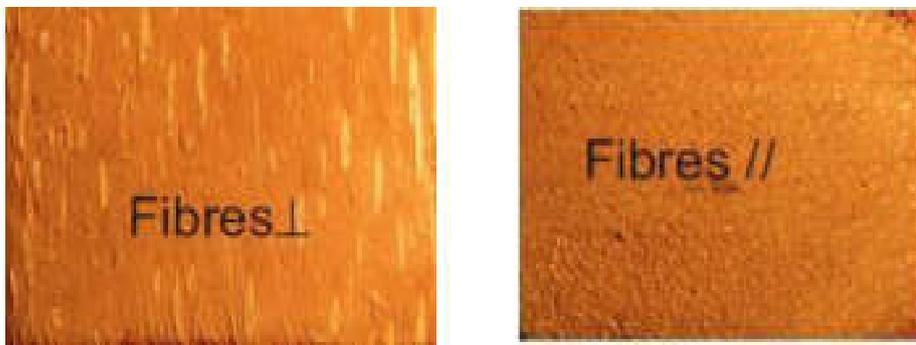


Figure II.18 : Bois d'un pétiole du palmier dattier [30].

*Fibres de Life (entre le Kornaf et le tronc : bourre fibreuse appelée Life) [30].

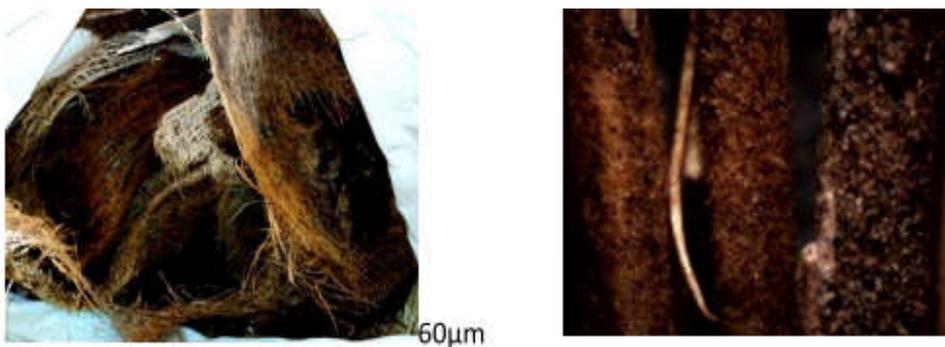


Figure II.19 : Observation de la fibre de Life du tronc par (MEB) [30].

II.2.4.4. Composition chimique de fibre de palmier dattier :

On peut classer les matériaux de structure en trois catégories principales : la cellulose, les hémicelluloses et les lignines, organisées dans une structure composite (Tableau II.4) [30].

Tableau II.4 : Composante chimique de fibre de palmier dattier [30].

Feuillus	Résineux	Composition chimique
45%	42%	Cellulose
30%	27%	Hémicelluloses
20%	28%	Lignines

II.2.4.5. Structure et morphologie des fibres lignocellulosiques :

Une fibre présente les parties suivantes :

- la lamelle mitoyenne M d'épaisseur de 0.5 à 2 μm en périphérie qui est commune aux cellules voisines. Elle est composée principalement de lignine (70%) associée à d'autres composés organiques tels les hémicelluloses, la pectine, la cellulose. La lamelle mitoyenne soude les fibres les unes aux autres et leur confère une grande rigidité grâce à la présence de la lignine [47].

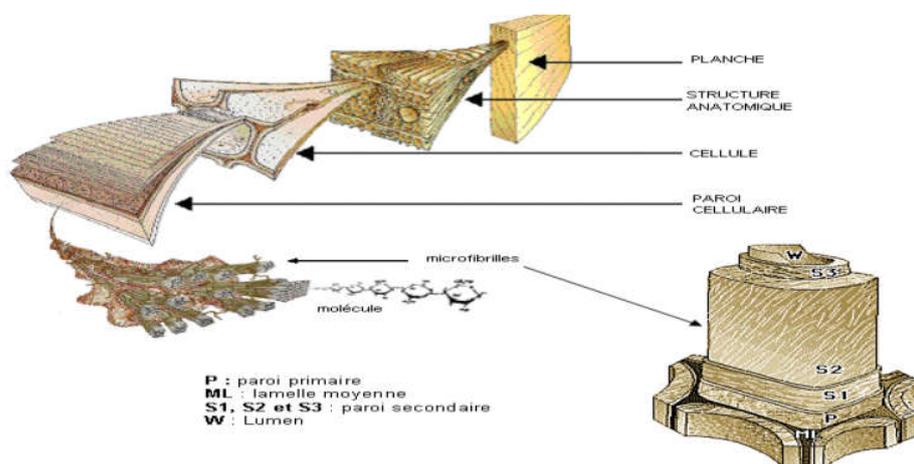


Figure II.20 : Structure des fibres de bois [47].

- La paroi primaire P, très mince (0.03 à 0.1 μm) est souvent confondue avec la lamelle mitoyenne. Elle est constituée d'une structure fibrillaire enrobée dans un mélange de lignine, de pectines et d'hémicelluloses (Figure II.21) [47].

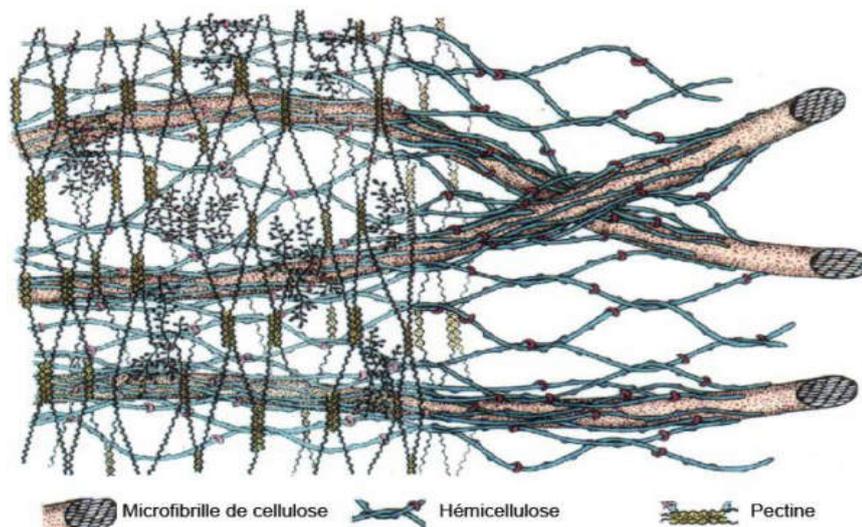


Figure II.21 : Structure tridimensionnelle de la paroi primaire [47].

- La paroi secondaire, principale partie de la fibre qui comprend trois parties distinctes :
 - La paroi externe S1 mince (0.1 à 0.2 μm) dans laquelle les fibrilles sont enroulées en hélices parallèles, de sens opposés (une couche dans un sens, l'autre couche croisée).
 - La paroi centrale S2, de beaucoup la plus épaisse (0.5 à 8 μm). Les fibrilles sont disposées en hélices parallèles, la rigidité de la fibre dépend de l'épaisseur de cette paroi.
 - La paroi interne S3 (appelée paroi tertiaire) ; mince (0.04 à 0.1 μm), voisine du lumen W. Entre les fibres, il existe des espaces qui sont partiellement composés de lignine et d'hémicelluloses [47].

II.2.4.6. Utilisation des fibres et de bois des palmiers dattiers :

Les travaux annuels d'entretien de ses palmiers génèrent des quantités importantes de déchets composés essentiellement de Palme, de Régime et du life. Ces déchets constitués de fibres ne sont exploitées que d'une manière artisanale tels que les chapeaux, les paniers et tapis... [30].

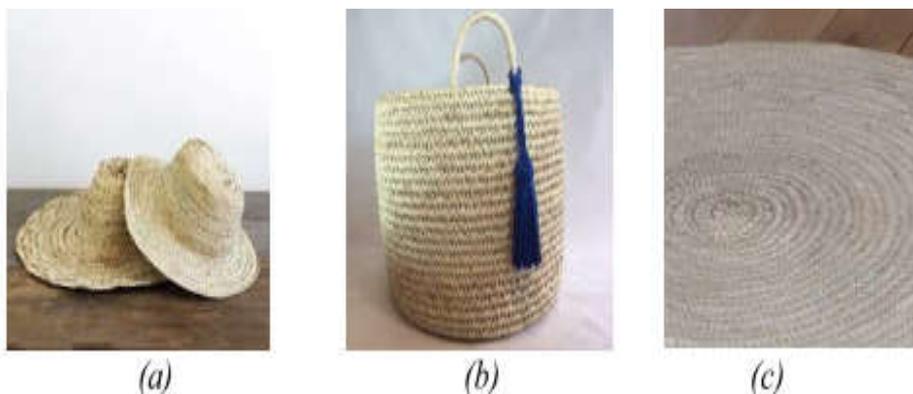


Figure II.22 : Produits artisanal en déchets de palmier dattier

a)Chapeau, b) Panier, c) Tapis [30].

Depuis plusieurs années, des travaux de recherche se sont orientés vers la promotion de ces fibres pour produire des matériaux composites. On peut citer le travail qui a été publié en 2008 par Sbiai Adil qui présente l'effet de la taille de la fibre sur le physico-chimique et propriétés mécaniques des composites à base de fibres de palmier dattier et matrice époxyde [30].

L'étude a été menée en Algérie par un A. Bezazi et al sur l'analyse statistique et effet des traitements chimique sur le comportement physico-mécanique des fibres des bras de grappe des palmiers dattier, et on peut citer une étude sur la caractérisation de nouveaux matériaux composites à base de feuillets de palmier dattier et déchets de polystyrène expansé qui ont été réalisés dans la région de Biskra par Mr : Taher Masri et al. En 2018 [30].

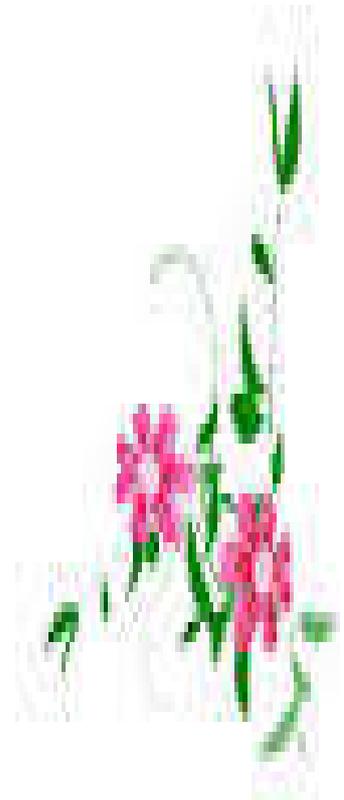
En conclusion on peut dire que le palmier dattier est une plante très répandue dans notre région, il constitue un élément majeur dans l'activité socioéconomique de la région, cependant peu de travaux ont essayé d'explorer ses propriétés en vue de son utilisation pour d'autres utilisation non conventionnel. Cette étude prend justement cet aspect en charge

et constitue un pas important dans la caractérisation de ces constituants pour leur utilisation éventuelle pour des applications spécifiques. Des observations au microscope optique et au MEB sont réalisées, elles ont permis de montrer la structure fibreuse de tous les constituants, par ailleurs des essais mécaniques sont réalisés afin d'évaluer les propriétés de ses constituants [30].



CHAPITRE III

MATERIAUX UTILISES ET TECHNIQUES EXPERIMENTALES



III. Matériaux utilisés et techniques expérimentales.

III.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous allons exposer tous les moyens et méthodes nécessaires pour la préparation des composites à base d'amidon artificiel renforcés par une charge organique (fibres de palmier dattier).

III.2. Matériaux utilisés :

III.2.1. Amidon :

L'amidon utilisé dans ce travail est l'amidon non modifié de maïs commercialisé chez Sigma-Aldrich. Le taux d'amylose et d'amylopectine sont 23 et 77% respectivement.

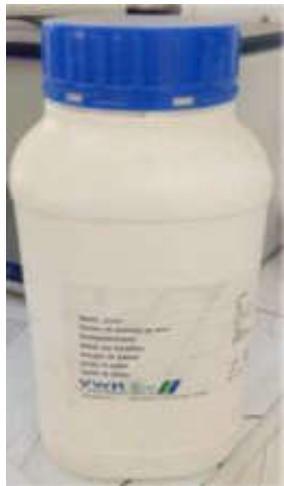


Figure III.1 : Amidon utilisé dans ce travail.

III.2.1.1. Propriétés chimiques de l'amidon :

L'amidon est insoluble dans l'eau froide et forme par agitation une suspension instable appelée lait d'amidon. Lorsqu'on le chauffe à 60 °C, en revanche, les molécules d'amylopectine et l'amylose se déroulent et s'entremêlent conduisant à un réseau réticulé renfermant la phase aqueuse. Les grains d'amidon absorbent ainsi plusieurs fois leur poids en eau et forment un gel épais appelé empois d'amidon. Une propriété très recherchée pour lier des sauces ou des crèmes par exemple [49].

III.2.2. Glycérol :

Tableau III.1 : Propriété de Glycérol [19].

Produits	Propriétés
Glycérol	Formule: HOCH ₂ CH(OH)CH ₂ OH Formule chimique C ₃ H ₈ O ₃ Mn : 92.09 g/mol Densité: 1.26 g/mL (at 20°C) P.eb : 290°C P.f : 18.6°C Point d'eclair. 177°C

III.2.3. Fibres de palmier dattier :

Deux types de fibre de palmier dattier ont été utilisés (fibre superficiellement traitée et non traitée).



Figure III.2 : Fibres de palmier dattier (traitées et non traitées).

III.2.3.1. Prétraitement des fibres :

Les fibres de palmier dattier récoltés ont été lavées avec de l'eau (2% solution détergente) pour éliminer les contaminants et la saleté adhérente.



Figure III.3 : Laver les fibres de palmier.

En suite les fibres ont été séché à l'air libre pendant 10 jours (à l'ombre)



Figure III.4 : Fibres de palmier dattier après lavage.

Ensuite elles sont coupées en longueur de 3cm comme il est montré dans la figure suivante :



Figure III.5 : Fibres de palmier divisées en petits morceaux.

Cette opération est suivie d'un broyage. Le principe de broyage consiste à écraser les fibres de palmier dattier sans détruire les fibrilles. Les fibres obtenues sont ensuite tamisées. Enfin, elles sont cardées pour être douces et séparées. Après ce prétraitement, la longueur des fibres varie de 0,4 à 3cm. Les fibres obtenues sont désignées fibres non traité.



Figure III.6 : fibres de palmier dattier (poudre) non traité.

III.2.3.2. Traitement alcalin des fibres :

Les fibres de palmier dattier ont été traitées par immersion de ses fibres dans une solution de NaOH à différentes concentrations (1, 5 et 10%) pendant 72 heures. En suite on a fait un lavage des fibres de palmier avec l'eau distillé plusieurs fois (pour éliminer l'excès de NaOH).



Figure III.7 : Les fibres de palmier dattier immergés dans une solution d'hydroxyde de sodium.



Figure III.8 : Lavage des fibres de palmier avec l'eau distillé après plusieurs fois.

Les traces de NaOH sont neutralisées par une solution de 2% d'acide sulfurique durant 10 min. En suit on a rincé les fibres traités par l'eau distillée jusqu'à le PH devient supérieur à 5.



Figure III.9 : Les fibres de palmier dattier traité immergé dans une solution d'acide sulfurique.



Figure III.10 : Fibre de palmier traité avant le séchage.

Fibre de palmier traité ont été séché à l'aide d'un étuve (à 60°C pendant 48 heures)



Figure III.11 : Les fibres de palmier traitées dans l'étuve pour le séchage.

Après le séchage les fibres obtenues ont été broyées à l'aide d'un mortier.



Figure III.12 : Fibres de palmier dattier traité après le séchage et broyer ces fibres.

III. 3. Techniques expérimentales :

III. 3.1. Préparation des films d'amidon:

III.3.1.1. Préparation d'un film bioplastique sans charge (fibre de palmier dattier):

Nous avons d'abord préparé un film bioplastique sans charge (sans fibre de palmier dattier) organique comme suit :

On a dispersé dans 20ml de l'eau distillée 2.5g d'amidon artificiel

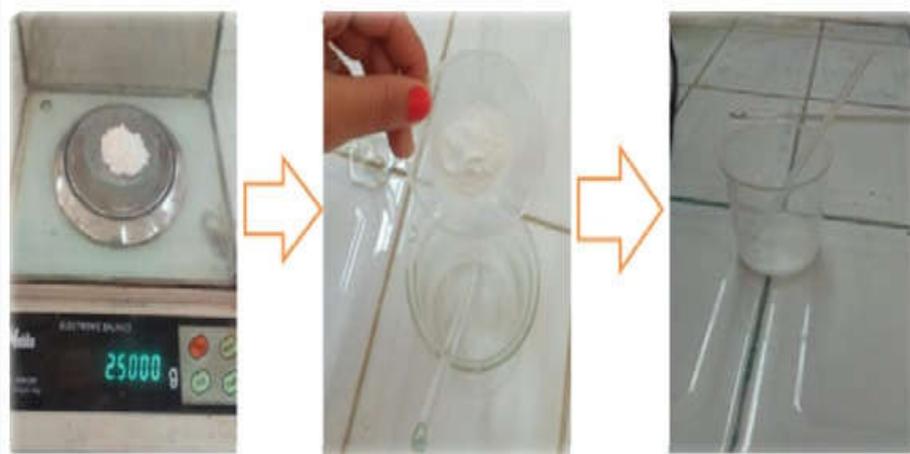


Figure III.13 : Etapes de la préparation d'un film bioplastique à base d'amidon.

Ensuite on a ajouté 2 ml d'une solution de glycérol (solution à 50% dans de l'eau distillée) sous agitation à l'aide d'une baguette en verre. Avec l'ajout de 3ml d'HCl (0,1mol/l) (pour assurer une bonne dissociation de l'amidon dans le mélange).

Le mélange obtenu a été chauffé à une température de 90°C pendant 15 à 20 min à l'aide d'une plaque chauffante (sans oublier l'agitation à l'aide d'une baguette en verre comme il est montré dans la Figure III.14)



Figure III.14 : Protocole expérimental de la préparation des échantillons.

Après environ 15 à 20 minutes, on a remarqué que le mélange est transformé en gel et devient visqueux. On a ajouté 1 ml d'hydroxyde de sodium NaOH (0,1 ml / L) pour réduire la viscosité du mélange. En suite on a distribué le mélange dans une plaque de verre.

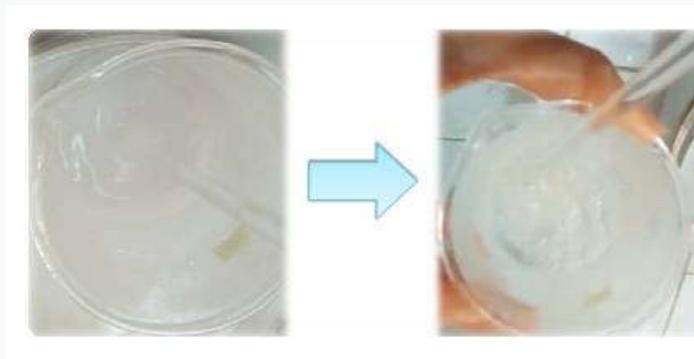


Figure III.15 : Biopolymère obtenu.

Ensuite on a séché les films sous une température ambiante à l'air libre pendant deux ou trois jours (cette étape est élimine l'excès d'eau dans les films de biopolymères obtenus).



Figure III.16 : Film bioplastique sans charge organique après le séchage.

III.3.1.2. Préparation d'un film bioplastique renforcé par les fibres de palmier dattier :

L'élaboration des différents biocomposites a été réalisée de la même manière que celle de la matrice d'amidon seul. En effet au mélange Amidon/eau/glycérol, différentes quantités des fibres de palmier dattier traitées et non traitées superficiellement ont été incorporé après l'ajoute de glycérol. L'adition des fibres de palmier dattier correspondante au taux (1, 3 et 5% en poids). Différents biocomposites réalisées dans ce travail sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau III.2 : Différents biocomposites préparés.

	Fibre de palmier Traité (g)	Fibre de palmier non Traité (g)	Amidon Artificiel (g)	L'eau (ml)	Glycérol (ml)	HCl (ml)	NaOH (ml)
1%	0.025g	0.025g	2.5g	20 ml	2ml	3ml	1ml
3%	0.075g	0.075g	2.5g	20ml	2ml	3ml	1ml
5%	0.125g	0.125g	2.5g	20ml	2ml	3ml	1ml

III.3.1.2.1. Préparation des films à base d'amidon/fibre de palmier dattier :

On a ajouté une quantité pesée de fibres dans 20 ml de l'eau distillée avec l'agitation pendant 15 minutes pour l'obtention d'une bonne distribution de cette charge organique dans les films bioplastiques.



Figure III.17 : Préparation d'une solution de fibre de palmier /eau distillé.

Après 15 minutes d'agitation de fibre de palmier on a ajouté cette solution au mélange (amidon / glycérol / HCl).

Ensuite, pour élaborer les films bioplastique renforcé par les fibres de palmier traité ou non traité on a suivi les mêmes étapes qu'on a suivi pour préparer les films bioplastique sans. La figure ci-dessous montre les différents films obtenus :

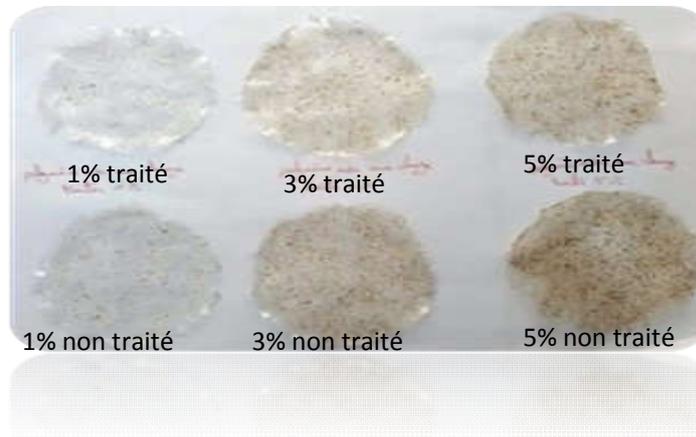


Figure III.18 : Biopolymères à base de l'amidon/fibre de palmier obtenu.

III.4. Technique de caractérisation :

III.4.1. Etude structural :

III.4.1.1. Infrarouge FTIR :

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier ou spectroscopie IRTF (ou encore FTIR, de l'anglais Fourier Transform InfraRed spectroscopy) est une technique utilisée pour obtenir le spectre d'absorption, d'émission, la photoconductivité ou la diffusion Raman dans l'infrarouge d'un échantillon solide, liquide ou gazeux.



Figure III.19 : Appareil FT-IR.

III.4.1.1.1. principe :

Le principe de la spectroscopie infrarouge (IR) repose sur l'absorption de la lumière par la plupart des molécules dans la région de l'infrarouge du spectre électromagnétique et en convertissant cette absorption en vibration moléculaire. Cette absorption correspond spécifiquement aux liaisons présentes dans la molécule. Avec un spectromètre, cette absorption du rayonnement infrarouge par le matériau de l'échantillon est mesurée en fonction de la longueur d'onde (sous la forme de nombres d'onde, typiquement de 4000 à 600 cm^{-1}).

Le résultat est un spectre qui donne une "empreinte chimique" distinctive qui peut être utilisée pour visualiser et identifier des échantillons organiques et inorganiques [50].

Pour les produits sous forme des poudres comme les fibres de palmier dattier pur et l'amidon pur, on a utilisé une presse hydraulique pour préparer des pastilles.



Figure III.20 : Presse hydraulique pour préparer des pastilles.

III.4.2. Test de vieillissement naturel :

Le vieillissement est un phénomène lent et irréversible qui cause la dégradation du matériau. Le vieillissement naturel du polymère est compliqué, il peut être causé par l'influence du rayonnement solaire ; des intempéries; des milieux agressifs ou d'une combinaison de ces paramètres [51].

Le test de vieillissement naturel a été fait comme suit :

Les films de l'amidon renforcé et non renforcé par les fibres de palmier dattier ont été laissés à l'air libre pendant cinq mois et chaque semaine on a pesé les films et pris des photos pour chaque échantillon.

III.4.3. Test de gonflement :

Dans cette partie, nous avons étudié le gonflement des films préparés dans de l'eau distillée. Pour cela, nous coupons les échantillons (films à base d'amidon avec ou sans charge organique) en tranches de longueur et de poids différents.



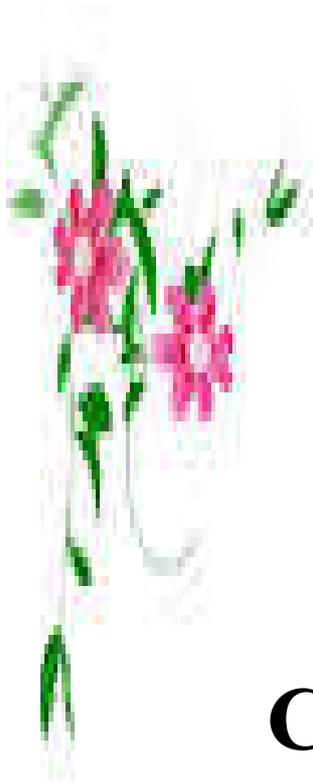
Figure III.21 : Découpez une tranche de l'échantillon.

En suite on a immergé ces tranches dans des tubes à essai remplis d'eau distillée.



Figure III.22 : Tranches dans des tubes à essai.

Chaque jour, nous laissons soigneusement des tubes contenant des films et de l'eau à température ambiante. Ensuite, les échantillons sont pesés toutes les 24 heures et notent le la taille et on a pesé la masse de chaque échantillon.



CHAPITRE IV

RESULTATS ET DISCUSSIONS



IV. Résultats et discussions :**IV.1. Étude spectroscopique des diverses compositions :**

Dans un but de caractériser les divers constituants de nos mélanges. Une étude a été menée, les spectres infrarouges de ces constituants des compositions sont illustrés comme suit :

Les figures IV.1 et IV.2 montrent les spectres d'infrarouge (FTIR) de l'amidon pur et un biopolymère à base d'amidon. D'après les deux spectres on peut dire qu'il n'y a pas une grande différence entre le spectre de l'amidon pur et le spectre après la polymérisation (sans apparition ou disparition des bandes d'absorptions après la polymérisation). On a rassemblé les différentes bandes d'absorption qui sont attribuées aux fonctions d'amidon analysé.

Tableau IV.1 : Attribution des principales bandes observées sur le spectre IR pour le biopolymère à base d' amidon pur.

Vibration	Attribution	Nombre d'onde (cm ⁻¹)
Elongation	OH lie	3000-3200
Déformation	CH ₂	2120
Vibration	CH	1650
Vibration	CH 2, CH	1370
Elongation	C-O-C	1190
Vibration	Glucose	1100
Déformation	C-O-C unité glucose	1030

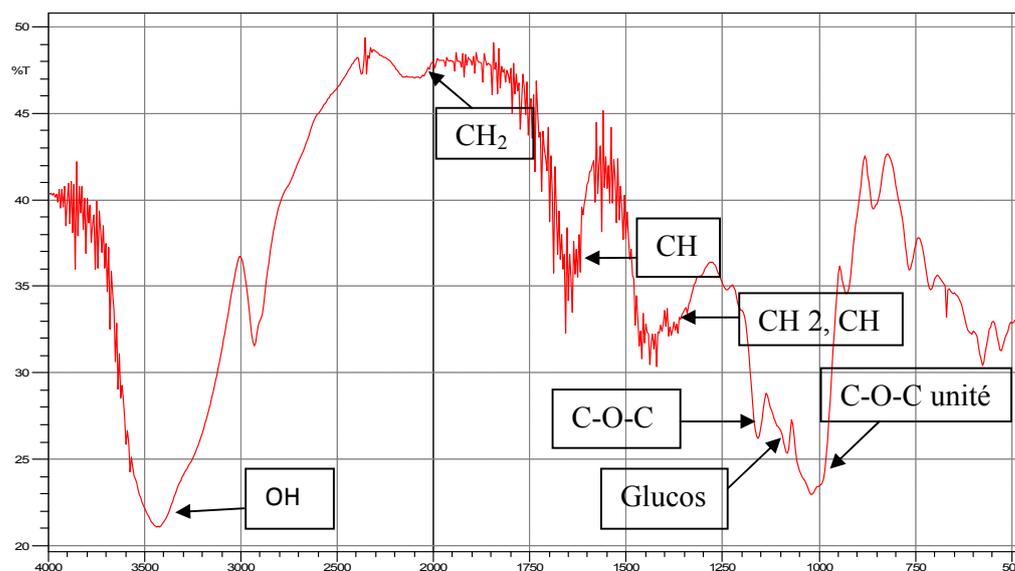


Figure IV.1 : Spectre FT-IR de l'amidon pur.

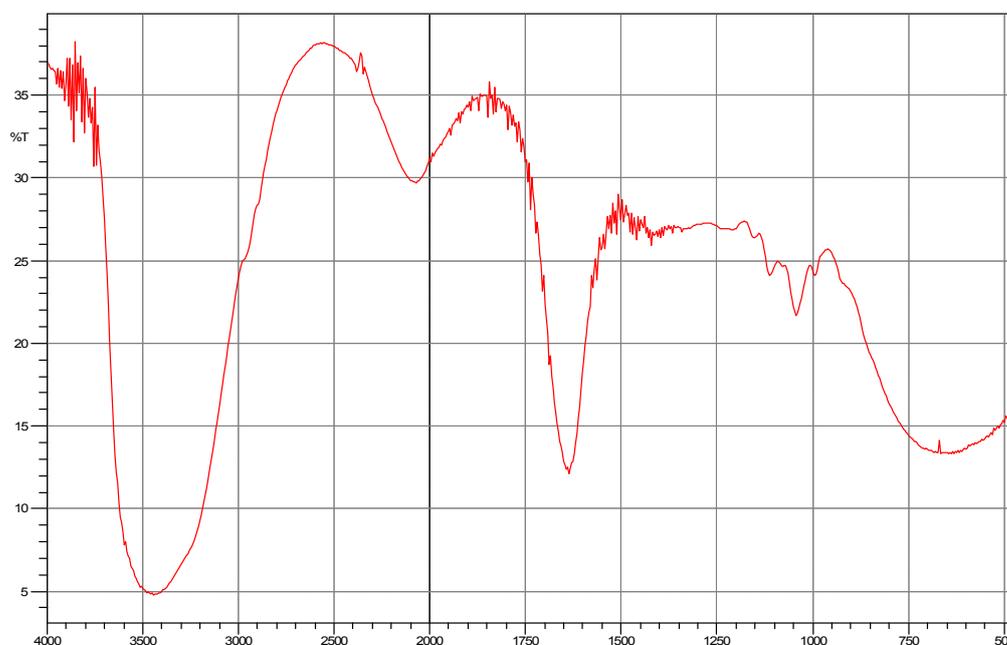


Figure IV.2 : Spectre FT-IR d'un biopolymère à base d'amidon

L'analyse spectroscopie infrarouge est réalisée pour étudier l'influence du traitement alcalin sur la microstructure des fibres de palmier dattier. Le spectre infra rouge de fibres de palmier dattier non traité et traitées est illustré dans la figure IV.3 et la figure IV.4. On observe une large bande à 3460 cm^{-1} . Cette bande est due principalement aux groupements OH... Les bandes 2900 cm^{-1} et 2875 cm^{-1} correspondent successivement aux polysaccharides.

Des groupements carbonyle C=O (1750cm^{-1}) traduisent l'existence des hémicelluloses. On note aussi la présence d'une bande à 1650cm^{-1} . Cette dernière correspond à l'eau absorbée. La bande 1400cm^{-1} est signe de l'existence des pectines, de lignine et de l'Hémicellulose.

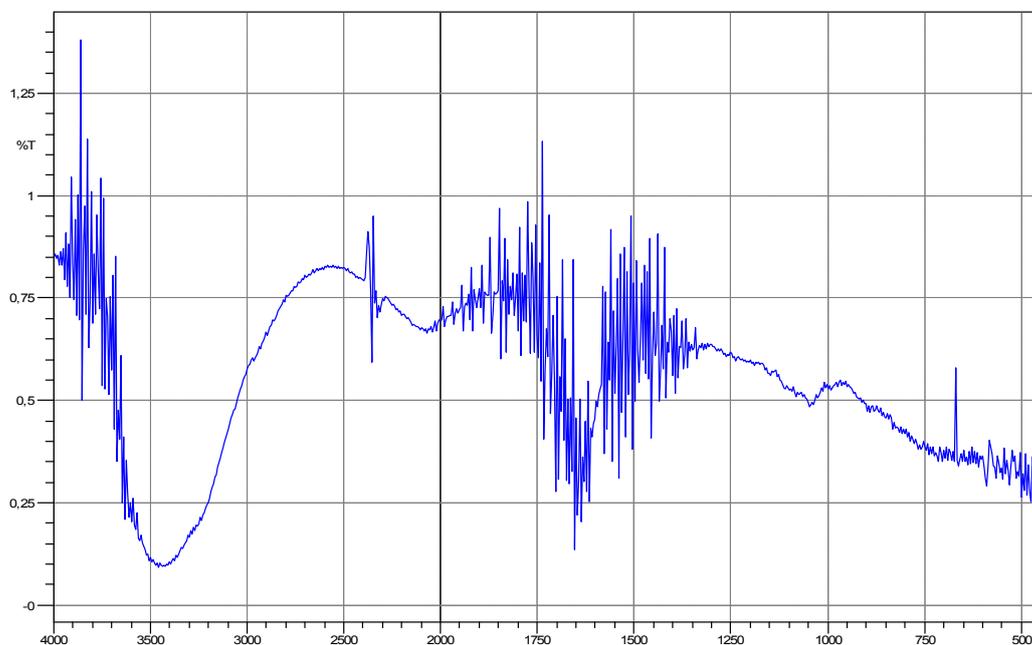


Figure IV.3 : Spectre FT-IR de fibre de palmier poudre non traité.

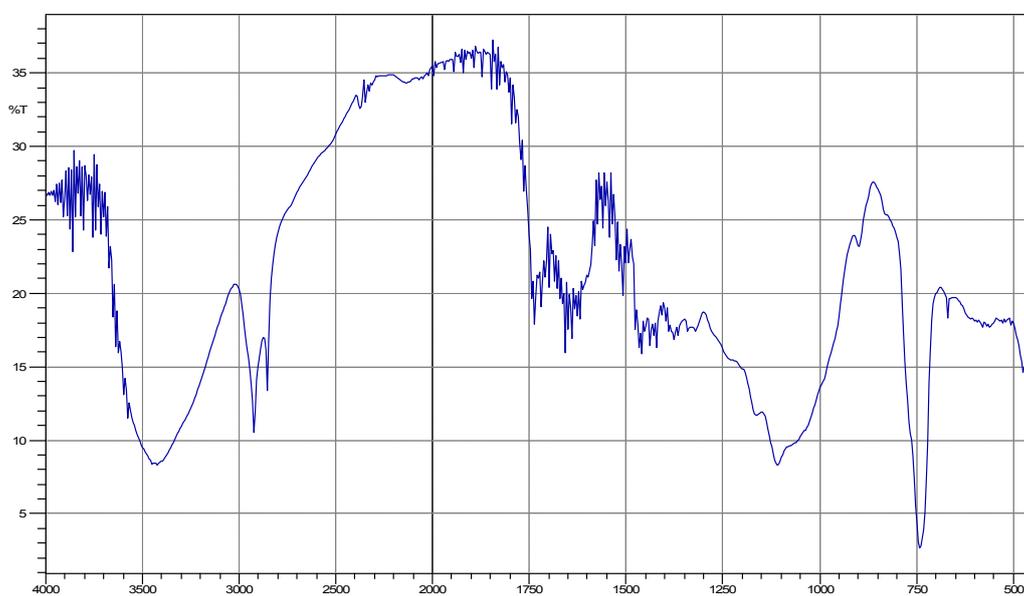


Figure IV.4 : Spectre FT-IR de fibre de palmier poudre traité.

Lorsqu' on compare les spectres d'infrarouge de biopolymère préparé à base de l'amidon et renforcé par le fibre de palmier non traité et traité (Figure IV.5,IV.6) par le spectre de l'amidon pur on constate qu'il ya une grande déformation des bandes d'absorption. Cette déformation est peut être due à la réaction entre les fonctions de fibre de palmier et l'amidon (les fonctions OH à la surface de fibre de palmier peuvent être réagit avec l'amidon).

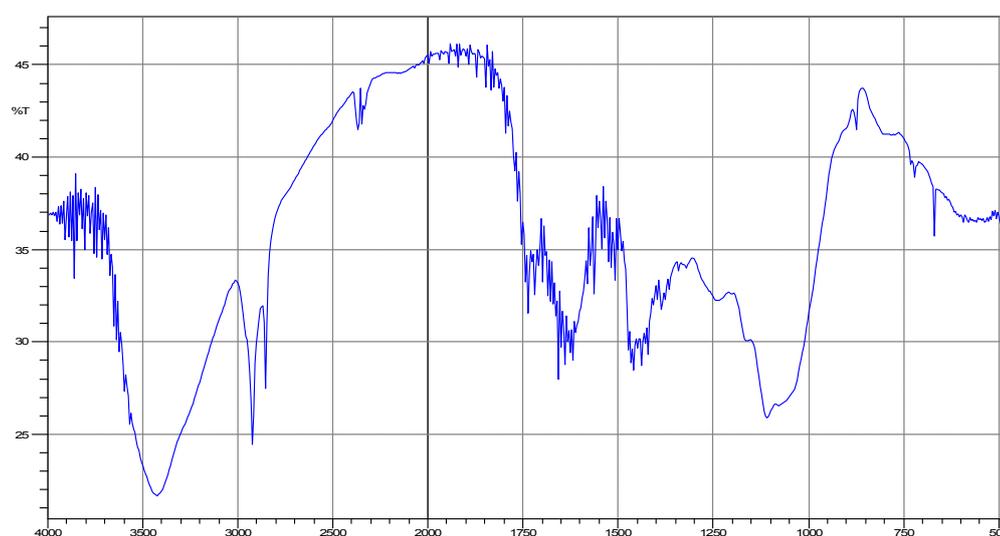


Figure IV.5 : Spectre FT-IR de la matrice biopolymère à base d'amidon et 5% de fibres de palmier non traitées.

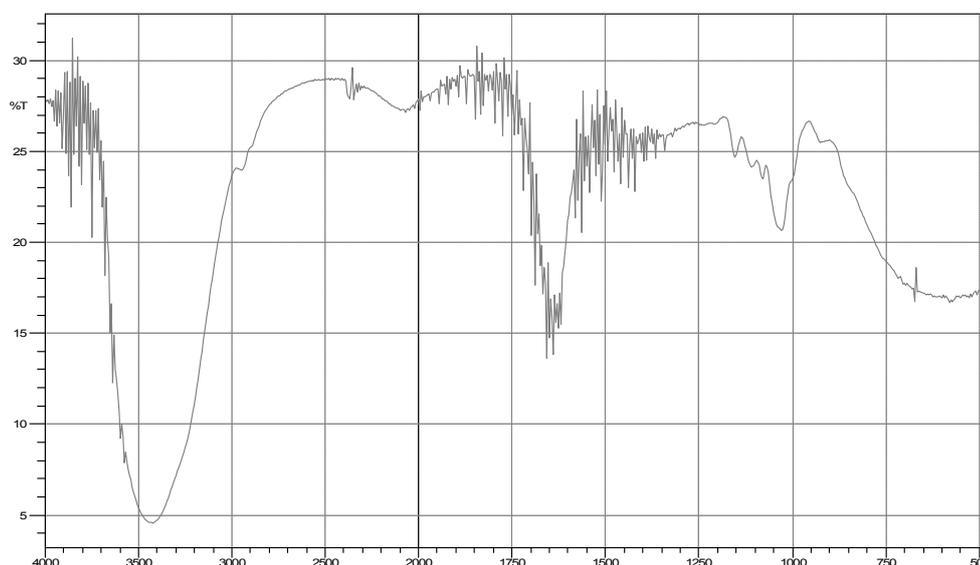


Figure IV.6 : Spectre FT-IR de la matrice biopolymère à base d'amidon et 5% de fibres de palmier alcalin.

IV.2. Etude de dégradation :

IV.2.1. Etude de vieillissement naturel :

✚ Remarque :

Le signe (T) indique que l'échantillon renforcé par des fibres de palmier dattier alcalin superficiellement traitées.

Le signe (NT) indique que l'échantillon renforcé par des fibres de palmier dattier non traitées.

Le signe (S) indique que l'échantillon sans charge organique (fibre de palmier dattier).

L'objectif de ce test est d'étudier la dégradation des biopolymères à l'air libre et au soleil, à l'abri de l'humidité et de l'eau.

Les résultats de vieillissement naturel obtenus sont montrés dans les figures (IV.7, IV.8, IV.9, IV.10, IV.11 et IV.12) On remarque que :

- ✚ La dégradation des films au cours du premier mois est très lente en fonction du temps de l'exposition à l'aire libre, Alors que nous avons remarqué qu'il n'y a pas de changement de forme ou de couleur. On observe aussi qu'il n'ya aucune dégradation pour les échantillons qui ont été renforcés par les fibres de palmier dattier soit traitées ou non traitées.
- ✚ Au cours du deuxième mois, nous avons remarqué que la forme des échantillons contenant des fibres de palmier non traitées changeait significativement par rapport aux autres échantillons contenant des fibres traitées, qui ne changeaient que légèrement ce qui permet de dire que l'incorporation de fibres de palmier dattier traité diminue la vitesse da dégradation de ce biopolymères.
- ✚ On note également que ces échantillons sont affectés par l'humidité et la pluie ... comme cela s'est produit avec l'échantillon qui contient des fibres de palmier traitées (5%), sur lesquelles la pluie est tombée, et il s'est rapidement dégradé avec le temps.
- ✚ Après presque cinq mois on ne constate que la vitesse de dégradation augment d'une façon remarquable pour les échantillons amidon/fibre de palmier dattier non traité. Cette remarque est peut être due à la présence d'une charge organique (naturelle) qui se dégrade facilement à l'aire libre.

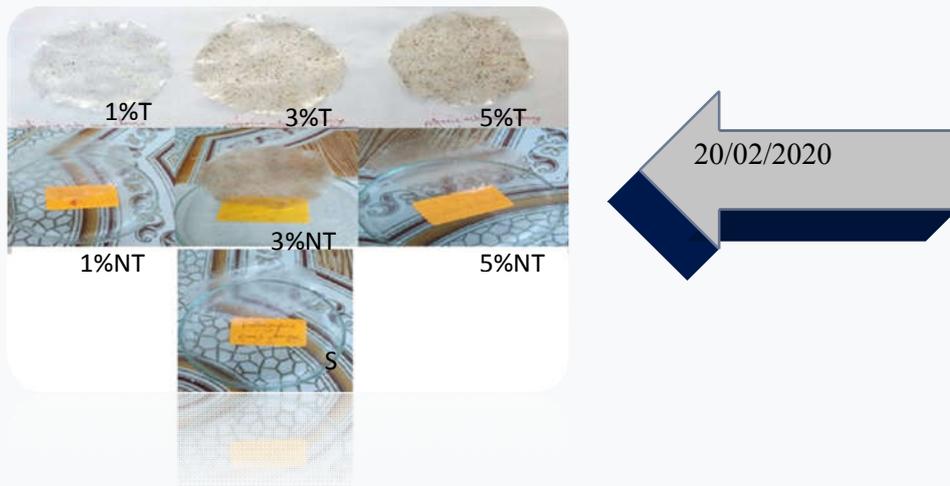


Figure IV.7 : Echantillons exposé à l'aire libre (vieillessement naturel) pendant Deux premières semaines.

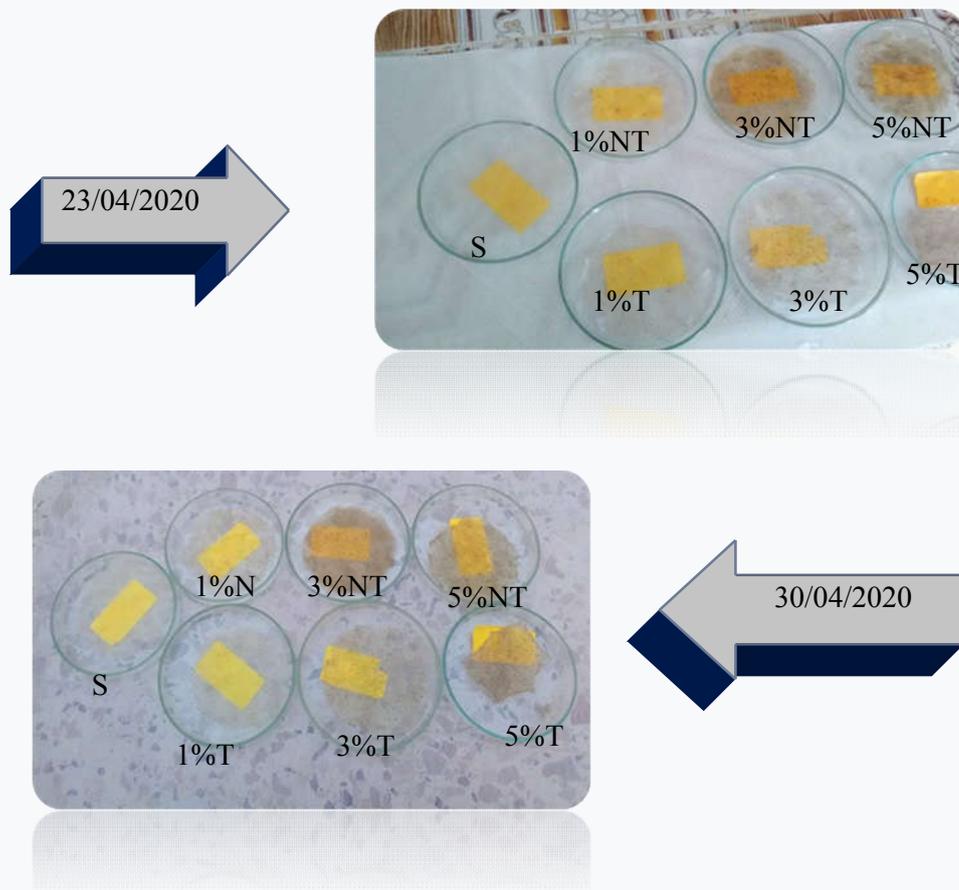


Figure IV.8 : Echantillons exposé à l'aire libre (vieillessement naturel) pendant deux mois.



Figure IV.9 : Echantillons exposé à l'aire libre (vieillessement naturel) pendant trois mois.

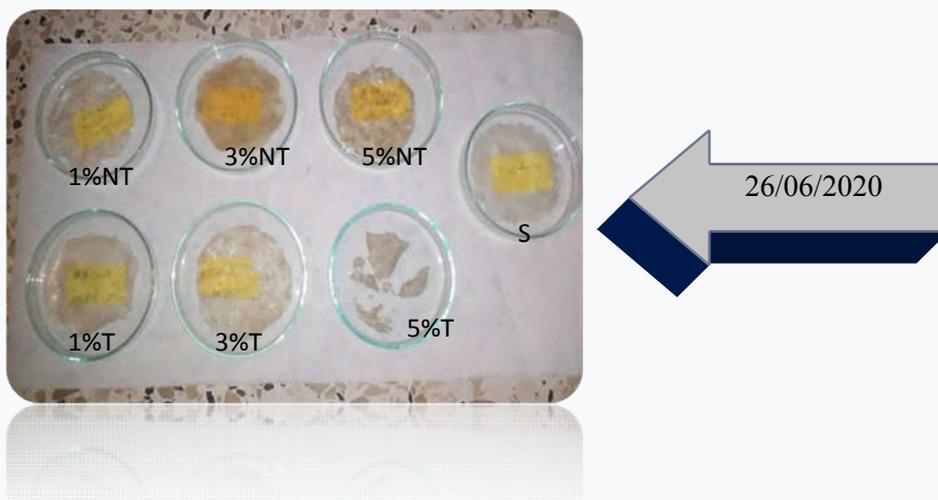


Figure IV.10 : Echantillons exposé à l'aire libre (vieillessement naturel) pendant quatre mois.



Figure IV.11 : Echantillons exposé à l'aire libre (vieillessement naturel) pendant Cinq mois.

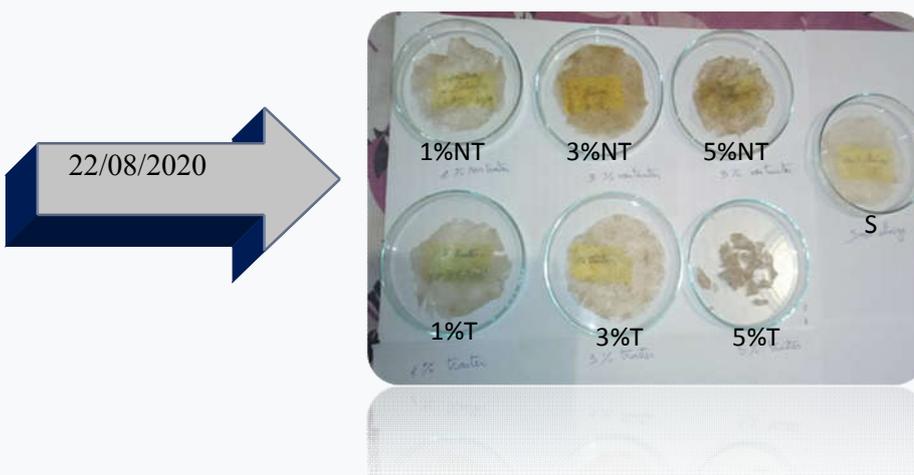


Figure IV.12 : Echantillons exposé à l'aire libre (vieillessement naturel) pendant six mois.

IV.2.2 : Test de gonflement :

Les résultats de test de gonflement sont rassemblés dans le tableau IV.2 et la figure IV.13 et figure IV.14

On remarque que le gonflement des échantillons augmente dans le premiers jour du test, ensuite on remarque que le gonflement augmente d'une façon remarquable en fonction du temps surtout dans les échantillons de l'amidon sans fibre de palmier. Cette remarque montre que l'absorption de l'eau par ce biopolymère augmente jusqu'à la déformation des échantillons. On observe aussi que le gonflement diminue dans les composites amidon/fibre de palmier traité, cette diminution est peut être due à la formation des liaisons rigides entre la matrice d'amidon et le fibre de palmier superficiellement traité où ces liaisons peuvent rendre le biopolymère imperméable.

Tableau IV.2 : Tableau montrant les masses prélevées pour différents échantillons dans le test de gonflement.

	Quantité de fibre palmier (%)	Avant gonflement	Après le gonflement						
			1	2	3	4	5	6	7
Composites /Fibres traitées(T)	1	0.317	0.376	0.388	0.386	0.372	0.353	0.321	-
	3	0.283	0.371	0.350	0.352	0.340	0.325	0.284	-
	5	0.324	0.417	0.416	0.413	0.406	0.388	0.327	0.324
Composite/Fibres non traitées (NT)	1	0.167	0.193	0.197	0.222	0.189	0.179	0.171	-
	3	0.156	0.177	0.190	0.192	0.171	0.163	0.162	-
	5	0.165	0.205	0.211	0.218	0.198	0.179	0.170	-
Biopolymère Sans fibres (S)	0.133		0.141	0.138	0.145	0.149	0.152	-	-

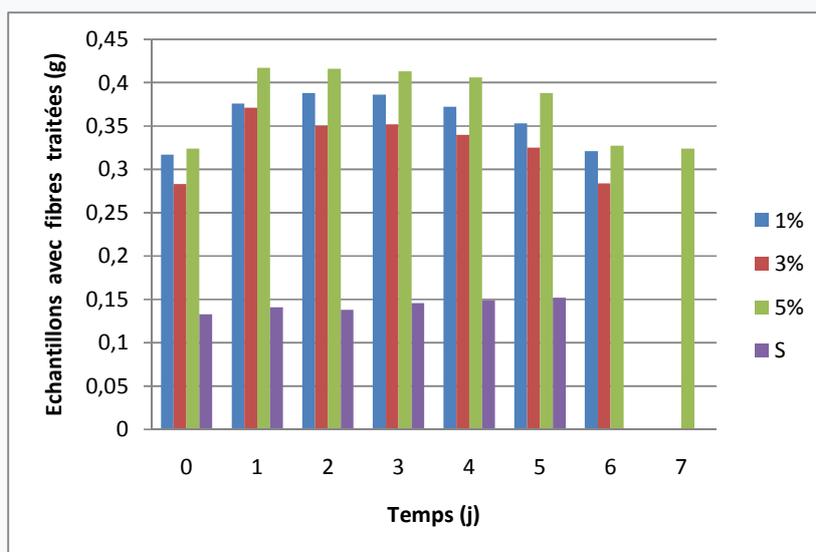


Figure IV.13 : Histogramme montre le test de gonflement des échantillons amidon/ fibres de palmier traitées.

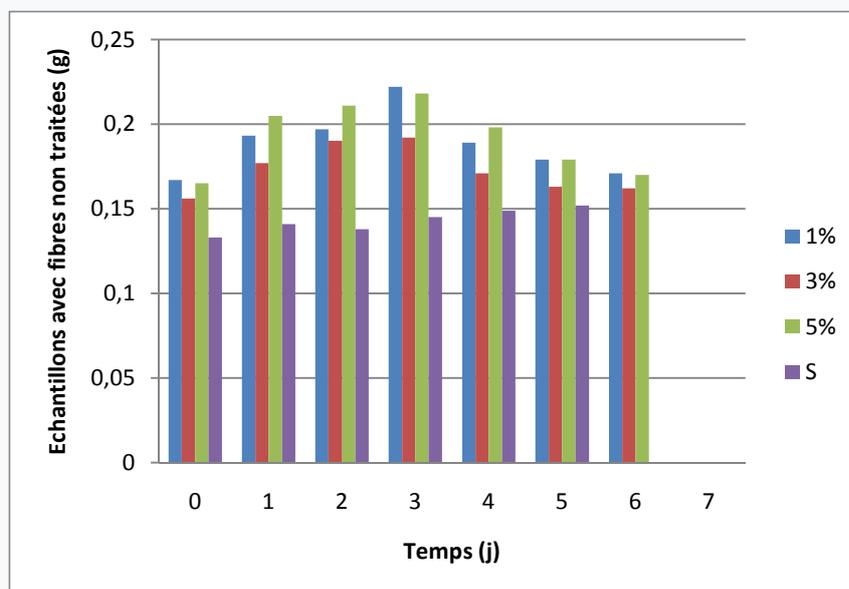
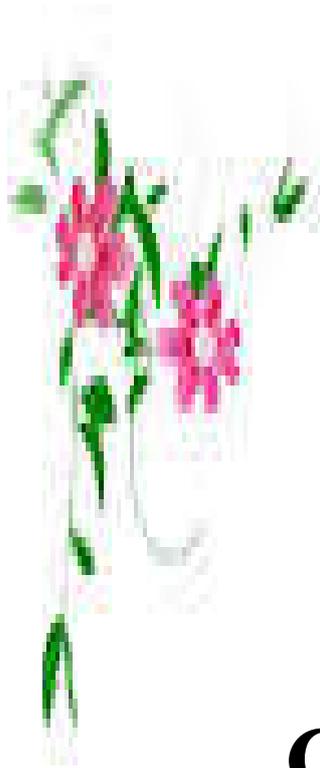


Figure IV.14 : Histogramme montre le test de gonflement des échantillons amidon/ fibres de palmier non traitées.



CONCLUSION GENERALE



CONCLUSION GENERALE

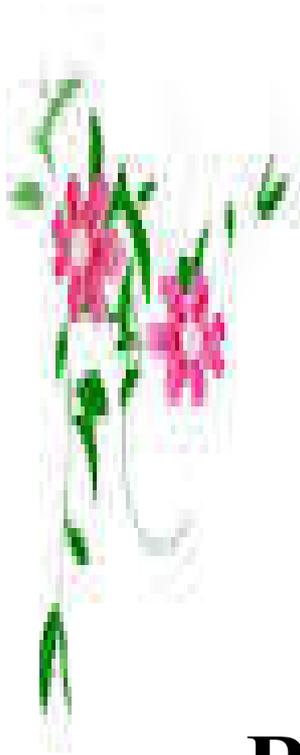
Conclusion générale

L'étude réalisée dans ce travail avait pour objectif de synthétiser des composites à base d'amidon renforcé par une charge naturel organique (fibre de palmier dattier traité et non traité) et étudiez le vieillissement naturel de ce biopolymère.

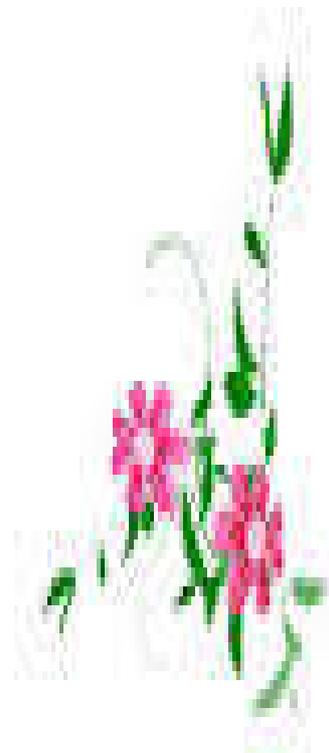
Compte tenu des résultats obtenus, on peut conclure que :

- ✚ Les résultats obtenus par le spectroscopie d'infrarouge permet de dire que le traitement alcalin des fibres de palmier dattier améliore la qualité de l'interface fibre-matrice. La modification des bandes d'absorption nous a montré que l'addition des fibres de palmiers dattiers alcalin dans la matrice polymérique améliore la cohérence et d'interaction entre les fibres de palme traitées et la matrice d'amidon (les groupements OH au niveau de la surface de la charge peuvent réagir avec le groupement fonctionnels de l'amidon).
- ✚ Le test de vieillissement naturel montre que :
 - ❖ le biopolymère à base d'amidon est affecté rapidement par les changements de l'environnement extérieur (soleil, chaleur, humidité, pluie ...).
 - ❖ l'ajout de fibres de palmier dattier alcalin dans la matrice d'amidon augmente la durée de vie de ce biopolymère (réduit sa dégradation et augmente sa résistance au vieillissement).
- ✚ Les résultats du test de gonflement permettent de dire que les composites à base d'amidon renforcés par des fibres de palmier non traitées ou sans fibres sont le plus absorbant d'eau par rapport les composites à base d'amidon renforcés avec des fibres de palmier alcalins qui a peu d'absorption d'eau.
- ✚ Le taux d'absorption d'eau dépend du taux de fibre de palmier dans le matériau composite. Les composites à un taux de charge élevé ont le taux d'absorption le plus élevé. Les résultats ont montré aussi que le traitement a contribué à une décroissance du taux d'absorption d'eau des composites.

À partir de ces résultats, on peut conclure que nous pouvons synthétiser des biopolymères de haute qualité et en grande quantité, en utilisant des fibres de palmier dattier traitées comme une charges.



REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES



Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

[1] : A.FADEL, « Influence des diverses modifications du Genêt d'Espagne sur les propriétés mécaniques, rhéologiques et thermiques de composites à matrice thermoplastique » mémoire de magister, Université Sétif-1-, Algérie(2014).

[2] : I.Benakli, , F.hamani, « Etude des Biocomposites à Base de Polymère Biosourcé PHBV et Fibres Alfa», mémoire de master ,université de Abou BenBelkaid TLEmcen , Algérie(2012).

[3] : Methia akli, Mr. Rezzoug Mohamed Amine, « Etude De La Diffusion De L'irganox 1076 Dans un Polymère Recyclé à Base De PEHD », Master II, Université Abderrahmane Mira-Bejaia, Algérie(2017).

[4] : A. HOUILI, « ELABORATION ET CARACTERISATION D'UN BIOCOMPOSITE A BASE DE : AMIDON/CHARGE NATURELLE », mémoire de master, Université Mohamed Khider de Biskra, Algérie (2019).

[5] :A.ATMANI, « COMPORTEMENT MECANIQUE EN TRACTION MONOTONE D'UN POLYMERE ASSOCIE AU CARBONATE DE CALCIUM (PEHD 5502/CaCO₃) », mémoire de master, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA, Algérie (2017).

[6] :[En ligne]; disponible sur le site : <https://moodle.umontpellier.fr/pluginfile.php/310236/course/overviewfiles/1-G%C3%A9n%C3%A9ralit%C3%A9s%20sur%20les%20polym%C3%A8res.pdf?forcedownload=1> consulté le : 09/03/2020 à 19 :17.

[7] : ARABICHE houssine mohamed el amine, SLAIM assam el mokhtar, « Etude du comportement mécanique et détermination des paramètres limites des tubes en PVC », mémoire de master, Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, Algérie (2019).

[8] :[En ligne]; disponible sur le site : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01193329/document> consulté le: 19/01/2020 à 10:30.

Références Bibliographiques

[9]:[En ligne]; disponible sur le site : <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/procedes-chimie-bio-agro-th2/bioprocedes-dans-les-domaines-de-la-sante-de-l-agroalimentaire-et-de-la-chimie-42163210/les-biopolymeres-differentes-familles-proprietes-et-applications-am3580/> consulté le : 20/01/2020 à 00 :12.

[10]:[En ligne]; disponible sur le site : <http://www.valbiom.be/files/library/Docs/Biopolymeres/amidonpla20111297333283.pdf> consulté le: 25/01/2020 à 11:30.

[11]: [En ligne]; disponible sur le site : <http://www.agrion.org/reports/pdf/fr/390.pdf> consulté le: 27/01/2020 à 22:10.

[12]:[En ligne]; disponible sur le site : <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiere/book/export/html/2119> consulté le: 27/01/2020 à 23:30.

[13]:[En ligne]; disponible sur le site : <http://natureplast.eu/le-marche-des-bioplastiques/historique-des-bioplastiques/> consulté le : 28/01/2020 à 08 :30.

[14]:[En ligne]; disponible sur le site : <http://cerig.pagora.grenoble-inp.fr/Note/2010/biomateriau.htm> consulté le: 28/01/2020 à 09:20.

[15]:[En ligne]; disponible sur le site : <http://cerig.pagora.grenoble-inp.fr/memoire/2009/biopolymere-emballage.htm> consulté le 01/02/2020 à 13:10.

[16]: Badaoui fouziaen, « ETUDE DE L'INFLUANCE DE L'AJOUT DE POLYMERES ET DES SELS SUR LE COMPORTEMENT RHEOLOGIQUE DES BOUES DE FORAGE A BASE D'EAU », MEMOIRE DE MAGISTER, Universite m'hamed bougara-boumerdes, Algérie (2010).

[17]: [En ligne]; disponible sur le site : <http://fac.umc.edu.dz/snv/faculte/biblio/mmf/2016/212.pdf> consulté le : 02/02/2020 à 09 :30.

[18]: H.Hamadouche; N.Bouarab, « fabrication et caracterisation thermique d'un film biodegradable a base d'amidon de maïs renforcé par une organoargile », mémoire de master , UNIVERSITEM'HAMED BOUGARA – BOUMERDES, Algérie (2017).

[19]: H.Hachani, « Etude da la dégradation d'un bioplastique renforcé Par une charge minérale », mémoire de master, Université Mohamed Khider de Biskra, Algérie (2019).

Références Bibliographiques

[20] : [En ligne]; disponible sur le site : <http://e-biblio.univ-mosta.dz/bitstream/handle/123456789/3090/Binder1.pdf?sequence=1&isAllowed=y> consulté le 02/09/2020 à 01 :04.

[21] : [En ligne]; disponible sur le site : <https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Ftechnomiton.aainb.com%2Fconstituants-viennoiserie-patisserie%2Fles-amidons-modifies%2F&psig=AOvVaw110vFaEvwTjnM4e01Bxp0D&ust=1604488216119000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCLi5n7KR5uwCFQAAAAAdAAAAABAg> consulté le : 3/10/2020 à 14 :40.

[22] : [En ligne]; disponible sur le site : <http://pedagogie.ac-limoges.fr/physique-chimie/IMG/pdf/biopolymeres-2.pdf> consulté le : 27/01/2020 à 22 :42

[23] : [En ligne]; disponible sur le site : <http://data0.eklablog.net/ocan/perso/cours%20et%20tp%20en%20ligne/amidon-olympiades.pdf> consulté le 28/02/2020 à 10 :00.

[24] : [En ligne]; disponible sur le site : <http://le-bioplastique.e-monsite.com/pages/iii-les-avantages-et-inconvenients.html> consulté le 28/02/2020 à 10 :30.

[25] : [En ligne]; disponible sur le site : <http://www.elixance.com/additifs/> consulté le : 01/03/2020 à 21 :46.

[26] : M^r TAFOUGHALT NASSIM, « La détermination du taux de migration globale : cas d'emballages destinés au conditionnement d'huile produite par CEVITAL », mémoire de master, Université Abderrahmane Mira de Bejaïa, Algérie (2017).

[27] : [En ligne]; disponible sur le site : http://www.inrs.fr/dms/plastiques/DocumentCompagnonPlastiques/PLASTIQUES_DocCompagnon_11-1/3%20Additifs%20avril%202019.pdf xx consulté le : 26/02/2020 à 22 :32

[28] : S.SOUFI; R.BERKOUS, « Elaboration et Caractérisation d'un Bio-composite à Base de PEHD Recyclé et de la Fibre de Lin », mémoire de master, Université 8mai 1945 Guelma, Algérie (2019).

[29] : [En ligne]; disponible sur le site : <https://www.technologuepro.com/cours-sciences-materiaux-plastiques/cours-materiaux-plastique-chap5.pdf> consulté le : 07/03/2020 à 15 :56.

Références Bibliographiques

[30] : C.Deghnouche , « Réalisation d'un nouveau matériau biocomposite à base de fibres naturel », mémoire de master, Université Mohamed Khider de Biskra, Algérie (2019).

[31] : [En ligne]; disponible sur le site : https://fr.wikipedia.org/wiki/Fibre_v%C3%A9g%C3%A9tale consulté le : 25/04/2020 à 11 :30.

[32] : B.BOUCHERIT ; S.BOUCHAREB, « TISSAGE DE FIBRES VEGETALES POUR CARACTERISATIONS MECANIQUE DES COMPOSITES BIDIRECTIONNELS », mémoire de master, Université de M'sila, Algérie (2018).

[33] : [En ligne]; disponible sur le site : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Cellulose> consulté le: 27/04/2020 à 23:10.

[34] : [En ligne]; disponible sur le site : <https://www.istockphoto.com/fr/vectorel/mol%C3%A9cule-de-polysaccharide-de-cellulose-formule-chimique-structurelle-gm1156064816-314950369> consulté le 27/04/2020 à 23 :30.

[35] : [En ligne]; disponible sur le site : <https://fr.dreamstime.com/diagramme-d-illustration-vecteur-biologie-cellulose-usine-image113872131> consulté le : 27/04/2020 à 23 :45.

[36] : [En ligne]; disponible sur le site : <https://fr.wikipedia.org/wiki/H%C3%A9micellulose> consulté le : 28/04/2020 à 02 :10.

[37] : [En ligne]; disponible sur le site : <https://www.omicsonline.org/articles-images/2155-9600-6-461-g004.html> consulté le : 28/04/2020 à 02 :22.

[38] : [En ligne]; disponible sur le site : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Lignine> consulté le : 28/04/2020 à 02 :49.

[39] : [En ligne]; disponible sur le site : <http://www.societechimiquedefrance.fr/Lignine.html> consulté le : 28/04/2020 à 2:57.

[40] : [En ligne]; disponible sur le site : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Pectine> consulté le: 28/04/2020 à 03 :05.

[41] : [En ligne]; disponible sur le site : https://www.researchgate.net/figure/Structure-de-la-pectine-21_fig56_295932426 consulté le : 29/04/2020 à 2:43.

[42] : [En ligne]; disponible sur le site : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Cire> consulté le: 29/04/2020 3:22.

Références Bibliographiques

- [43] : [En ligne]; disponible sur le site : https://www.google.com/search?q=structure+chimique+de+la+cire&sxsrf=ALeKk03wsvzBrASEqXjZUOE9vnY9RvOH0w:1588127026742&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=sEbNHg_MmfXqYM%253A%252CGZCOCD2-cdva_M%252C_&vet=1&usg=AI4_-kRc1H38eI49nCltw7v73K71uAg9zA&sa=X&ved=2ahUKEwjr0qWayozpAhUHUxUIHZeB DLgQ9QEwAHoECAkQAw#imgrc=Ay8jMy6W3TzStM consulté le : 30/04/2020 à 9 :30.
- [44] : A.Negoudi ; S.Khinech, « Etude de comportement mécanique des composites biosourcés », mémoire de master, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, Algérie (2015).
- [45] : L.Yahiaoui, « Caractérisation d'un composite à la rupture à base des fibres végétales (Diss) », mémoire de magister, UNIVERSITE FERHAT ABBAS-SETIFUFAS, ALGERIE(2011).
- [46] : [En ligne]; disponible sur le site : <https://dspace.univ-adrar.dz/jspui/bitstream/123456789/220/1/Caract%C3%A9risation%20et%20%C3%A9valuation%20de%20la%20diversit%C3%A9%20du%20palmier%20dattier.pdf> consulté le : 05.05.2020 à 2 :34.
- [47] : [En ligne]; disponible sur le site : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00738814/document> consulté le : 06/06/2020 à 21 :20.
- [48] : [En ligne]; disponible sur le site : https://www.google.com/search?q=photo+de+feuille+de+palmier+dattier&sxsrf=ALeKk03e3wfVwT1CPRQYgyaEdAugByT1kg:1588899366791&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=GaP9ZoV8fhMeqM%253A%252CZEy2Zm2JcXzP3M%252C_&vet=1&usg=AI4_-kRi1xzpREVoXfM-OdXIDBYOUCMEfw&sa=X&ved=2ahUKEwinn92yh6PpAhVGXhoKHUUdAvcQ9QEwAHoECAoQFw&biw=1242&bih=597#imgrc=PWIzP3iErq_ZdM consulté le : 08/05/2020 à 2 :21.
- [49] : [En ligne]; disponible sur le site : <https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/biologie-amidon-645/> consulté le : 10/05/2020 à 15 :30.
- [50] : [En ligne]; disponible sur le site : <https://www.bruker.com/fr/products/infrared-near-infrared-and-raman-spectroscopy/ftir-basics.html> consulté le : 01/07/2020 à 23:38.

Références Bibliographiques

[51]: [En ligne]; disponible sur le site :
https://espace.etsmtl.ca/id/eprint/1230/1/DONG_Yingying.pdf consulté le : 07/07/2020 à
01:05.

Résumé:

L'objectif de ce travail est synthétiser un biopolymère (composite) à base de l'amidon renforcé avec charge organique de la fibre de palmier dattier non traité et traité (Nous avons effectué un traitement alcalin des fibres), et étude sa dégradation. Différentes analyses ont été utilisées tels que : l'étude structurel à l'aide de spectroscopie infrarouge FTIR, test de vieillissement naturel et le test de gonflement.

Mots clés: *biopolymère, amidon, charge organique, fibre de palmier dattier, traitement, dégradation.*

Abstract:

The objective of this work is to synthesize a biopolymer (composite) based on starch reinforced with organic filler of the fiber of untreated and treated date palm (We carried out an alkaline treatment of the fibers), and study its degradation. Different analyzes were used such as: structural study using FTIR infrared spectroscopy, natural aging test and swelling test.

Key words: *biopolymer, starch, organic filler, date palm fiber, processing, degradation.*

ملخص :

*الهدف من هذا العمل هو تصنيع بوليمر حيوي (مركب) يعتمد على النشا المقوى بحشو عضوي من ألياف نخيل التمر غير المعالجة والمعالجة (أجرينا معالجة قلوية للألياف) ، ودراسة تحللها. تم استخدام تحليلات مختلفة مثل: دراسة هيكلية باستخدام التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء FTIR واختبار الشبخوخة الطبيعية واختبار التورم. **الكلمات المفتاحية:** البوليمر الحيوي ، النشا ، الحشو العضوي ، ألياف النخيل ، المعالجة ، التحلل.*