



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 :
Hachani Halima Saadia

Le : dimanche 7 juillet 2019

Etude da la dégradation d'un bioplastique renforce Par une charge minérale

Jury :

M.	Adel Sakri	MCA	Université de Biskra	Président
Mme.	Cherifa Bouremel	MCA	Université de Biskra	Rapporteur
Mme.	Adaika Kalthoum	MCB	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2018 - 2019

SOMMAIRE

Remerciements.....	
Liste des tableaux.....	
Liste des figures.....	
Liste des abréviations.....	

Chapitre I : Généralité sur les biopolymères

Introduction générale.....	1
I.1 Historique.....	3
I. 2. Introduction.....	4
I.3. Définition de biopolymères.....	4
I.4. Biopolymères issus directement de la nature.....	6
I.5. Types de biopolymères.....	6
a. Polylactique.....	7
b. Polyhydroxyalcanoates.....	7
I.6. Bioplastiques.....	8
I.6.1. composants d'un bioplastique.....	9
I.6.2. Cycle de vie des Bioplastiques.....	9

SOMMAIRE

I.6.3. Familles de bioplastiques.....	9
I.6.3.1.Polymères biosources.....	9
I.6.3.2. Bioplastiques compo stables.....	10
I.6. 4. Avantage des bioplastiques.....	11
I.6.5. Inconvénient des bioplastiques.....	11
I.7.classification de biopolymèr.....	12
I.8.L'amidon.....	13
I.9. Avantages du biopolymère.....	14
I.10. Les inconvénients.....	14
I.11. Les applications.....	14

Chapitre II:Biocomposites

II.1.Introduction.....	16
II.2. Définition des matériaux composites.....	16
II.3. Renforts.....	17
II.4. Biocomposite.....	18
II.5. Définition de biocomposites.....	19
II.6. Matrice.....	20
II.7. Résine (constituant).....	21

SOMMAIRE

II.7.1. Résines thermodurcissables.....	22
II.7.2. Résines thermoplastiques.....	23
II.8. Les principales résines utilisées comme matrice.....	24
II.8.1. Résines thermodurcissables (TD).....	24
II.8.2. Résines thermoplastiques (TP).....	24
II.8.3. Comparaison résines thermoplastiques (TP) et thermodurcissables (TD)...	25
II.9. Matières premières utilisées.....	25
II.10. Avantage.....	26
II.11. Atouts des biocomposites.....	26
II.12. Rupture d'un matériau composite.....	26
II.13. Applications industrielles.....	29

Chapitre III : Matériaux et techniques expérimentales

III. Matériaux et techniques expérimentales.....	30
II.1 Introduction	30
III. 2.Matériels et méthodes.....	30

SOMMAIRE

III.2.1 Amidon.....	30
III. 2.1. a .L'amylopectine.....	31
III. 2. 1. b . Amylose.....	31
III. 2. 2. Glycérol.....	32
III. 2. 3. Acide chlorhydrique.....	32
III. 2. 4. Hydroxyde de sodium (NaOH).....	33
III.2.5 Carbonate de calcium utilisé (CaCO ₃).....	33
III. 3. Préparation des films d'amidon.....	34
III. 3. 1. Préparation d'un film bioplastique sans charge (CaCO ₃).....	34
III.3.2.Préparation d'un film bioplastique renforcé par le carbonate de calcium (CaCO ₃).....	37
III.3.2.1. Préparation des films à base de amidon/CaCO ₃	37
III.4. Technique de caractérisation.....	39
III.4.1 Etude structural.....	39
III.4.1.1 spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (FTIR)...	39
III.4.1. 2 Principe.....	40
III.4.2 Test de gonflement.....	41
III.4.3 Test de vieillissement naturel.....	41

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1. Analyse structurale par spectroscopie infrarouge FTIR.....	42
IV.1.1. Analyse structurale pour d'amidon pur.....	42
IV.2. Etude de dégradation.....	46
IV.2.1 Etude de vieillissement naturel.....	46
IV.3. Etude de gonflement.....	51
Conclusion générale.....	53
Références Bibliographiques.....	
Résumé.....	

Remerciements

"Nous ne pouvons construire notre propre avenir sans
aider les autres à construire le leur."

Par cette citation, Le remerciement les plus sincères
s'adressent en premier lieu à mon encadrer gentil et
respectueux professeur:

Cherifa Bouremel

Je la remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et surtout
ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma
réflexion.

je remerciements s'adressent également au chef de
département

M. Sakri Adel

J'adresse mes sincères remerciements à tous les
professeurs spécialement le professeur **Menasra Hayet**
et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs conseils
et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté
de me rencontrer et de répondre à mes questions durant
mes recherches.

À tous ces Les supporters, je présente mes
remerciements, mon respect et ma gratitude.

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau.I.1 Notions de renouvelabilité et de biodégradabilité pour les biopolymères (sur la base d'un document CEN).....	05
Tableau.II.1 Différentes formes de renforts trouvés dans les matériauxcomposites et leur disposition.....	18
Tableau.III.1 Analyse de certificat.....	31
Tableau.III.2 Les propriétés du glycérol utilisateur.....	32
Tableau.III.3 Les propriétés de l'acide chlorhydrique Utilisateur.....	33
Tableau.III.4 Différents biocomposites préparés.....	37
Tableau.IV.1 Attribution des principales bandes observées sur le spectre IR pour les composites amidons purs.....	44
Tableau.IV.2 Masse des échantillons avant et après vieillissement naturel.....	49
Tableau.IV.3 Tableau montrant les masses prélevées pour différentséchantillons dans le test de gonflement.....	51

Liste des figures

Liste des figures

Figure I. 1: Schéma simplifié du processus de biodégradation d'un bioplastique.....	5
Figure I. 2: Schema de la cellulose.....	6
Figure I. 3: Différents types de biopolymers.....	7
Figure I. 4: Matrice des bioplastiques.....	8
Figure I. 5: Cycle de vie des Bioplastiques.....	9
Figure I. 6: Emballage alimentaire.....	12
Figure I. 7: Classification des biopolymères naturels.....	13
Figure I.8: Structure chimique de l'amidon.....	14
Figure I. 9: Quelques applications pour les bioplastiques.....	15
Figure II. 1: Un diagramme montrant les matériaux composites.....	17
Figure II.2: Produits naturels utilisés dans la production de biocomposés.....	19
Figure II.3: Comment obtenir un biocomposite.....	19
FigureII.4: organigramme de différent type de matrice.....	20
Figure II.5: Production de la résine.....	22
Figure II.6: Exemples sur fibres végétales et matrices biosourcés.....	25
Figure II.7: Quelque exemple pour Applications des biocomposites.....	29
Figure III.1: Amidon utilisé dans ce travail.....	30
Figure III.2: Observation au microscope optique de grains d'amidon.....	31

Liste des figures

Figure III. 3: Carbonate de calcium traité superficiellement et non traité.....	33
Figure III. 4: Les étapes de la préparation du film bioplastique.....	34
Figure III. 5: Ajouter du glycérol et du HCl.....	34
Figure III. 6: Protocole expérimental de la préparation des échantillons.....	35
Figure III. 7: Mélange est devenu gel.....	35
Figure III. 8: biopolymère synthétisé avant séchage.....	36
Figure III. 9: Films bioplastiques dans four pour le séchage de l'eau.....	36
Figure III. 10: Film bioplastique sans charge minérale après le séchage.....	36
Figure III. 11: Préparation d'une solution de CaCO_3 /eau distillé.....	38
Figure III. 12: Préparation des films bioplastiques amidon / CaCO_3	38
Figure III. 13: Biopolymères à base de l'amidon/ CaCO_3 obtenus.....	39
Figure II. 14: Appareil FT-IR.....	39
Figure III. 15: Presse hydraulique pour préparer des pastilles.....	40
Figure III.16: Processus de gonflement.....	41
Figure IV.1: Spectre FT-IR de la matrice d'amidon artificielle.....	42
Figure .IV.2: Spectre FT-IR de CaCO_3 poudre traité.....	43
Figure IV.3: Spectre FT-IR de CaCO_3 poudre superficiellement non traité.....	43
Figure IV.4: Spectre FT-IRd'un bioplastique à base d'amidonsans CaCO_3	45
Figure IV.5: Spectre FT-IR de la matrice bioplastique à base d'amidon et 5% de CaCO_3 non traité.....	45

Liste des figures

Figure IV.6: Spectre FT-IR de bioplastique à base d'amidon et 5% de CaCO ₃ traité.....	46
Figure IV.7: Deux premières semaines.....	47
Figure IV.8: Echantillons exposé à l'aire libre (vieillissement naturel) pendant un mois....	48
Figure IV.9: Echantillons exposé à l'aire libre (vieillissement naturel) pendant un mois et demi.....	48
Figure IV.10: Variation de la masse des échantillons amidon/ CaCO ₃ non traité en fonction de temps de vieillissement.....	50
Figure IV.11: Variation de la masse des échantillons amidon/ CaCO ₃ traité en fonction de temps de vieillissement.....	50
Figure IV.12: Histogramme montre le test de gonflement des échantillons amidon/ CaCO ₃ non traité.....	52
Figures .IV.13: Histogramme de test de gonflement des biopolymères à base d'amidon/ CaCO ₃ traité.....	52

Liste des abréviations

Liste des abréviations :

CEN : Comité européen de normalisation

PHA : Polyhydroxydlkanoates

PHV : Polyhydroxyvalerate

PHBV : Polyhydroxybutyrate-hydroxyvalerate

PLA : polylactique

PHAs : polyhydroxyalcanoates

SBC : Sustainable Biomaterials Collaborative

EPA : eicosapentaénoïque

EPS : Exopolysaccharides

ACV : L'analyse du cycle de vie

ADN : Acide désoxyribonucléique

NFC : composites à fibres naturelles

WPC : wood plastic composite

TD : thermodurcissables

TP : thermoplastiques

MO : Matière organique

MM : Masse moléculaire moyenne

SMC : Sheet Moulding Compound

CMO : composites à matrice organique

UP : polyesters insaturés

EP : époxyde

PF : Polyéthylène

PIRP : polyimides thermodurcissables

BMI : polybismaléimides

CVD : dépôt chimique en phase vapeur

PEI : polyétherimide

Liste des abréviations

PPS : poly(sulfure de phénylène)

PEEK : poly(éther-éther-cétone de phénylène)

CMM : composites à matrice métallique

PP : Polypropylène

PVC : Polychlorure de vinyle

bio-PE : biologie- Polyéthylène

IR : Infra Rouge

Introduction Générale

Introduction Générale

Depuis quelques années, un intérêt croissant est porté aux matériaux biodégradables. Cependant, leurs propriétés restent très au-dessous des polymères conventionnels d'origine fossile. Ainsi, pour dépasser ces limites liées à leurs propriétés médiocres, les biopolymères sont souvent renforcés pour combler les inconvénients rencontrés dans la matrice polymère.

Les renforts utilisés sont généralement des particules rigides et plus récemment on s'intéresse de plus en plus aux renforts organique et minérale qui donnent de meilleures propriétés. Les renforts les plus utilisés sont soit d'origine naturelle (cellulose, amidon,..), soit dérivés des produits pétroliers (noir de carbone) ou des minéraux (silice, argile, carbone de calcium...). Ces derniers sont plus intéressants côté apport de la rigidité et la stabilité thermique.

La matrice, étant biodégradable, le matériau composite ou biocomposite final reste partiellement biodégradable. Les matrices polymères les plus utilisées sont les thermoplastiques et pour appuyer le caractère biodégradable et renouvelable, ces matrices sont généralement dérivées de biopolymères biosourcés comme l'amidon et qui entre aussi dans le contexte de valorisation de la biomasse.

En effet, l'amidon est l'organe de réserve d'énergie des végétaux supérieurs et se présente sous la forme d'une poudre blanche constituée de grains micrométriques et est une matière première abondante, renouvelable, biodégradable, et bon marché. L'une des voies de valorisation est son utilisation en tant que matériau thermoplastique. L'amidon thermoplastique, obtenu par chauffage de grains natifs en présence d'un plastifiant, est un matériau biodégradable ayant des propriétés mécaniques comparables à celles du Polyéthylène basse densité. [1]

Le but de ce travail est d'élaborer des films plastiques biodégradables à base de l'amidon, renforcé par une charge minérale du carbonate de calcium non traité et superficiellement traité. Différentes analyses ont été faites les composites obtenus tels que : étude structurale à l'aide d'une spectroscopie d'infrarouge, étude de vieillissement naturel et un test de gonflement par l'eau distillé

Introduction Générale

Ce mémoire comporte quatre chapitres :

- ▶ Le premier chapitre, qui concerne la partie bibliographique, abordera toutes les notions théoriques de base, en relation avec le travail réalisé.
- ▶ Dans le deuxième chapitre, on a fait une synthèse bibliographique sur les biocomposites et les charges en général
- ▶ 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.
- ▶ Quatrième chapitre est consacré à l'illustration de tous les résultats trouvés accompagnée des discussions appropriés.

Enfin on terminera par une conclusion générale.

I.1 Historique :

A la fin des années 80, avec l'émergence de la notion de développement durable, les questions de la gestion des déchets, et plus particulièrement du recyclage, deviennent prégnantes. On assiste alors à l'émergence de la notion de cycle de vie d'un produit et de l'éco-conception (qui consiste à intégrer dès la conception les impacts environnementaux) et dans ce contexte, s'amorce le développement des bioplastiques.

En effet les polymères classiques issus de la pétrochimie sont souvent utilisés dans des applications à faibles durées de vie; l'exemple le plus parlant étant le fameux sac plastique. Or cela va à l'encontre même du principe de durabilité. Par ailleurs, ces plastiques sont une source de pollution et de nuisance (visuelle par exemple), ainsi qu'un danger pour la vie sauvage, les océans entre autre. De plus ils engendrent un volume considérable d'ordures ménagères et leur valorisation énergétique est problématique, puisqu'elle entraîne des émissions toxiques, de type dioxine. La valorisation matériau est quant à elle peu concluante, entre faibles débouchés et problèmes techniques. [2]

D'origine végétale et biodégradables, les bioplastiques, connus de puis un siècle, se développent surtout depuis une quinzaine d'années entre 1990 et 2005 le terme bioplastique a été utilisé pour définir les plastiques ayant la capacité de se biodégrader.

Précurseurs de la grande famille des plastiques végétaux, ils se distinguent par leur biodégradabilité. Ils représentent une solution sérieuse à ces enjeux d'ordre économique, social et environnemental. Dans un contexte où l'augmentation conjuguée des demandes alimentaires et énergétiques mondiales façonne la gestion responsable de toutes nos ressources, les bioplastiques font naître de nouvelles passerelles entre les filières agricoles, chimiques et plasturgiques. A travers cette travail nous vous invitons à découvrir les bioplastiques dans une vision globale, celle d'une filière durable, créatrice de richesses pour nos territoires dans le domaine de l'agriculture et de l'industrie. [3]

I.2. Introduction

Le terme bioplastique regroupe deux types de polymères distincts :

Les polymères dits biosourcés (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. [2]

Dans ce chapitre, nous parlerons de biopolymères généralement.

I.3. Définition de biopolymères :

Sont des polymères présents dans des organismes vivants ou synthétisés par ceux-ci. Ils comprennent notamment les polymères provenant de ressources renouvelables qu'on peut polymériser pour fabriquer des bioplastiques. [1]

Les biopolymères regroupent suivant les définitions CEN à la fois les macromolécules biobasées, les macromolécules biodégradables et les macromolécules biocompatibles. Les polymères biobasés, comme catégorie importante des produits biobasés, sont des molécules issues partiellement ou totalement de la biomasse. Ils proviennent donc en tout ou en partie de matières premières renouvelables. [4]

Un polymère biodégradable est formé de molécules décomposables et assimilables par des micro-organismes vivants dans le milieu naturel. Un polymère compostable est un polymère dont la biodégradation va donner de l'eau, du CO₂, des composés inorganiques et de la biomasse sans laisser de résidus toxiques. [5]

Les polymères biobasés ne sont pas nécessairement biodégradables, de même que les polymères issus de ressources fossiles ne sont pas nécessairement non biodégradables.

Le tableau 1 montre comment toutes les combinaisons de renouvelabilité et de biodégradabilité peuvent se rencontrer pour les biopolymères. [4]

Tableau. I. 1 : Notions de renouvelabilité et de biodégradabilité pour les biopolymères (sur la base d'un document CEN). [4]

Origine du matériau	Biodégradabilité	Exemple
Renouvelable	Biodégradable	Polyhydroxyalkanoates (PHA) ; PLA, amidon
Non renouvelable	Biodégradable	Polycaprolactone (polyester aliphatique)
Renouvelable	Non biodégradable	Polyéthylène à base végétale
Non renouvelable	Non biodégradable	Polyétheréthercétone (PEEK ; biocompatible)

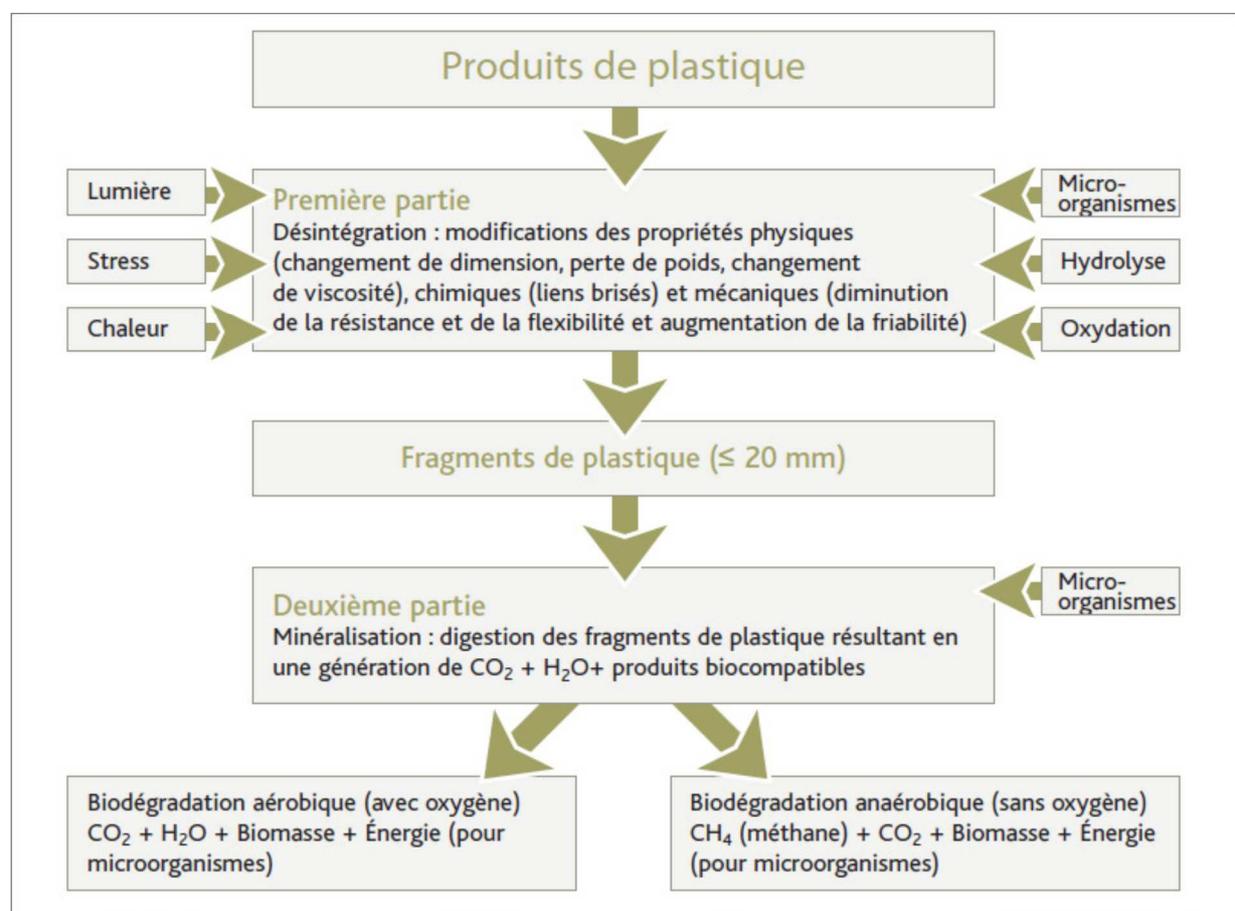


Figure I. 1: Schéma simplifié du processus de biodégradation d'un bioplastique. [9]

I.4. Biopolymères issus directement de la nature :

Les biopolymères issus directement de la nature les plus connus sont la cellulose [Figure1] 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.

Autre biopolymère de grand intérêt l'amidon présent dans les organes de stockage de la pomme de terre, du riz, du maïs,...[6]

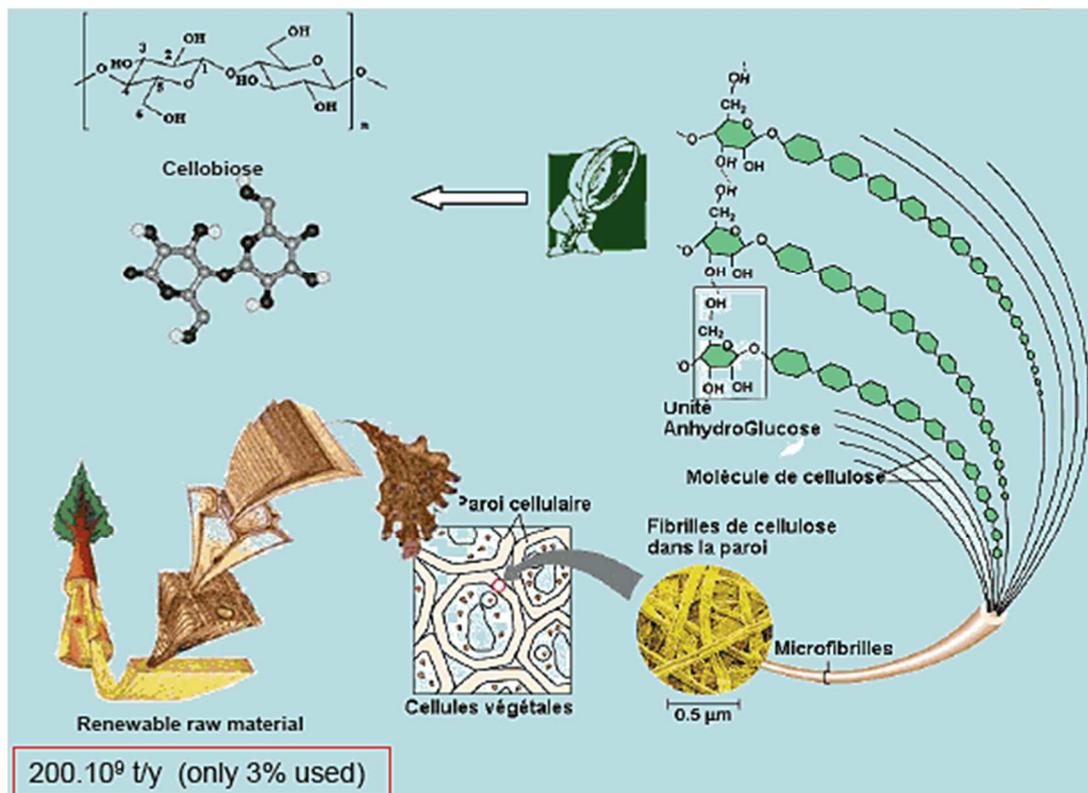


Figure I. 2: Schéma de la cellulose. [6]

I.5. Types de biopolymères :

On dénombre cinq types différents de bio-polymères que l'on peut regrouper en trois classes [Figure3] :

- Polymères de synthèse : ce sont des polymères d'origine fossile Comme le pétro.
- Polymères biodégradables : ce sont des polymères d'origine fossile (issus du pétrole) auxquels est ajouté un additif qui permet de favoriser leur dégradabilité.
- Biopolymère de biomasse : ce sont les polymères issus de la biomasse. Il en existe trois sortes

- a. ○ Bio polymères issus de la faune et de la flore : cette famille comprend par exemple l'amidon, la cellulose, les protéines, etc.
- b. ○ Bio polymères produits par polymérisation chimique : cette famille est essentiellement constituée des PLA
- c. ○ Bio polymères produits par des micro-organismes génétiquement modifiés (PHA, PHV, PHBV). [1]

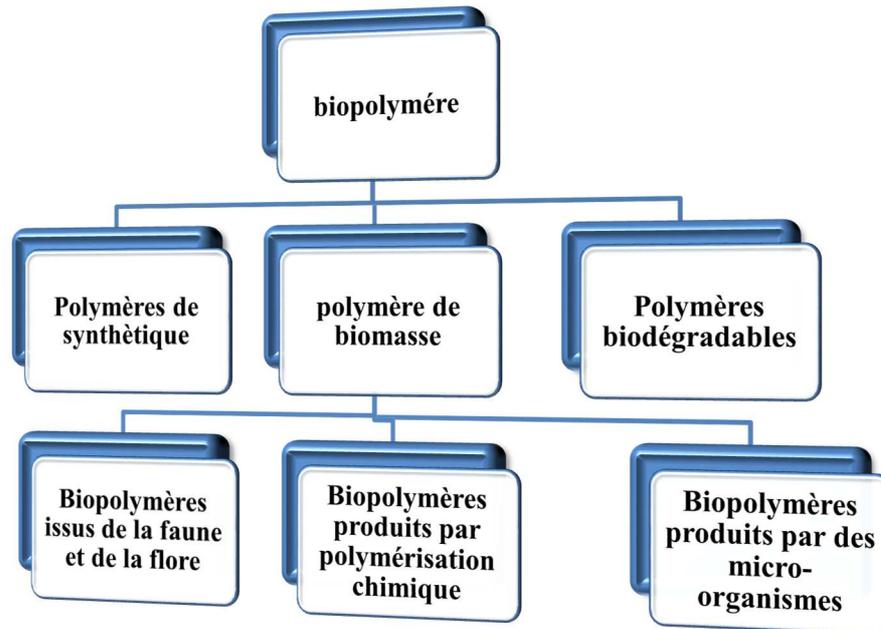


Figure I. 3 : Différents types de biopolymères. [1]

Remarque :

- a. **Poly lactique** : Le poly (acide lactique) ou l'acide polylactique ou le polylactide (PLA) est un polyester aliphatique thermoplastique biodégradable dérivé de la biomasse renouvelable, typiquement à partir d'amidon de plante fermenté tel que le pulpe de maïs, de manioc, de canne à sucre ou de betterave à sucre. En 2010, le PLA affichait le deuxième volume de consommation le plus élevé au monde parmi les bioplastiques. [7]
- b. **Polyhydroxalcanoates** : Les polyhydroxalcanoates ou PHAs sont des polyesters biodégradables produits naturellement par fermentation bactérienne de sucres ou lipides. Ils sont produits par les bactéries en tant que stockage de carbone et d'énergie. Le terme polyhydroxalcanoate regroupe plus de 150 monomères différents qui conduisent à des propriétés parfois très différentes. Ces polymères peuvent ainsi

présenter des propriétés thermoplastiques ou d'élastomères avec des points de fusion allant de 40 à 180 °C. [8]

I.6. Bioplastiques :

L'emploi du terme dans des ouvrages scientifiques réfère parfois aux polymères biodégradables (Smith, 2005) et à certains moments, il réfère plutôt aux polymères biodégradables et biosourcés (Yu, 2009). Le Sustainable Biomaterials Collaborative (SBC) qui est une organisation américaine qui promeut l'utilisation des produits biosourcés, définit par ailleurs les bioplastiques comme étant des plastiques dérivés à 100 % de carbone provenant de l'agriculture, des forêts ou d'autres sources renouvelables. Le terme bioplastique est utilisé pour désigner deux réalités distinctes : l'origine de la ressource (biosourcé) et la gestion de la fin de vie (biodégradable et compostable). Il englobe donc les plastiques des trois catégories suivantes qui sont représentées à la:

- Biodégradables et issus de ressources renouvelables;
- Biodégradables et issus de ressources non renouvelables (origine fossile);
- Non biodégradables et issus de ressources renouvelables. [9]

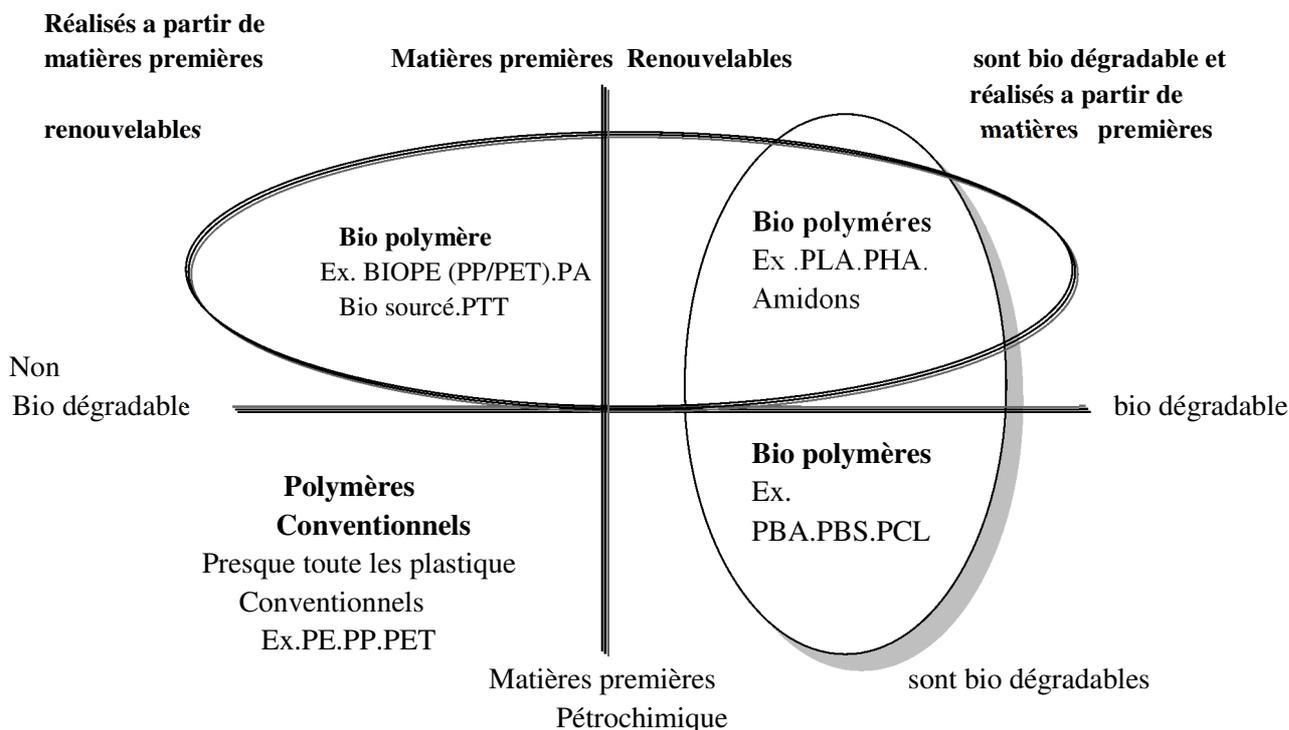


Figure I. 4 : Matrice des bioplastiques. [9]

I. 6. 1. Composants d'un bioplastique:

L'origine des matières premières des bioplastiques est très souvent issus des cultures de maïs, blé, pdt, canne à sucre, huiles... provenant de l'agriculture conventionnelle

Ils sont constitués de polymères naturels, présents dans l'amidon, la cellulose... La glycérine est un produit naturel visqueux inodore et incolore. Ayant une fonction alcool il a une action collante. [10]

I. 6. 2. Cycle de vie des Bioplastiques :

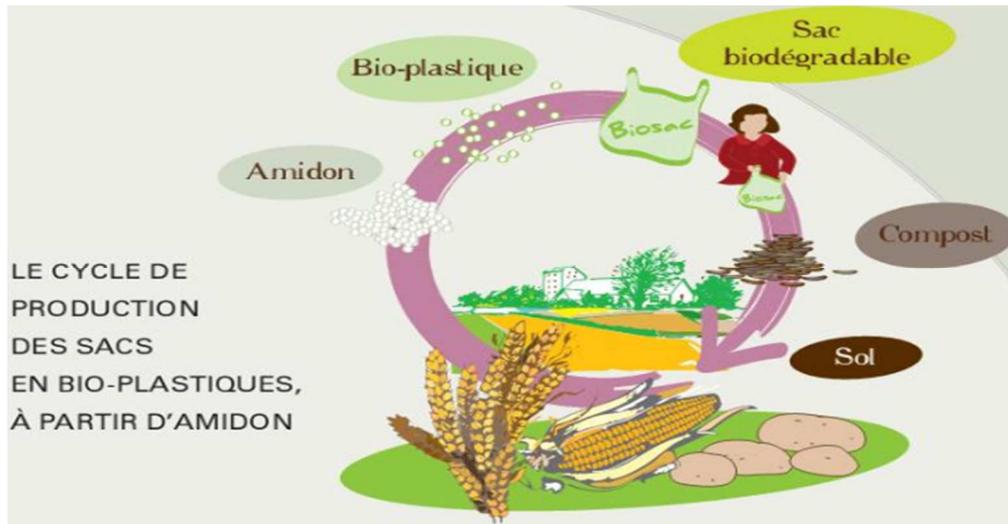


Figure I. 5 : Cycle de vie des Bioplastiques. [10]

I. 6. 3. Familles de bioplastiques:

Il y a trois types de familles de bioplastiques : les polymères biosourcés et biocompostables (type EPA/PHA), les polymères biosourcés mais non biocompostables, qui se développent beaucoup aujourd'hui (les chimistes travaillent à l'heure actuelle sur les monomères verts, qui ont les mêmes propriétés mécaniques que le plastique) et les polymères issus du pétrole et biocompostables, qui regroupent par exemple tous les sacs plastiques sur le marché issus de mélange avec de l'amidon. [5]

I. 6. 3. 1. Polymères biosourcés :

S'inscrit globalement autour des « Systèmes de polymères biosourcés et/ou biodégradables à finalité environnementale ou biomédicale », avec une approche transversale qui va de la biomasse à l'objet final. La chaîne de valeur développée part de la bioproduction. Les synthons biosourcés ou biomacromolécules produits sont ensuite chimiquement modifiés et/ou polymérisés. Des « objets » finis sont obtenus, suite à une phase de formulation et de mise en œuvre, pour différentes applications.

Ces matériaux issus de la biomasse s'intègrent dans une approche de bioraffinerie globale et de valorisation non-alimentaire de différentes biomasses stratégiques. Les matériaux de base sont principalement.

Des polysaccharides ou dérivés (amidon, chitosane, alginate, sorbitol, isosorbide,), Des dérivés de triglycérides de végétaux ou de micro-algues (acide gras et dimères), Des composés aromatiques naturels du type lignine, tanin et dérivés furaniques, Des polymères bactériens (PHA, EPS). Cette démarche est associée au développement de architectures macromoléculaires biosourcés innovantes avec de nouvelles fonctionnalités pour des applications originales, sans compétition avec l'alimentaire. [11]

I. 6. 3. 2. Bioplastiques compostables :

La composition et la stabilité des plastiques est aussi définie par des standards. un plastique compostable

« Se dit d'un plastique qui subit une dégradation par un processus biologique pendant le compostage, produisant du CO₂, de l'eau, des composés inorganiques et de la biomasse à un rythme comparable à celui d'autres matières compostables connues, et ne générant aucun résidu toxique, visible ou reconnaissable »

Le facteur temps contrairement à la notion de biodégradation est pris en considération. Un bioplastique biodégradable n'est donc pas nécessairement toujours compostable. Un bioplastique compostable est par contre toujours biodégradable. Par exemple, les caractéristiques qu'un matériau doit présenter :

La composition: la norme fixe la composition en matière organique (au moins 50 %) et la concentration maximum pour 11 métaux lourds (Zinc, Cuivre, Nickel, Cadmium, Sélénium, Fer, Plomb, Mercure, Chrome, Molybdène, Arsenic)

- La biodégradation des matériaux dans un délai déterminé: le seuil acceptable de biodégradabilité est de 90 % sur une période maximale de 6 mois

- La désintégration ou l'aptitude du matériau à se fragmenter (absence de pollution visuelle) : la désintégration est évaluée par compostage en essai pilote.

La masse de fragments retenus sur un tamis de 2 mm ne doit pas dépasser les 10 % de la masse initiale du matériau après 12 semaines.

- La qualité du compost: cette dernière caractéristique est évaluée par la mesure des paramètres physico-chimiques (masse volumique, teneur en solides, teneur en matières volatiles, teneur en sels, pH...) et des tests d'écotoxicité.

Finalement, tout comme le terme biodégradable, le terme compostable est en lien avec la gestion de fin de vie du bioplastique. [9]

I. 6. 4. Avantages des bioplastiques :

Le premier avantage des bioplastiques est son caractère écologique, en amont d'une part, dans un contexte de raréfaction du pétrole, en aval d'autre part, par la possibilité d'une gestion durable de fin de vie. La transformation des bioplastiques nécessite également une température moins élevée.

Il s'agit également d'un outil de communication valorisant pour les entreprises, qui peuvent ainsi adapter les contenants à un contenu écologique.

Le bioplastique engage l'entreprise dans une démarche de développement durable, et lui donne une position d'innovateur. Par ailleurs, le lancement de nouveaux produits a de fortes répercussions médiatiques, ce qui permet de se distinguer de la concurrence. [5]

I.6. 5. Inconvénients des bioplastiques :

Des freins s'imposent cependant au développement des bioplastiques. Ils sont notamment entre 50% et 400% plus chers que le plastique, bien qu'on tende vers une équivalence dans les prix sur certains matériaux.

Les volumes disponibles représentent par ailleurs un faible pourcentage de la production mondiale. Ils sont également dépendants des décisions des gros industriels, qui ont réellement le pouvoir de lancer des bioplastiques. Ainsi, Danone en Allemagne, a mis beaucoup de temps avant de lancer un emballage en PLA pour son produit actimel. Enfin, le transfert de technologies est coûteux en temps et en argent.

Est difficile d'optimiser les bioplastiques, d'autant plus que les plasturgistes sont habitués à travailler à partir d'une matière qui correspond très précisément à leurs attentes. [5]



Figure I. 6 : Emballage alimentaire. [5]

I. 7. Classification des biopolymères :

« Biopolymères » est un terme générique qui regroupe trois grandes catégories sur la base des matières premières d'origine et des caractéristiques de dégradation biologique. On différencie ainsi :

- Les biopolymères provenant de matières premières renouvelables et biodégradables.
- Les biopolymères provenant de matières premières renouvelables non biodégradables.
- Les biopolymères provenant de matières premières fossiles et biodégradables.

Chacune de ces catégories se divise elle-même en plusieurs classes. La catégorie la plus intéressante et par conséquent la plus importante, est celle des plastiques biodégradables provenant de matières premières renouvelables. Du fait qu'ils ne présentent aucune réaction impliquant le CO₂ et qu'ils peuvent être compostés, les produits de cette catégorie sont des « plastiques biologiques » authentiques. On distingue plusieurs groupes à l'intérieur de cette catégorie :

- ✓ Les biopolymères provenant de matières premières renouvelables, biodégradables, synthétisées par les micro-organismes

Acide poly lactique (PLA) → extrusion

Polyhydroxyalcanoate (PHB) → moulage par injection

Les autres poly hydroxydes d'acides gras (PHF) → moulage par injection

- ✓ Les biopolymères biodégradables provenant de matières végétales

Dérivés de l'amidon → extrusion et moulage par injection

Mélanges de cellulose (CA) → moulage par injection

Base lignine → moulage par injection

✓ Les biopolymères biodégradables d'origine animale

Chitine et chitosane → procédés de moulage à sec

Biopolymères biodégradables d'origine fossile

Polyester → extrusion

Ethanol (PVA). [12]

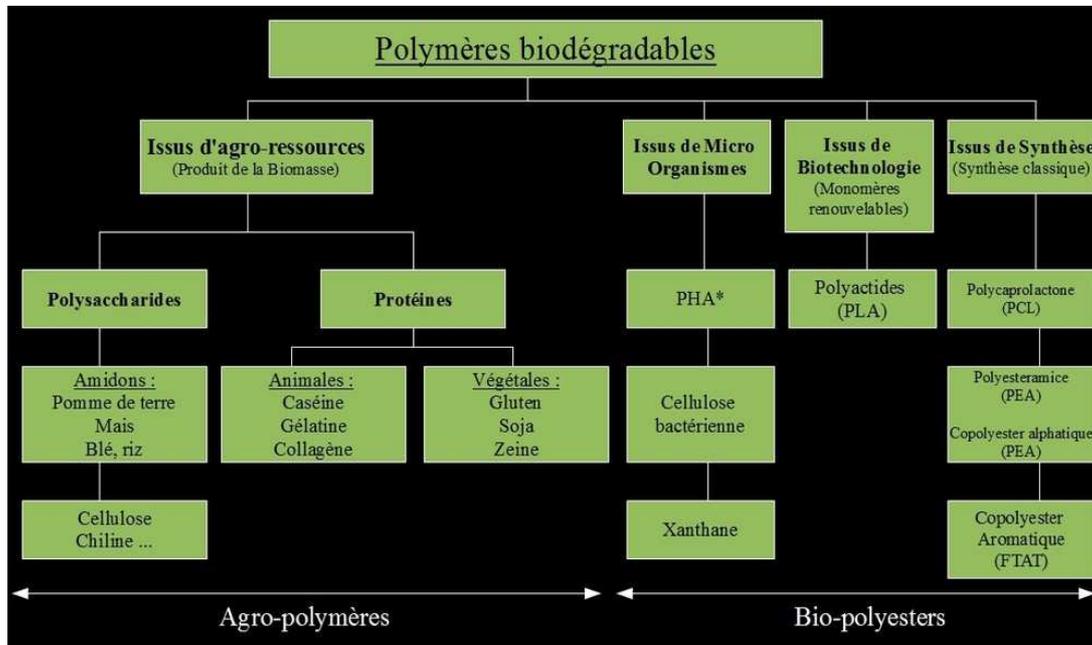


Figure I. 7 : Classification des biopolymères. [2]

I. 8. L'amidon :

L'amidon représente jusqu'à 70% du poids sec de certains végétaux et certaines céréales.

Formé lors de la photosynthèse, il s'accumule dans les cellules sous forme de grains caractéristiques et joue le rôle de glucide de réserve lors de la germination.

C'est une source glucidique majeure pour l'alimentation humaine et animale. La molécule est également utilisée en industrie de fermentation.

L'amidon est un polymère de glucose (formule du glucose : $C_6H_{12}O_6$) que l'on trouve particulièrement dans le maïs, les pommes de terre, le riz et le blé. Présent dans les plantes, il est donc renouvelable. Ce polysaccharide a pour formule $(C_6H_{10}O_5)_n$.

C'est grâce à ces propriétés énergétiques que l'amidon sert à synthétiser les bioplastiques. [13]

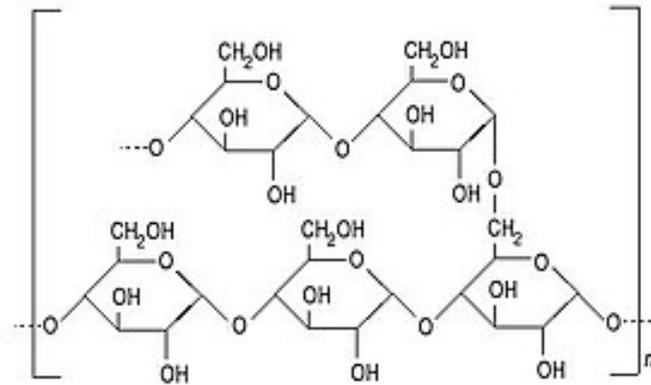


Figure I.8 : Structure chimique de l'amidon. [13]

I. 9. Avantages du biopolymère :

Les nouvelles fonctionnalités apportées par ces nouveaux matériaux sont :

- -une fin de vie contrôlée (biodégradation) .
- -une biocompatibilité ou un comportement bactéricide/fongicide (biomédical),
- -l'intégration de matériaux renouvelables en substitution de matériaux fossiles,
- -une toxicité réduite (matériaux respectueux de l'environnement de la santé),
- -une ACV améliorée et en accord avec les principes d'une chimie verte
- Eviter d'enterrer les déchets et Fournir plus de zones de terres agricoles et urbaines
- Réduire la pollution de l'air lors de la combustion des déchets. [11]

I. 10. Inconvénients :

- Structure fragile et Mauvaise cohérence.
- Décomposition rapide parfois.
- Faible résistance thermique.
- Faible souplesse.
- Faible propriétés barrières.
- opaque.
- le moins économique. [2]

I. 10. Applications :

Les applications des bio-polymères reposent sur leur principale propriété qui consiste en leur caractère biodégradable, en plus ne sont pas polluants, ils peuvent même être compostés et donc servir à favoriser la croissance d'autres végétaux. Le plus souvent, bon nombre de ces bio-polymères sont utilisés en tant que biomatériaux dans le domaine médical, en agriculture,

en sports et aussi dans l'emballage alimentaire. Ces biopolymères sont aussi utilisés comme mousses et chips d'emballage vêtements textiles jetables.

Quelque application de bioplastiques :

- Sacs
- Emballage.
- Applications agricoles
- Produits à usage unique (les bioplastiques sont utilisés dans le secteur de la restauration: couverts, Gobelets. Boîtes) .
- Produits d'hygiène et cosmétiques.
- Secteur automobile.
- Applications diverses. [9]



Figure I. 9 : Quelques applications pour les bioplastiques. [9]

II.1. Introduction :

Les matériaux issus de ressources naturelles et renouvelables suscitent depuis ces dernières années un intérêt considérable en raison principalement de la raréfaction des ressources fossiles et du souci grandissant de la préservation de l'environnement.

Ce phénomène s'est accéléré par la mise en place récente de politiques de développement durable qui visent à promouvoir des solutions plus respectueuses de l'environnement dans le domaine des énergies et des matériaux.

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. [20]

II.2. Définition des matériaux composites :

Un matériau composite est un assemblage d'au moins deux composants non miscibles (mais ayant une forte capacité de pénétration) dont les propriétés se complètent. Le nouveau matériau ainsi constitué, hétérogène, possède des propriétés que les composants seuls ne possèdent pas.

Ce phénomène, qui permet d'améliorer la qualité de la matière face à une certaine utilisation (légèreté, rigidité à un effort, etc.) explique l'utilisation croissante des matériaux composites dans différents secteurs industriels. Néanmoins, la description fine du composite reste complexe du point de vue mécanique de par la non-homogénéité du matériau. Un matériau composite se compose comme suit :

matrice + renfort + optionnellement : charge et/ou additif.

Exemples : le composite fibre de verre + résine polyester. [14]

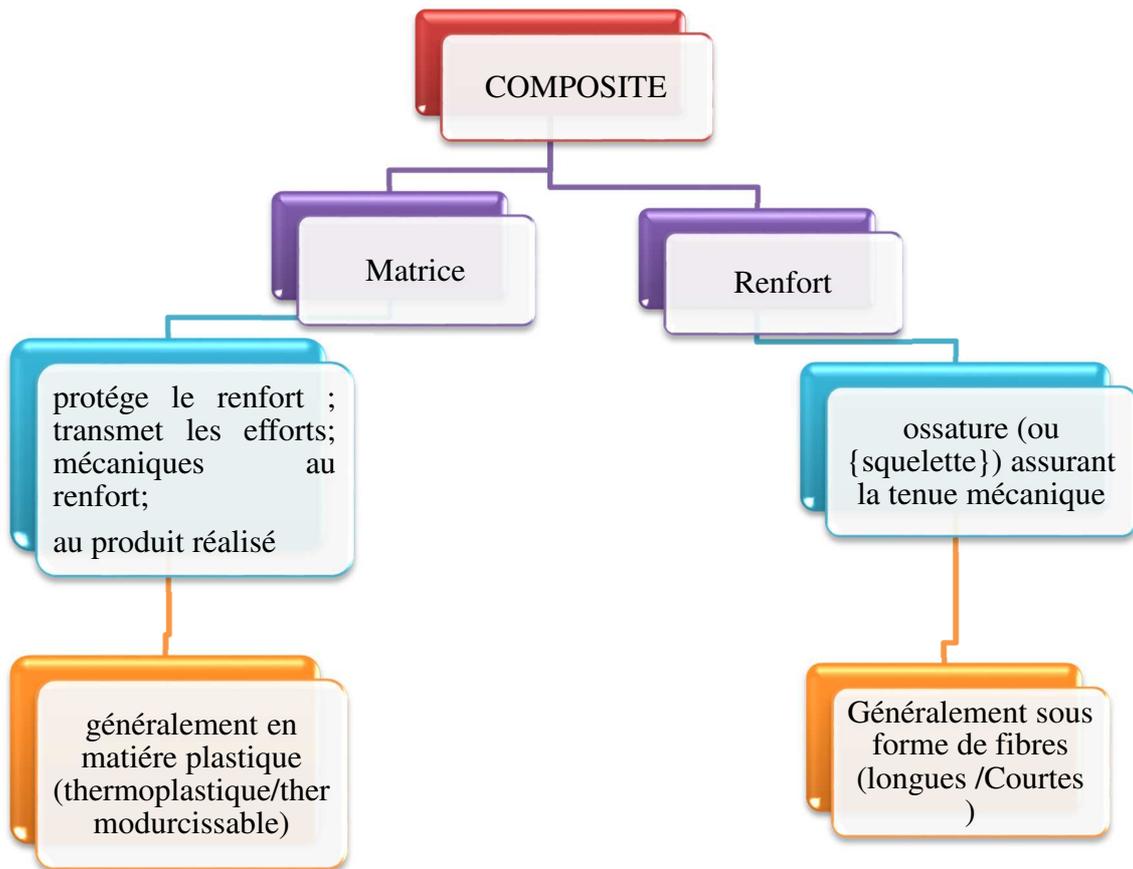


Figure II. 1 : Un diagramme montrant les matériaux composites. [15]

II.3. Renforts :

Le renfort est l'armature reprenant l'essentiel des efforts mécaniques.

Les renforts peuvent être classés selon : leur composition : métal, verre, polymère, etc.

- leur forme : fibres : courtes (0,1 - 1 mm), longues (1 - 50 mm) ou continues (> 50 mm).
- charges renforçantes : gravier (additionné au ciment pour fabriquer le béton), sable, billes de verre, etc.
- leur disposition : mat (nappe de fibres en vrac non tissées) ou tissé.

Le tableau suivant résume les dispositions possibles des différentes formes de renforts dans un matériau composite.

Tableau II.1 : Différentes formes de renforts trouvés dans les matériaux composites et leur disposition.

Type de renfort	Renfort non orienté	Renfort orienté
Fibres longues ou continues	Mat de fibres longues	Parallèlement les unes par rapport aux autres : renforcement unidirectionnel, Selon un angle prédéfini (45° par exemple les unes par rapport aux autres) : renforcement multidirectionnel : renfort tissé,
Fibres courtes	Mat de fibres hachées, exemple : waferboard	Orientation préférentielle, exemple : panneau de grandes particules orientées(OSB)
Charges	Majoritairement	Orientation préférentielle possible

Le renfort peut être seul au sein d'une matrice (composite homogène) ou associé à un renfort de nature différente (composite hybride). Les fibres possèdent généralement une bonne résistance à la traction mais une résistance faible à la compression. [14]

II.4. Biocomposite :

Un matériau composite est un assemblage d'au moins deux matériaux non miscibles possédant une forte capacité d'adhésion. L'usage des fibres naturelles est très intéressant dans ce domaine, compte tenu de leurs bonnes propriétés mécaniques, de leur faible coût et de l'aspect écologique qu'elles représentent. [16]

Les biocomposites sont des matériaux composites utilisant des renforts et des résines d'origine animale ou végétale. Ils sont une combinaison de résines thermoplastiques ou thermodurcissables et de renforts sous forme de microsphères, fibres, tissus ou non tissés. Les technologies de production sont principalement l'injection et la thermocompression.

Les biocomposites sont caractérisés par le fait que : la résine pétrochimique est remplacée par une résine végétale ou animale et/ou les renforts synthétiques (fibres de verre, fibres de carbone, ...) sont remplacés par des fibres naturelles (chanvre, lin, sisal, jute, etc.). Ces marchés sont en forte croissance, principalement du fait de l'augmentation des prix du pétrole, des obligations de recyclage et de respect de l'environnement. [17]



Figure II.2 : Produits naturels utilisés dans la production de biocomposés. [17]

II.5. Définition de biocomposites :

Au niveau de la plasturgie, un matériau composite est constitué d'une matrice organique (= polymère) et d'un renfort (= fibre).

La notion de « composite biosourcé » ou « biocomposite » fait généralement référence à l'utilisation de fibres végétales comme renfort dans des matrices plastiques pétro-basés ou biobasés (partiellement ou complètement). On parle alors de composites polymère-fibres naturelles (NFC) ou de composites polymère-bois (WPC). Les matrices utilisées pourraient être des polymères issus de ressources renouvelables comme l'amidon. [18]

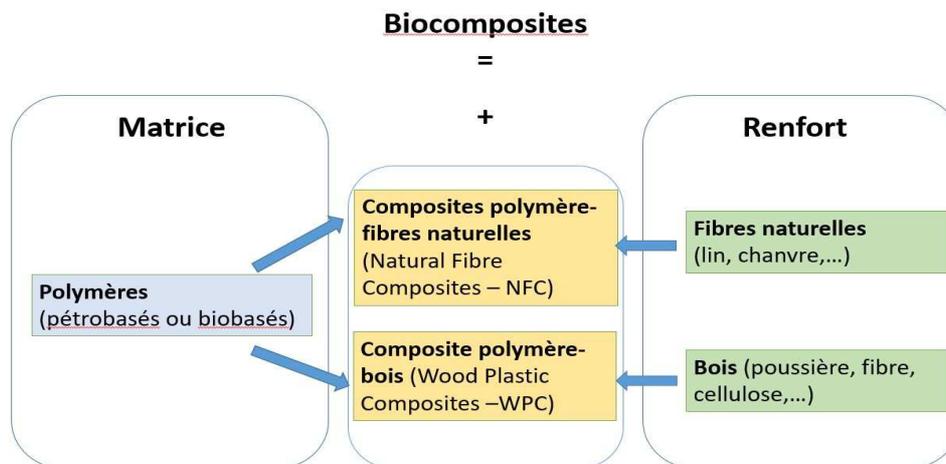


Figure II .3 : Comment obtenir un biocomposite. [18]

II.6. Matrice :

La matrice a pour principal but de transmettre les efforts mécaniques au renfort. Elle assure aussi la protection du renfort vis-à-vis des diverses conditions environnementales. Elle permet en outre de donner la forme voulue au produit réalisé.

Il existe deux types de matrice : organique et minérale, dans un grand nombre de cas, la matrice constituant le matériau composite est une résine polymère.

Les résines polymères existent en grand nombre et chacune a un domaine particulier d'utilisation. La matrice a pour rôle de lier les fibres renforts, répartir les contraintes subies, apporter la tenue chimique à la structure et donner la forme désirée au produit. [19]

On utilise actuellement surtout des résines thermodurcissables (TD) que l'on associe à des fibres longues, mais l'emploi de polymères thermoplastiques (TP) renforcés de fibres courtes se développe fortement. Dans les applications où une tenue de la structure aux très hautes températures est requise, des matériaux composites à matrice métallique, céramique ou carbone sont utilisés. Dans le cas des matériaux en carbone des températures de 2 200°C peuvent être atteintes. [20]

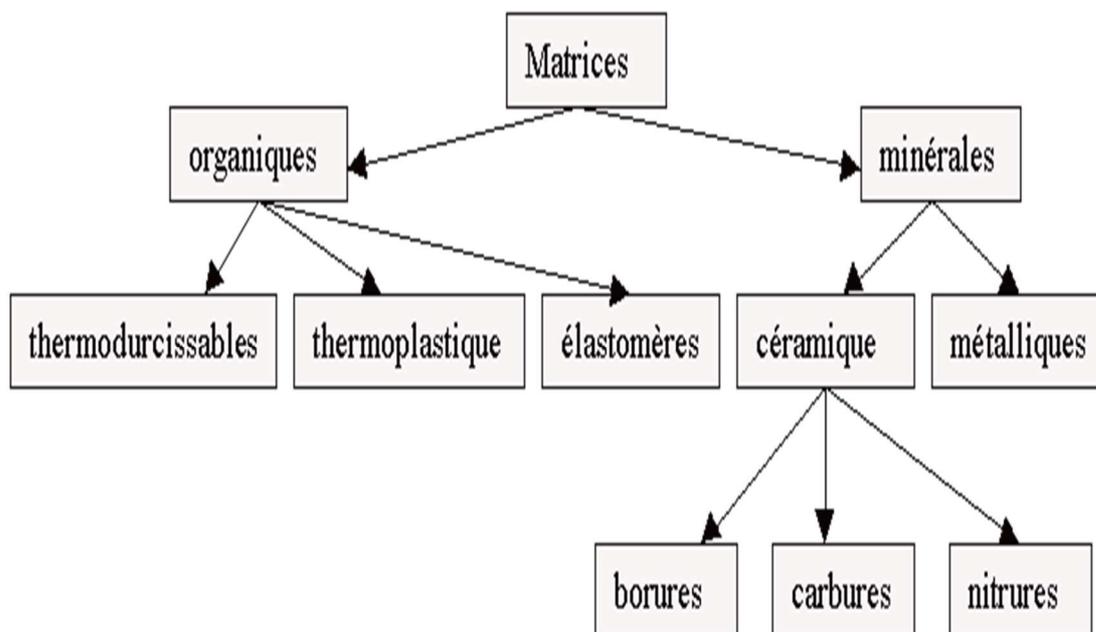


Figure II. 4 : organigramme de différents types de matrices. [24]

Matière organique (MO): tous les constituants provenant d'êtres vivants : végétaux, animaux, bactéries, champignons vivants ou morts, décomposés ou en cours de décomposition, déjections et humus(fraction colloïdale d'origine végétale).

Pour la Matière minérale (MM) je m'aperçois que c'est plus difficile de trouver une définition et je pense que ces termes font référence à deux choses :

- des constituants minéraux ou mécaniques : provenant de la désagrégation de la roche du sous-sol Ou contributions humaines. Se classent par leur grosseur ou par leur minéralogie (Eléments caillouteux siliceux, silicatés, calcaires + colloïdes minéraux : argile, oxydes de Fe et d'Al, grains de limons, siliceux, silicatés ou calcaires).

- des corps minéraux dissous dans ce qu'on appelle la "solution du sol" : provenant de la décomposition de la roche et des matières organiques ou des apports par l'homme. il s'agit d'acides, de bases et de sels en partie ou en totalité dissociés en ions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , NO_3^- , CO_3H^- ,...).[21]

II.7. Résine (constituant) :

Une résine désigne un produit polymère (naturel, artificiel ou synthétique) qui est une matière de base pour fabriquer par exemple des matières plastiques, textiles, peintures (liquides ou en poudre), adhésifs, vernis, mousses de polymère. Elle peut être thermoplastique ou thermodurcissable.

Dans un matériau plastique renforcé, la résine, encore appelée matrice, très fluide ou très visqueuse, sert de liant pour faire la liaison entre les différentes particules du renfort, telles les fibres, billes ou microsphères de verre.

Par exemple, le préimprégné SMC (Sheet Moulding Compound) est composé notamment d'une résine polyester, d'un renfort (mat, tissu ou fibres), de charges et d'un catalyseur (durcisseur) prémélangés. Ce mélange prêt pour le moulage par compression à chaud se présente sous forme de feuilles.

L'expression « matière plastique » ayant une connotation péjorative pour certains consommateurs, le mot « résine » est souvent employé par les fabricants en lieu et place de « matière plastique ». [22]

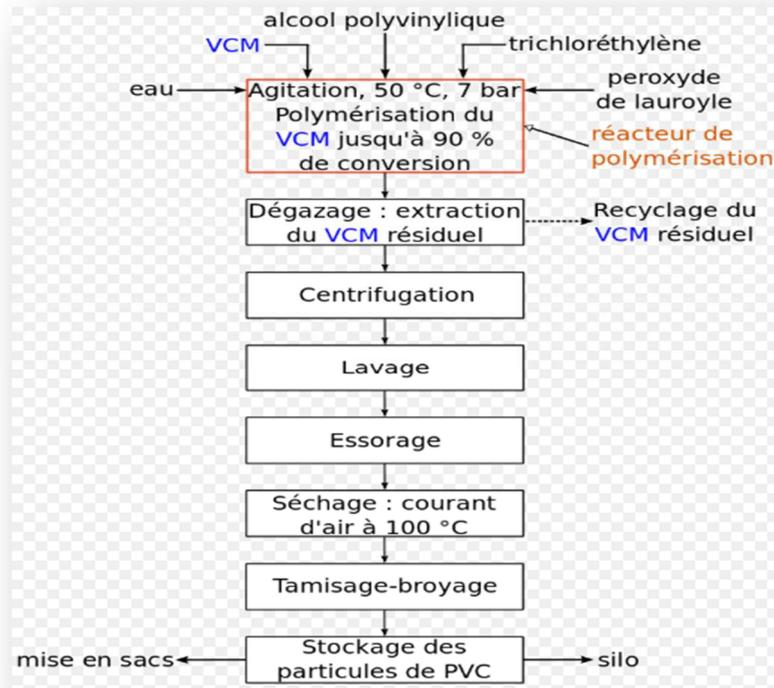


Figure II. 5 : Production de la résine [22]

- ✓ Dans le cas des CMO (**composites à matrice organique**) les principales matrices utilisées sont :

II.7.1. Résines thermodurcissables :

Les résines thermodurcissables (TD) ont des propriétés mécaniques élevées. La structure des TD a la forme d'un réseau tridimensionnel, ces résines ne peuvent être mises en forme qu'une seule fois, c'est à dire polymère transformée en un produit essentiellement infusible et insoluble après traitement thermique (chaleur, radiation) ou physicochimique (catalyse, durcisseur). [20]

-les résines polyester insaturés (UP) peu onéreuses qui sont généralement utilisées avec les fibres de verre et que l'on retrouve dans de nombreuses applications de la vie courante.

-les résines époxyde (EP) qui possèdent de bonnes caractéristiques mécaniques. Elles sont généralement utilisées avec les fibres de carbone pour la réalisation de pièces de structure performantes (véhicules et voiliers de compétition, aéronautique).

-les résines vinylester sont surtout utilisées pour des applications où les résines polyester ne sont pas suffisantes. Elles sont issues d'une modification d'une résine époxyde et excellentes pour des applications de résistance chimique

-les résines phénoliques (PF) utilisées dans les applications nécessitant des propriétés de tenue aux feux et flammes imposées par les normes dans les transports civils,

-les résines polyimides thermodurcissables (PIRP) pour des applications à haute température (~300 °C) et polybismaléimides (BMI) pour des applications à température intermédiaire (~225 °C)

Dans le cas des CMC (composites à matrice céramique), la matrice peut être constituée de carbone ou de carbure de silicium. Ces matrices sont déposées soit par dépôt chimique en phase vapeur (CVD) par densification d'une préforme fibreuse, soit à partir de résines cokéifiables comme les résines phénoliques (dans le cas des matrices de carbone). [19]

II.7.2. Résines thermoplastiques :

Les résines thermoplastiques ont des propriétés mécaniques faibles. La structure des TP se présente sous forme de chaînes linéaires, ces résines sont solides et nécessitent une transformation à très haute température c'est à dire polymère pouvant être alternativement ramollie par chauffage et durci par refroidissement dans un intervalle de température spécifique du polymère.[20]

Les résines thermoplastiques comme le polypropylène, le polyamide, le polyétherimide (PEI), le poly(sulfure de phénylène) (PPS) et la poly(éther-éther-cétone de phénylène) (PEEK) pour la réalisation de pièces de structure et d'aéronautique.

- ✓ Dans le cas des CMM (**composites à matrice métallique**) le matériau composite est constitué :

d'une matrice métallique (ex. : aluminium, magnésium, zinc, nickel) ;

d'un renfort métallique ou céramique (ex. : fils d'acier, particules de SiC, carbone, alumine, poudre de diamant).

- ✓ Des charges (minérales, organiques ou métalliques) et additifs sont presque toujours incorporés à la matrice. [19]

II.8. Les principales résines utilisées comme matrice :

II.8.1. Résines thermodurcissables (TD) : [23]

Matrices TD	Masse Vol.	Module d'Young longi	Module de cisaillement	Coefficient de Poisson	Contrainte en rupture	A%	Coût en €/kg
Epoxyde	1 200 kg/m ³	4 500 MPa	1 600 MPa	0,4	130 MPa	2	5 à 15
Phénolique	1 300 kg/m ³	3 000 MPa	1 100 MPa	0,4	70 MPa	2,5	2
Polyester	1 200 kg/m ³	4 000 MPa	1 400 MPa	0,4	80 MPa	2,5	2
Vinylester	1 150 kg/m ³	3 300 MPa			75 MPa	4	3
Polycarbonate	1 200 kg/m ³	2 400 MPa		0,35	60 MPa		5
Silicone	1 100 kg/m ³	2 200 MPa		0,5	35 MPa		30
Uréthane	1 100 kg/m ³	700 à 7 000 MPa			30 MPa	100	3
Polyimide	1 400 kg/m ³	4 000 à 19 000 MPa	1 100 MPa	0,35	70 MPa	1	25

II.8.2. Résines thermoplastiques (TP) :

Matrices TP	Masse Vol.	Module d'Young longi	Module de cisaillement	Coefficient de Poisson	Contrainte en rupture	A%	Coût en €/kg
PP	900 kg/m ³	1 200 MPa		0,4	30 MPa	20-400	
PPS	1 300 kg/m ³	4 000 MPa			65 MPa	100	
PA	1 100 kg/m ³	2 000 MPa		0,35	70 MPa	200	5
PES	1 350 kg/m ³	3 000 MPa			85 MPa	60	20
PEI	1 250 kg/m ³	3 500 MPa			105 MPa	60	15
PEEK	1 300 kg/m ³	4 000 MPa			90 MPa	50	70

II.8.3. Comparaison résines thermoplastiques (TP) et thermodurcissables (TD) :

	Thermoplastiques	Thermodurcissables
Etat de base	Solide - Prête à l'emploi	Liquide visqueux
Stockage	Illimité	Réduit (précautions à prendre)
Mouillabilité des renforts	Difficile	Facile
Moulage	Chauffage + refroidissement	Chauffage continu
Cycle	Court	Long (x2) (polymérisation)
Tenue au choc	Assez bonne	Limitée
Tenue thermique	Réduite (<130°C)	Meilleure (>150°C)
Chutes et déchets	Recyclable	Perdus ou utilisés comme charges après broyage
Conditions de travail	Propreté	Émanation de COV

II.9. Matières premières utilisées :

Les fibres se classent en deux catégories principales : les fibres synthétiques (carbone, verre, basalte, aramide) et les fibres naturelles d'origine végétale (bois, lin, chanvre, sisal...) ou animale (soie, laine, poils) Ces fibres végétales peuvent provenir du bois, de tiges (lin, jute, chanvre, kenaf, ramie), de feuilles (sisal, ananas, banane, palme), de fruits (coton, coco) ou d'herbes (bambou, riz). Les fibres les plus largement utilisés sont les fibres de bois, le lin et le chanvre. Au niveau des matrices, en plus de plastiques pétrochimiques communs tels que PE, PP et PVC, une série de bio-polymères sont de plus en plus utilisés comme le bio-PE, PLA, PBS, PHA ou PBS. Ci-dessous, une liste non exhaustive d'exemples de fibres végétales et de matrices biosourcées, utilisées dans les biocomposites : [18]

Fibres végétales					Matrices biosourcées	
Bois	Tige	Feuille	Fruit	Herbe	Thermoplastiques	Thermodurcissables
Bois	Lin	Sisal	Coton	Bambou	Amidon	Epoxy
Cellulose	Chanvre	Ananas	Coco	Riz	Polyamide (PA)	Furanes
	Jute	Banane		Miscanthus	Polyéthylène biosourcé (Bio-PE)	Acrylates
	Kenaf	Palme			Acide polylactique (PLA)	Polyuréthane
	Ramie				Polyhydroxycanoate (PHA)	
					Polybutylène succinate (PBS)	

Figure II.6 : Exemples sur fibres végétales et matrices biosourcés. [18]

II.10. Avantage :

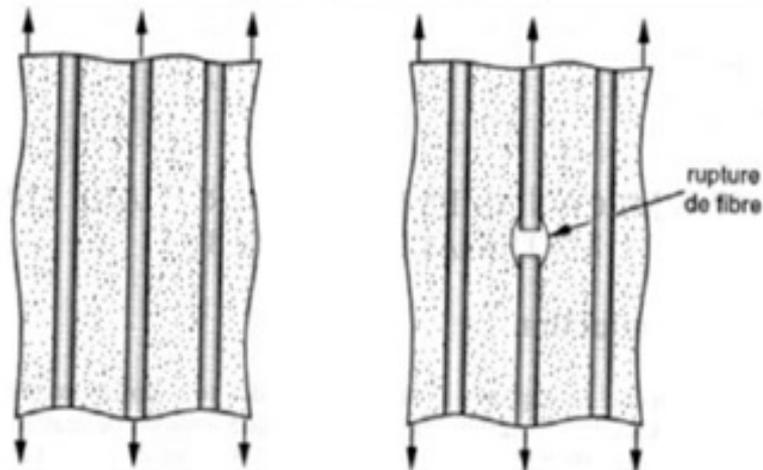
- Matériau entièrement biodégradable, à faible impact écologique
- Réduction des coûts de production (augmentation des prix du pétrole)
- Propriétés mécaniques supérieures à celles des composites classiques
- Très bonne résistance au feu. [16]

II.11. Atouts des biocomposites :

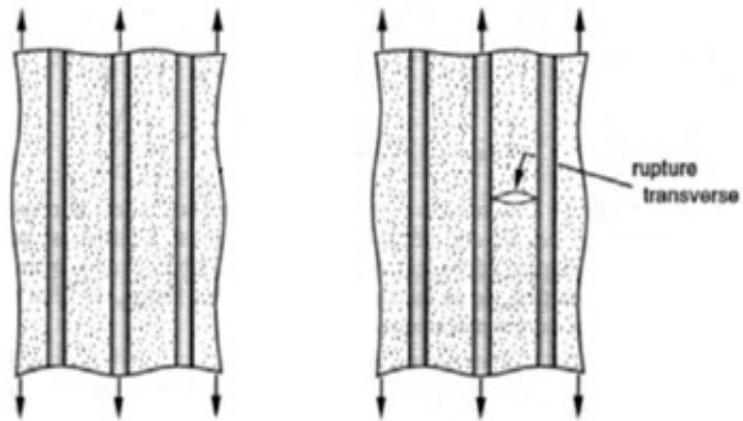
- Propriétés mécaniques
- Performance mécanique
- rigidité moyenne-élevée et excellente résistance aux chocs Propriétés de déformation
- Respect de l'environnement
- Utilisation de ressources naturelles et locale.
- Réduction de l'empreinte carbone et Réduction de la toxicité des matériaux
- Fin de vie (biodégradabilité / recyclabilité)
- Fabrication Excellente thermo-formabilité
- Réduction des coûts énergétiques de production Réduction des coûts
- Esthétique. [17]

II.12. Rupture d'un matériau composite :

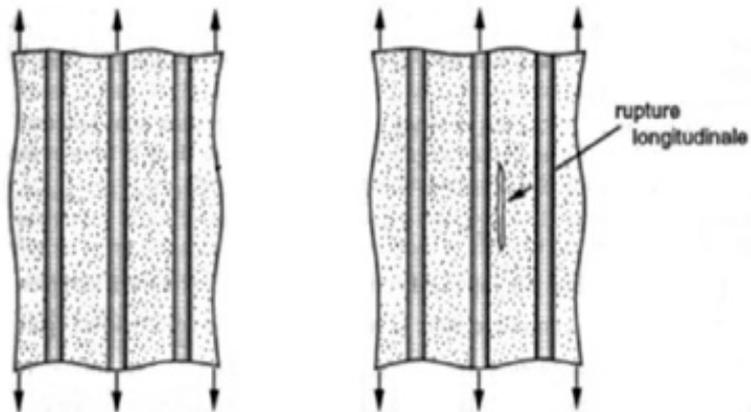
- Traction longitudinale : rupture des fibres. [23]



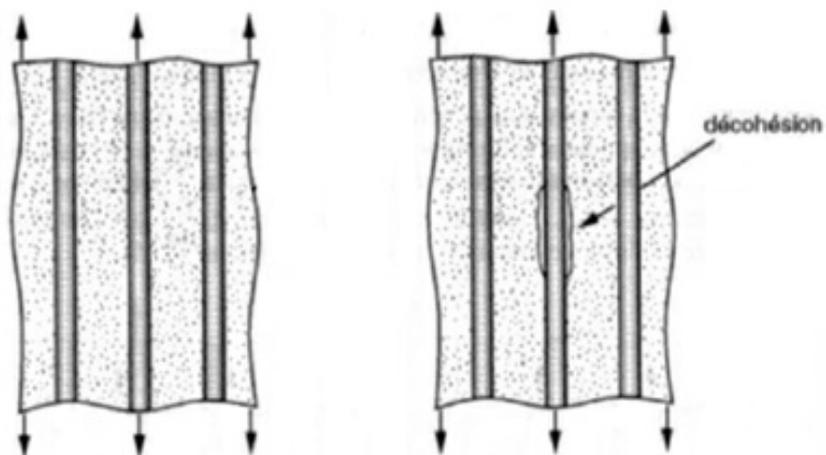
- Traction longitudinale : rupture transversale de la matrice.



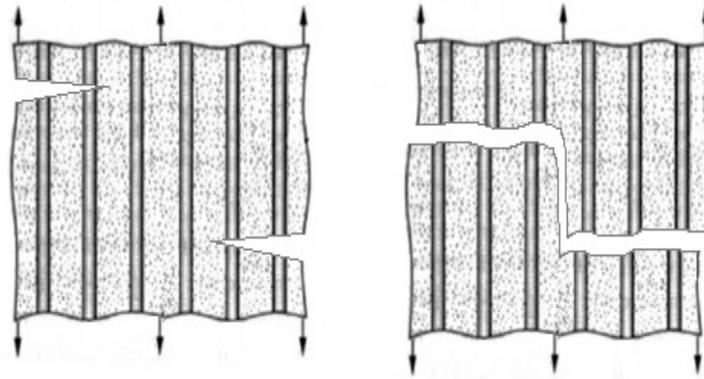
- Traction longitudinale : rupture longitudinale de la matrice.



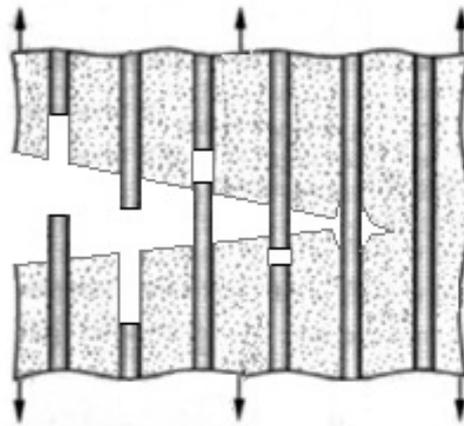
- Traction longitudinale : rupture de l'interface fibre-matrice (décohésion).



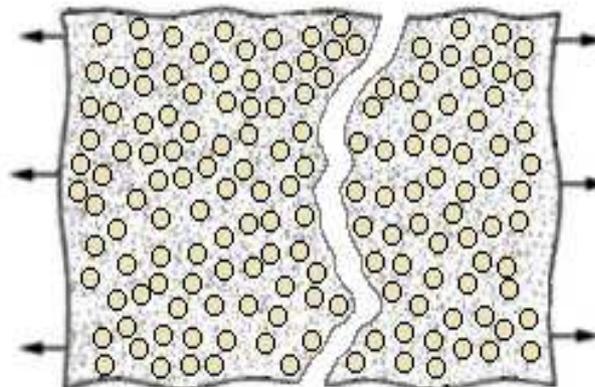
- Traction longitudinale : propagation de fissures.



➤ Traction longitudinale : déchaussement.



➤ Traction transversale : coalescence de fissures (conjonction de plusieurs micro fissures en une seule fissure).



II.13. Applications industrielles :

- Production de panneaux industriels
- Fabrication de meubles
- Bâtiment et construction
- Industrie automobile, nautique et aéronautique
- Sports et loisirs, pièces d'équipements. [16]

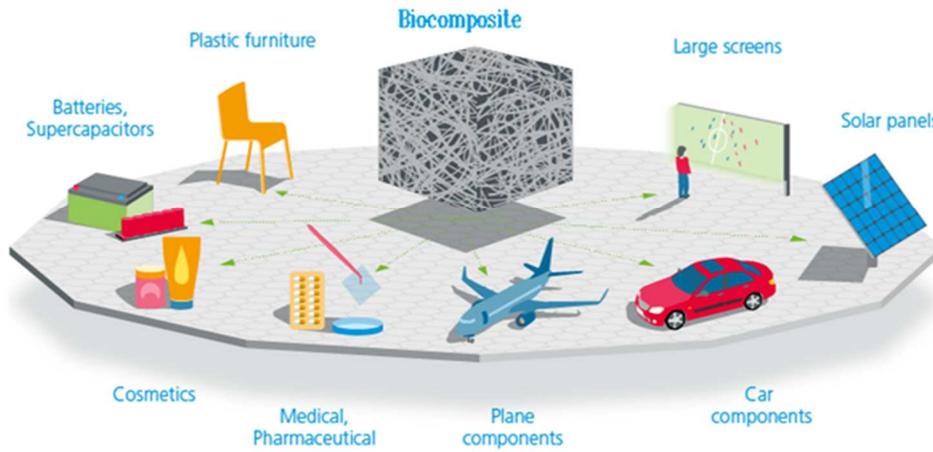


Figure II.7 : Quelques exemples pour Applications des biocomposites. [16]

III. Matériaux et techniques expérimentales

III.1 Introduction :

Dans le présent chapitre nous allons détailler le procédé utilisé pour la préparation des composites à base d'amidon artificiel renforcés par une charge minérale (Carbonate de calcium CaCO_3). Les techniques de caractérisations structurales et des principales propriétés des films obtenus ont été expliquées. [25]

III. 2. Matériels et méthodes:

III.2.1 Amidon :

L'amidon de pomme de terre artificiel utilisé pour la préparation de la matrice thermoplastique et ses différents films composites obtenu chez VWR CHIMICALS PROLABO Batch : 14K030033/ Product 21152.291.



Figure III.1 : Amidon utilisé dans ce travail.

La Figure III.2 montre les grains d'amidon observés par microscopie optique polarisée, ses grains sont de taille d'environ $30\ \mu\text{m}$ synonyme du fait que ces grains soient semi cristallins. [25]

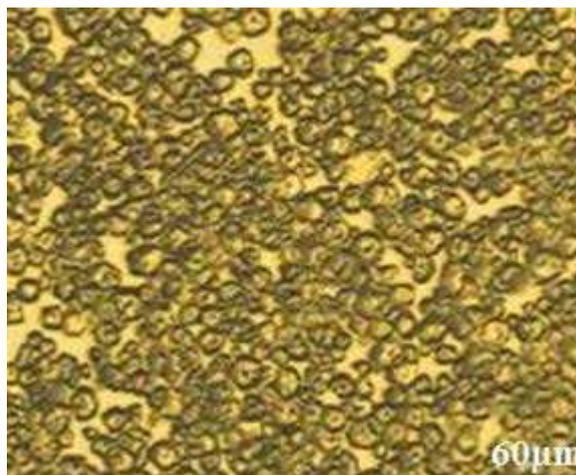


Figure III.2 : Observation au microscope optique de grains d'amidon. [25]

-Le tableau suivant montre les spécifications et les valeurs des additifs dans l'amidon utilisés :

Tableau III.1 : Analyse de certificat. [26]

Caractéristiques	Spécifications	Measured values
Eua	Max. 20,5 %	Max. 20,5 %
Fe (fer)	Max. 10 ppm	Max. 10 ppm
Po (Plomb)	Max. 0,1 ppm	Max. 0,1 ppm

a. L'amylopectine :

Est un polymère d'oses ramifié (polyoside) que l'on trouve dans les plantes. Il est constitué d' α -D-glucopyranose et est avec l'amylose le constituant de l'amidon.

Les glucoses sont liés de manière linéaire par des liaisons alpha 1→4. Des ramifications apparaissent avec une liaison alpha 1→6 tous les 24 à 30 monosaccharides. [27]

b. Amylose :

L'amylose est un polymère non-ramifié plus précisément un polyoside de glucose. Cette molécule n'est pas linéaire mais s'organise en hélice α , chaque tour de spire est composé de 8 résidus de sucre au maximum. Il est avec l'amylopectine le principal constituant de l'amidon. [28]

III.2. 2. Glycérol :

Dans cette étude, Le glycérol servir de plastifiant Il a été obtenu chez VWR PROLABO. C'est un liquide visqueux transparent et soluble dans l'eau Il n'interagit pas chimiquement avec la matrice dans laquelle il est dispersé. Il permet simplement d'augmenter le volume libre entre deux chaînes de polymères pour en diminuer les interactions et ainsi favoriser le mouvement de l'une par rapport à l'autre. La présence de ce plastifiant permet de diminuer le chauffage car le plastifiant a déjà introduit du volume libre entre les chaînes. On passe donc d'un matériau rigide à un plastique. Le film fabriqué sera ainsi plus résistant à la tension et à la flexion. De plus, l'ajout de glycérol rend le film plastique transparent [29].

Tableau III. 2 : Les propriétés du glycérol utilisateur. [29]

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'éclair. 177°C

III. 2. 3. Acide chlorhydrique :

L'acide chlorhydrique obtenu de VWR chez de concentration 30%. L'HCl sert à favoriser la déstructuration du grain d'amidon par un phénomène d'hydrolyse ménagée. On favorise alors la séparation amylose/amylopectine et le passage de l'amylose en solution. Un amidon déstructuré est tout simplement un amidon qui ne se trouve plus sous sa forme originelle de grain les polymères le constituant (amylose et amylopectine) sont dispersés. Chimiquement il n'y a aucune différence (les chaînes de glucose sont juste un peu plus court à cause de l'acide).

Tableau III. 3 : Les propriétés de l'acide chlorhydrique Utilisés. [26]

Produits	Propriétés
Acide chlorhydrique	Formule: HCl Poids,moléculaire: 36,46g/mol Point d'ébullition: 110 °C (1013 hPa) Point de, fusion: -30 °C Densité: 1,18 g/cm ³ (20 °C) Température de stockage: ambient

III. 2. 4. Hydroxyde de sodium (NaOH) :

L'hydroxyde de sodium (NaOH) sert à diminuer la viscosité du mélange et de neutraliser ce dernier après l'ajout de HCl. Nous avons utilisé deux types d'hydroxyde de sodium. Le premier a été obtenu auprès de BIOCHEM CHEMOPHARMA (du laboratoire) et la deuxième (de l'extérieur du laboratoire).

III.2.5 Carbonate de calcium utilisé (CaCO₃) :

Deux types de carbonate de calcium ont été utilisés (carbonate de calcium traité et non traité)

**Figure III. 3:** Carbonate de calcium traité superficiellement et non traité.

III. 3. Préparation des films d'amidon:

Les films de bioplastiques à base de l'amidon artificiel ont été préparés par moulage par coulée (casting), la technique la plus utilisée à l'échelle du laboratoire, en utilisant des suspensions d'amidon artificiel d'eau distillée et de plastifiant (le glycérol).

III. 3. 1. Préparation d'un film bioplastique sans charge (CaCO_3):

Nous avons d'abord préparé un film bioplastique sans charge (CaCO_3) minéral.

L'amidon artificiel (2.5g) a été dispersé dans de l'eau distillée (20ml)



Figure III. 4 : Les étapes de la préparation du film bioplastique.

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



Figure III. 5 : Ajouter du glycérol et du HCl.

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.8.



Figure III. 6 : 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.

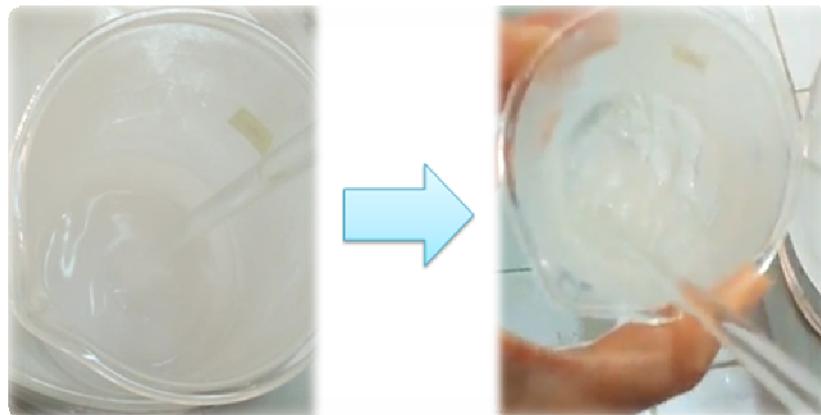


Figure III. 7 : Mélange est devenu gel.

On a ajouté 1 ml d'hydroxyde de sodium NaOH (0,1 ml / L) pour réduire la viscosité du mélange. En suite on a vidé et distribué le mélange dans une plaque de verre (boite pétri).



Figure III. 8 : biopolymère synthétisé avant séchage

Ensuite on a séché les films sous une température de 90à100 ° C pendant 1 heure à laide d'un étuve (cette étape élimine l'excès d'eau des gels).

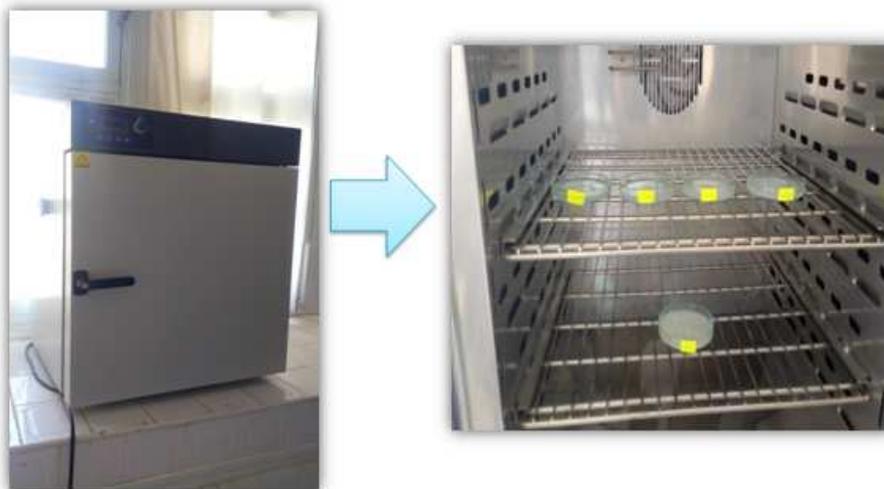


Figure III. 9 : Films bioplastiques dans four pour le séchage de l'eau.

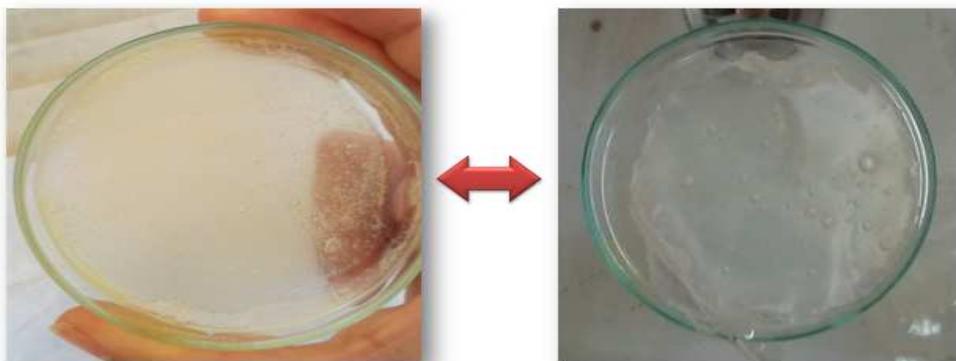


Figure III. 10 : Film bioplastique sans charge minérale après le séchage.

III.3.2. Préparation d'un film bioplastique renforcé par le carbonate de calcium (CaCO_3) :

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 du CaCO_3 traité et non traité superficiellement ont été incorporé après l'ajoute de glycérol. L'adition du carbonate de calcium correspondante au taux (1, 2, 3, 4 et 5% en poids). Différents biocomposites réalisées dans ce travail sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau III. 4 : Différents biocomposites préparés

	CaCO3 Traité (g)	CaCO3 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
2%	0.05g	0.05g	2.5g	20 ml	2ml	3ml	1ml
3%	0.075g	0.075g	2.5g	20 ml	2ml	3ml	1ml
4%	0.1g	0.1g	2.5g	20 ml	2ml	3ml	1ml
5%	0.125g	0.125g	2.5g	20 ml	2ml	3ml	1ml

III.3.2.1. Préparation des films à base de amidon/ CaCO_3 :

Après avoir pris les quantités de la charge, ils ont été dissous dans de l'eau distillée 20 ml avec l'agitation pendant 45 minutes pour l'obtention d'une bonne distribution de cette charge minérale dans les films bioplastiques.



Figure III.11 : Préparation d'une solution de CaCO_3 /eau distillé

-Après 45 minutes d'agitation de CaCO_3 on a ajouté cette solution au mélange (amidon / glycérol / HCl / NaOH)



Figure III. 12 : Préparation des films bioplastiques amidon / CaCO_3

Après la préparation des composites à base de Amidon/ CaCO_3 (on a suivi les mêmes étapes qu'on a utilisés pour préparer des films de l'amidon sans charge) et la figure ci-dessous montre les différents films obtenus



Figure III. 13 : Biopolymères à base de l'amidon/ CaCO_3 obtenus.

III.4. Technique de caractérisation :

III.4.1 Etude structural :

III.4.1.1 spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (FTIR) :

La spectroscopie moyenne infrarouge est beaucoup utilisée pour l'étude de la structure des molécules pour des applications chimiques. La technique était limitée essentiellement par la lenteur d'acquisition des spectres car la séparation des longueurs d'onde était réalisée séquentiellement par un monochromateur dispersif (prisme ou réseau) [30].



Figure II. 14 : Appareil FT-IR.

III.4.1.2. Principe :

Un spectromètre IRTF comporte essentiellement cinq parties :

- Une source lumineuse
- Un dispositif permettant de générer les interférences : l'interféromètre.
- Un compartiment échantillon qui permet d'accueillir plusieurs types d'accessoires dépendant de la technique spectroscopique employée et le mode de mesures utilisé (réflexion ou transmission).
- Un détecteur ou capteur photosensible : le spectromètre IRTF peut comporter un ou plusieurs détecteurs. [30]
- Enfin, le convertisseur analogique numérique qui interroge le détecteur à des intervalles réguliers et transforme le signal analogique en un signal numérique manipulable par le système informatique. [30]

L'analyse a été réalisée sur la matrice à base d'amidon artificielle et ses composites renforcés par une charge minérale. Les groupements fonctionnels présents dans ces nouvelles compositions par rapport à la matrice seront étudiés. [30]

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

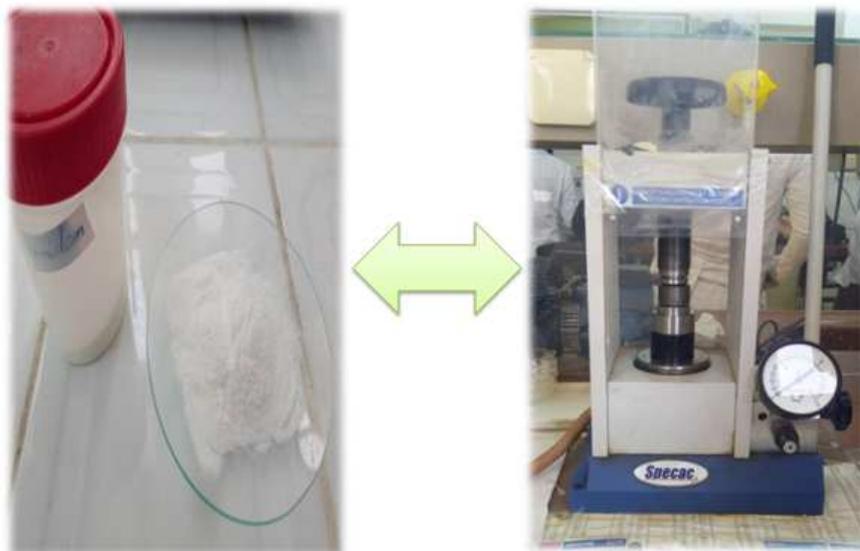


Figure III.15 : Presse hydraulique pour préparer des pastilles.

III .4. 2. Test de gonflement :

Dans cette partie, nous nous intéressons à l'étude de gonflement des films préparés dans l'eau distillée. Pour cette raison, Premièrement, des échantillons de composite (films à base de l'amidon sans et avec charge minéral) d'environ 30 mm de longueur et de section carrée de 1.5 mm de côté ont été découpées. Ces lamelles ont ensuite été placées dans des tubes à assai qui ont été remplis par l'eau distillée. Les tubes contenant les films et l'eau ont été laissé à la température ambiante est contrôlée précisément chaque jour. Ensuite on a pesé les échantillons chaque 24 heures et noté le taux de gonflement



Figure III.16: Processus de gonflement.

III.4.3. Test de vieillissement naturel :

Le vieillissement naturel des polymères est un processus très complexe et influencé par plusieurs éléments : la température, l'humidité, l'énergie de solaire, les pluies et les polluants atmosphériques... Parmi ces paramètres, l'humidité et l'énergie de solaire (principalement le rayonnement ultraviolet) sont les deux éléments importants au cours du vieillissement naturel. [31]

Le test de vieillissement naturel a été fait comme suit :

Les films de l'amidon renforcé et non renforcé par le carbonate calcium ont été laissée à l'aire libre pendant un mois et demi et chaque une semaine on a pesé les films et prendre des photos pour chaque échantillon.

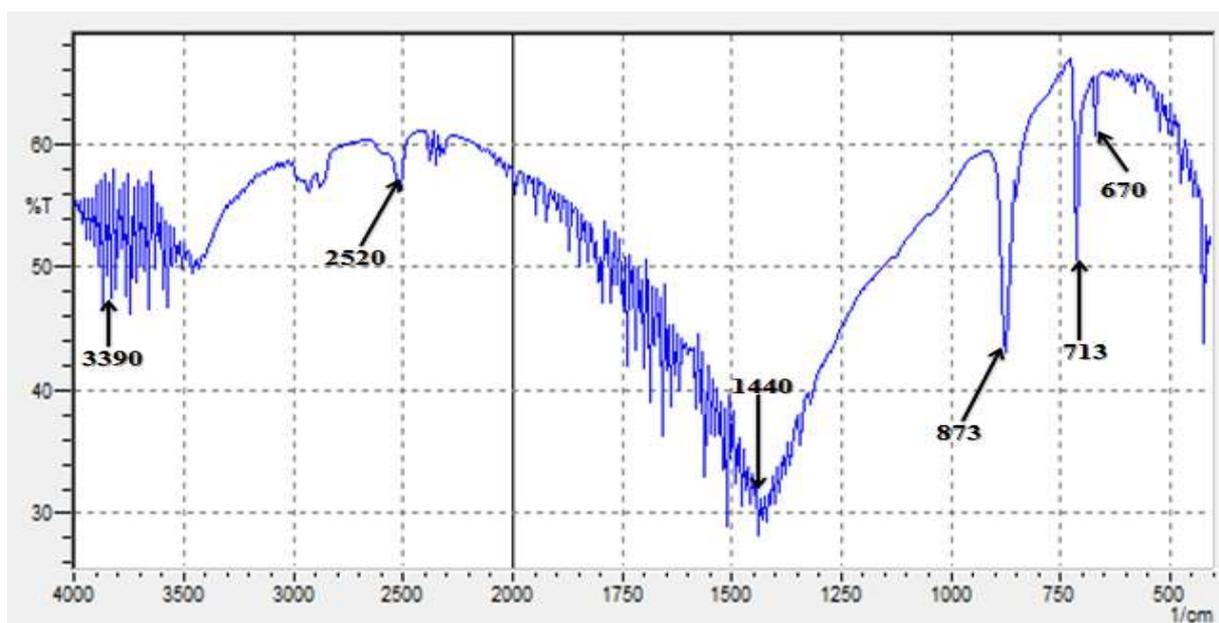


Figure IV.3 : Spectre FT-IR de CaCO₃ poudre superficiellement non traité.

La Figure IV.4 montre le spectre d'infrarouge de l'amidon pur. Le Tableau IV.1 montre clairement les différentes fonctions dans l'amidon pur.

Tableau IV.1 : Attribution des principales bandes observées sur le spectre IR pour les composites amidons purs.

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

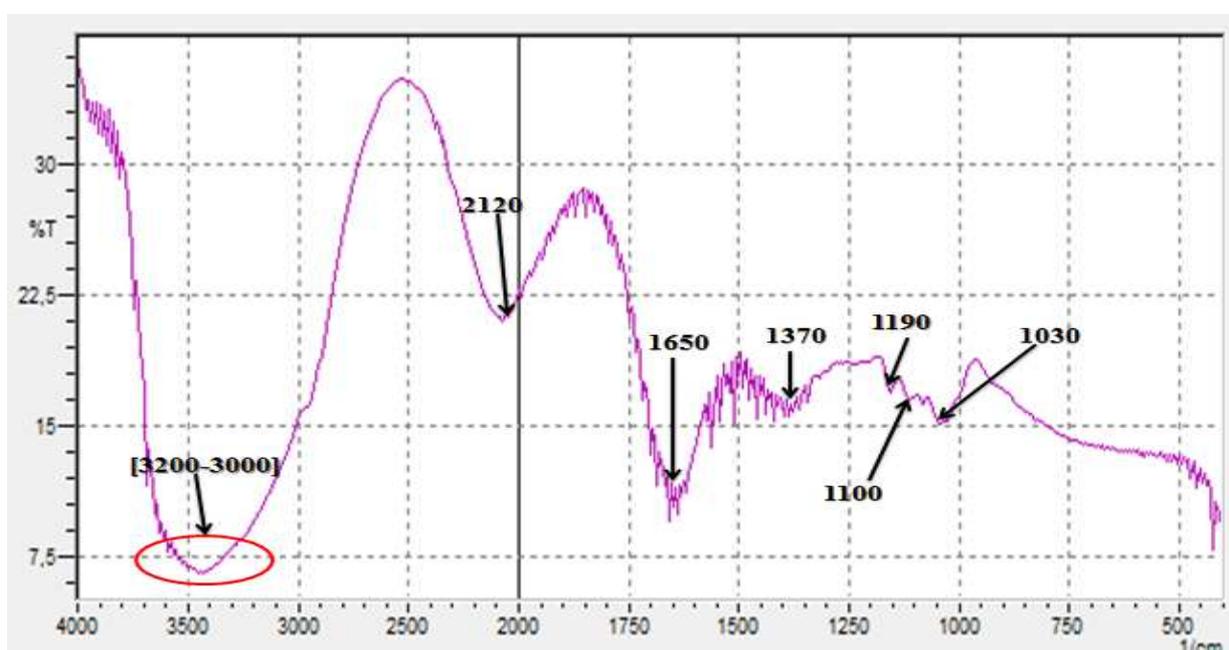


Figure IV.4 : Spectre FT-IR d'un bioplastique à base d'amidon sans CaCO₃.

Pour les Figures IV.5 et IV.6 montrent les spectres d'infrarouge de biopolymère préparé à base de l'amidon et renforcé par le carbonate de calcium non traité et superficiellement traité. Lorsqu' on compare ces spectres 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 carbonate de calcium et l'amidon (les fonctions OH à la surface de CaCO₃ peuvent être réagit avec l'amidon).

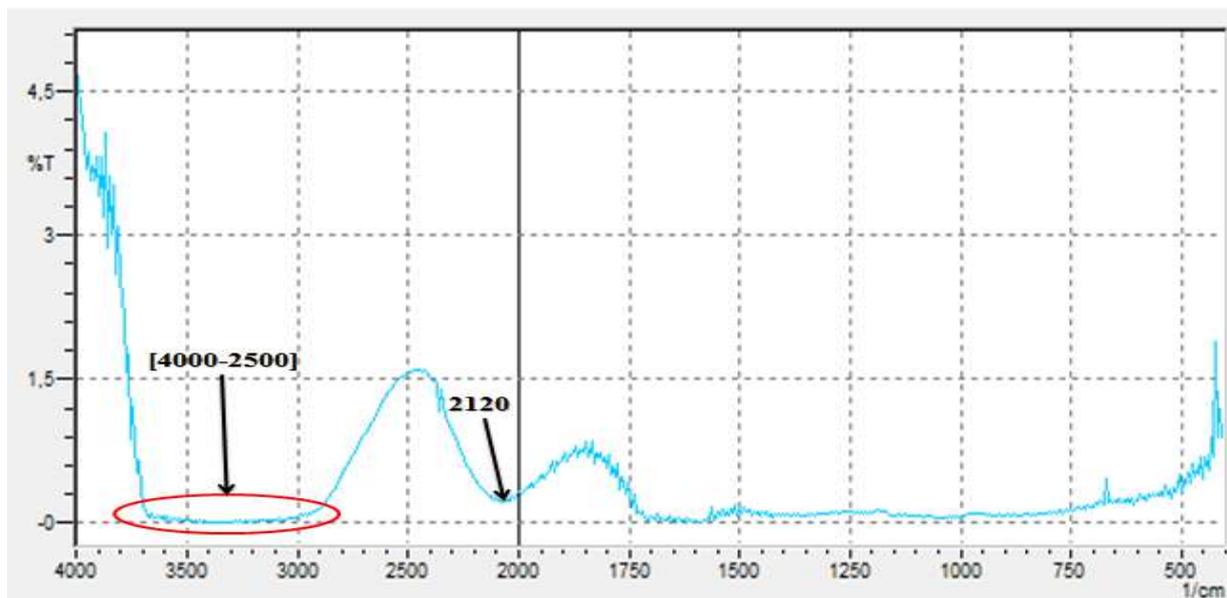


Figure IV.5 : Spectre FT-IR de la matrice bioplastique à base d'amidon et 5% de CaCO_3 non traité

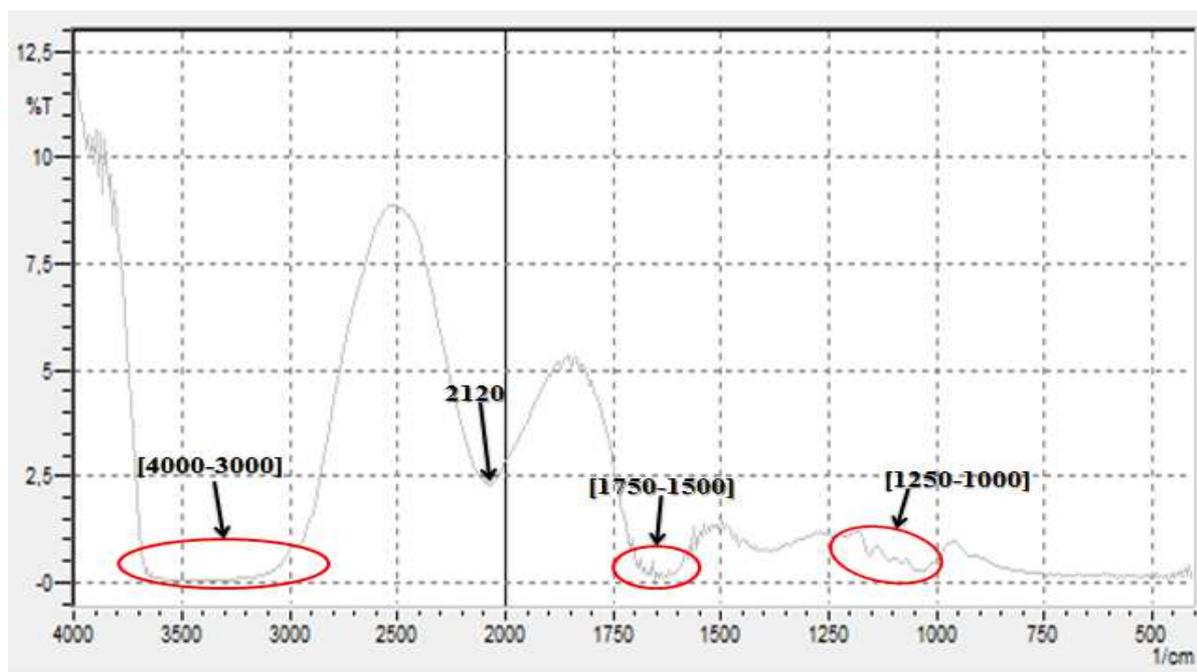


Figure IV.6 : Spectre FT-IR de bioplastique à base d'amidon et 5% de CaCO_3 traité.

IV.2. Etude de dégradation :

IV.2.1 Etude de vieillissement naturel :

❖ Remarque :

Le signe (+) indique que l'échantillon contient le CaCO_3 superficiellement traité

Le signe (-) indique que l'échantillon contient le CaCO_3 non traité.

Le signe (X) signifie que l'échantillon est à base d'amidon seul (sans CaCO_3).

L'objectif de ce test est d'étudier la dégradation des bioplastiques 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 et IV.9. On constate que :

- la dégradation des films des deux premières semaines est très lente en fonction du temps de l'exposition à l'aire libre où les films ne perdent ni leurs couleur ni leurs formes. On observe aussi qu'il n'y a aucune dégradation pour les échantillons qui ont été renforcés par le carbonate de calcium soit traité ou non traité
- Après un mois on note que les signes de dégradation apparaissent (déformation et l'apparition de la couleur marron) presque dans tous les échantillons qui ont été renforcés par la carbonate de calcium non traité ; mais pour les échantillons à base d'amidon/ CaCO_3 traité on remarque que leurs couleur deviennent jaune et gardent un peut sa forme initiale ce qui permet de dire que l'incorporation de carbonate de calcium traité diminue la vitesse da dégradation de ce biopolymères.
- Après un mois et demi on ne constate que la vitesse de dégradation augment d'une façon remarquable pour les échantillons amidon/ CaCO_3 non traité.



Figure IV.7 : Deux premières semaines

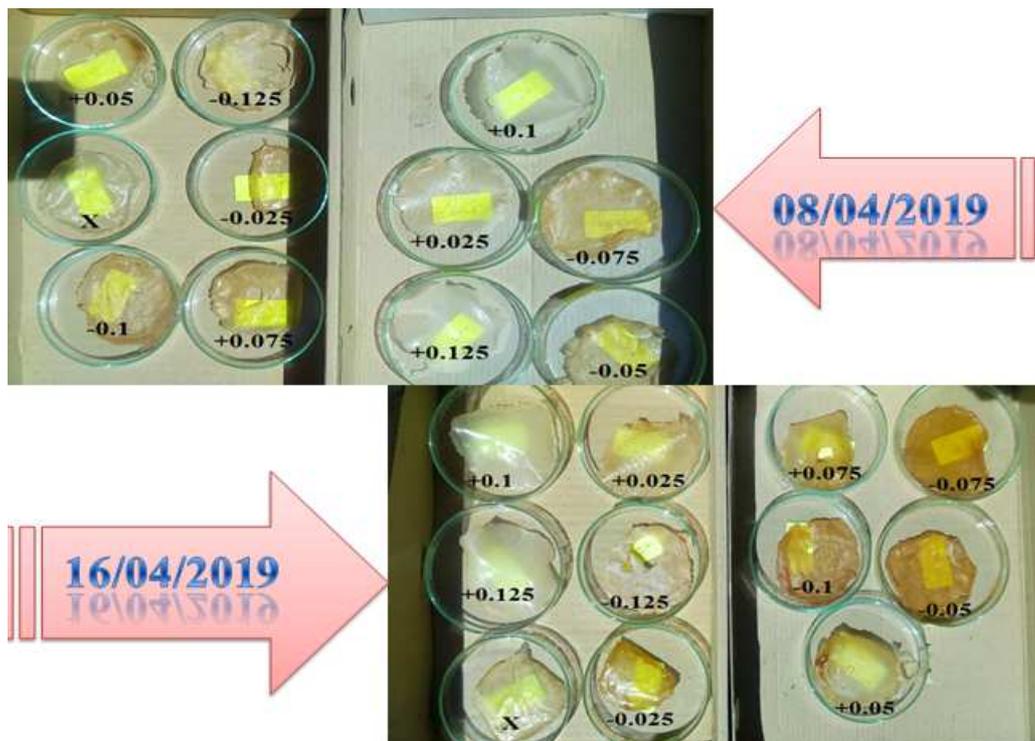


Figure IV.8 : Echantillons exposé à l'aire libre (vieillesse naturelle) pendant un mois.



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

On a pesé les échantillons chaque semaine et les résultats ont été rassemblés au Tableau IV.2 et les figures IV.10 et IV.11 On observe que la perte de masse augmente dans les échantillons qui ont été renforcés par le carbonate de calcium non traité et superficiellement traité. On remarque aussi que la perte de masse des échantillons augmente avec l'augmentation de taux de la charge dans la matrice de l'amidon ce qui permet de dire que l'augmentation de taux de la charge favorise la dégradation naturelle.

Tableau IV.2 : Masse des échantillons avant et après vieillissement naturel.

	quantité de CaCO_3	Avant vieillissement naturel	Après vieillissement naturel					
			1 ^{ère} semaine	2 ^{ème} semaine	3 ^{ème} semaine	4 ^{ème} semaine	5 ^{ème} semaine	6 ^{ème} semaine
CaCO ₃ traités	+0.025	3.0990	2.79	2.75	2.50	2.45	2.39	2.33
	+0.05	3.9004	3.16	3.00	2.95	2.77	2.70	2.68
	+0.075	3.20	2.74	2.63	2.50	2.47	2.40	2.37
	+0.1	4.37	3.21	2.34	2.25	2.18	2.11	2.09
	+0.125	3.35	2.84	2.55	2.42	2.31	2.26	2.00
CaCO ₃ non traités	-0.025	3.97	2.79	2.65	2.51	2.40	2.32	2.21
	-0.05	4.67	3.18	2.81	2.78	2.65	2.55	2.43
	-0.075	4.32	3.34	3.18	3.09	2.88	2.79	2.67
	-0.1	2.68	2.33	2.27	2.22	2.15	2.08	2.00
	-0.125	2.77	2.53	2.39	2.26	2.19	2.10	2.02
Échantillon Sans CaCO ₃ (X)		2.87	2.70	2.66	2.44	2.38	2.23	2.20

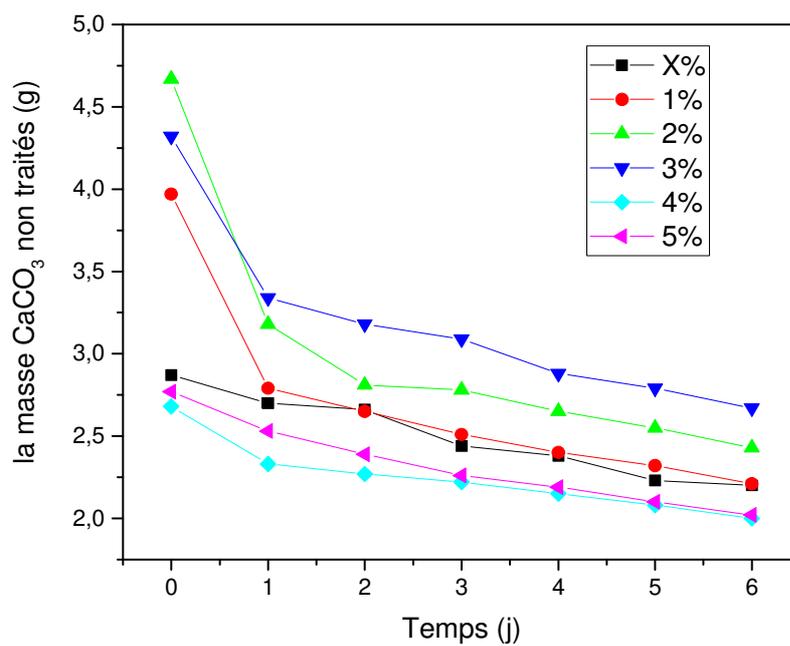


Figure IV.10 : Variation de la masse des échantillons amidon/ CaCO₃ non traité en fonction de temps de vieillissement.

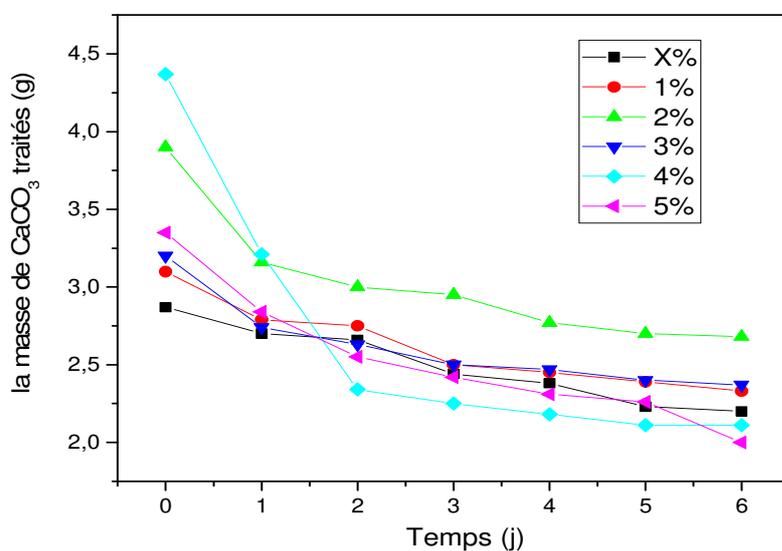


Figure IV.11 : Variation de la masse des échantillons amidon/ CaCO₃ traité en fonction de temps de vieillissement

IV.3. Test de gonflement :

Les résultats de test de gonflement sont rassemblés dans le tableau IV.3 et la figure IV.12 et figure IV.13

Tableau IV.3 : Tableau montrant les masses prélevées pour différents échantillons dans le test de gonflement.

	quantité de CaCO ₃	Avant gonflement	Après gonflement					
			1	2	3	4	5	6
CaCO ₃ traités	+0.025	0.445	0.72	0.737	0.7508	0.739	0.734	0.720
	+0.05	0.401	0.697	0.692	0.689	0.685	0.681	0.661
	+0.075	0.513	0.922	0.884	0.873	0.897	0.857	0.840
	+0.1	0.440	1.033	0.991	0.947	-	-	-
	+0.125	0.534	1.808	-	-	-	-	-
CaCO ₃ non traités	-0.025	0.594	0.890	0.910	0.855	0.9100	0.890	0.822
	-0.05	0.446	1.395	-	-	-	-	-
	-0.075	0.373	1.057	-	-	-	-	-
	-0.1	0.514	0.917	0.882	0.876	0.834	0.878	0.784
	-0.125	0.405	0.906	0.940	0.966	0.867	-	-
(X) Échantillon sans CaCO ₃		0.553	1.008	1.006	1.005	0.957	0.977	0.977

Les résultats de test de gonflement sont montrés dans la figure IV.12 et IV.13 On remarque que le gonflement augmente dans le premiers jour du test ensuite on remarque que le gonflement des échantillons augmente d'une façon remarquable en fonction du temps (surtout dans les échantillons de l'amidon/ CaCO₃ non traité .cette remarque montre que l'absorption de l'eau par ce bioplastique augmente jusqu'à la déformation des échantillons. On observe aussi que le gonflement diminue dans les composites amidon/CaCO₃ traité, cette diminution est peut être due à la formation des liaisons rigides entre la matrice d'amidon et le carbonate de calcium superficiellement traité où ces liaisons peuvent rendre le bioplastique imperméable.

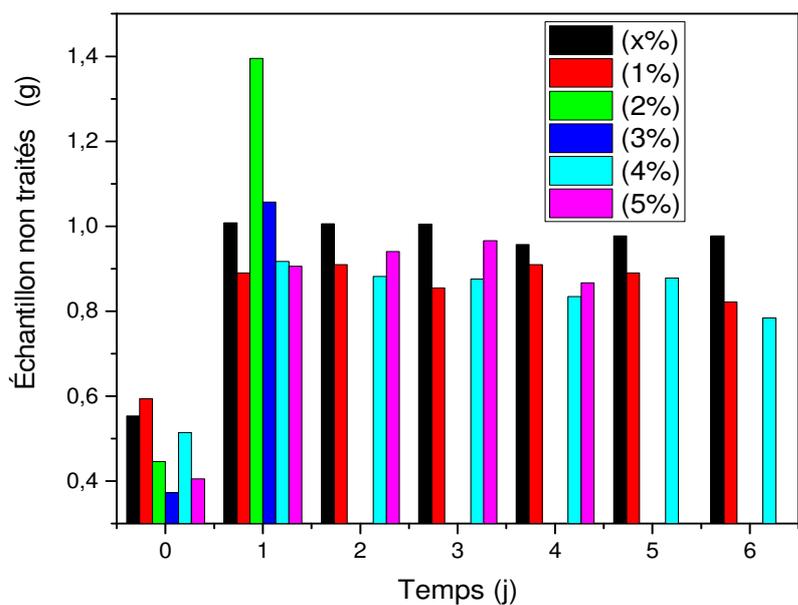
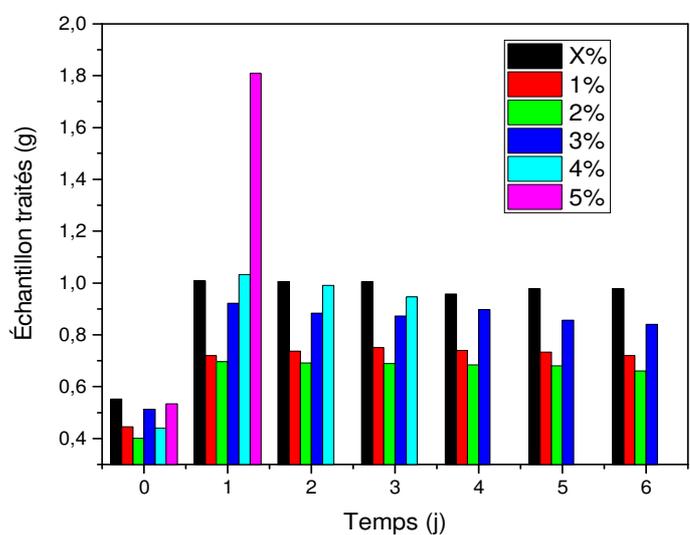


Figure IV.12 : Histogramme montre le test de gonflement des échantillons amidon/ CaCO₃ non traité



Figures .IV.13: Histogramme de test de gonflement des biopolymères à base d'amidon / CaCO₃ traité

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif principal de ce mémoire est synthétisé un biopolymère à base d'amidon renforcé par une charge minéral (carbonate de calcium non traité et superficiellement traité)

Pour atteindre cette objectif on a fait une petite synthèse bibliographique où on a s'intéressé à connaître les biopolymère et synthétiques et leurs propriétés et faire une étude des biopolymère puis en a entamé la partie expérimentale qui décrit les méthodes utilisées et expose les résultats obtenus.

Les résultats obtenus permettent de tirer la conclusion suivante :

1. L'étude structurale des différents composites obtenus à base d'amidon/ CaCO_3 montre clairement que l'incorporation de carbonate de calcium superficiellement traité favorise les interaction entre la matrice d'amidon et les particules de la charge (carbonate de calcium)
2. Le test de vieillissement naturel permet de dire que l'addition de carbonate de calcium traité dans la matrice de l'amidon diminue la vitesse de dégradation de bioplastique synthétisé et augmente la résistance au vieillissement de la matrice de l'amidon
3. Les résultats de teste de gonflement montrent que l'absorption de l'eau distillé par le biopolymère réalisé est augmente dans les échantillons non renforcé et renforcé par le carbonate de calcium non traité par contre on a trouvé que l'absorption de l'eau est diminuée dans composites amidon/ CaCO_3 traité. Cette diminution est peut être expliqué par l'augmentation des interactions entre la matrice d'amidon et les particules de la charge où ce biopolymère devient imperméable .

Conclusion générale

4. On a trouvé aussi que l'augmentation de taux de la charge dans la matrice d'amidon (plus de 4%) favorise la dégradation de ce biopolymère et influe négativement sur la résistance au vieillissement.

D'après ces résultats on peut conclure que chaque biopolymère possède des propriétés importantes qui leur donnent un grand intérêt industriel ; en outre ces propriétés peuvent être encore améliorées par leur mélange pour l'obtention de matériaux de meilleure qualité.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] :Université m'hamed bougara-boumerdes. Faculté des Sciences de l'Ingénieur mémoire de magister/présenté par :badaoui fouziaen vue de l'obtention du diplôme de magister en : Filière : Génie des polymères Option : Chimie Physique des polymères titre du memoire Comportement rhéologique de solutions de biopolymères. Application au Chitosane, au Poly (vinyle alcool) et à leurs mélanges 17-11 2018/23 :22
- [2] :[En ligne];disponible sur le site:<http://hmf.enseiht.fr/travaux/bei/beiere/book/export/html/2116>
- [3] :[En ligne]; disponible sur le site: <https://docplayer.fr/13274013-bioplastiques-les-vegetaux-biodegradables-avec-le-soutien-d-intercereales.html>
- [4] :l'amidon et le pla : deux biopolymères sur le marché note de synthèse 28 janvier 2011/jean-luc wertz ; document valbiom/25-12-2018/14 :38
- [5] : Les bioplastiques : une solution pour les entreprises ? mardi 14 juin 2011, de 9h30 à 10h30/ agrion paris, 10 rue mercoeur, 75011 paris - france tel : (+33) 1.48.00.00.25 - fax : (+33) 1.48.01.66.05 - www.agrion.org 25/12/2018
- [6] :[En ligne];disponible sur le site:<http://cerig.pagora.grenoble.inp.fr/note/2010/bio-materiau.htm> 18:38 25-12-2018
- [7] :[En ligne]; disponible sur le site :https://en.wikipedia.org/wiki/polylactic_acid
- [8] :[En ligne];disponible sur le site:<https://fr.wikipedia.org/wiki/polyhydroxyalcanoat>
- [9] : Bioplastiques biodégradables, compostables et biosourcés pour les emballages alimentaires, distinctions subtiles maissignificatives :Par Richard Lapointe Essai présenté au centre universitaire de formation en environnement en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (m. env.) sous la direction de dr islem yezza centre universitaire de formation en environnement université de sherbrooke sherbrooke, québec, canada, 6 septembre 2012 /13-10-2018 /02 :19

Références Bibliographiques

- [10] : Les bio-polymères fondation tuck 29/60/2015
- [11] :[En ligne]; disponible sur le site :<https://icpees.unistra.fr/ingenierie-des-polymeres/polymeres-biosources-etou-biodegradables-pour-lenvironnement-et-la-sante/>
- [12] :[En ligne]; disponible sur le site :<https://france.sumitomo-shi-demag.eu/technologies/biopolymeres.html>
- [13] :[En ligne]; disponible sur le site: <http://le-bioplastique.e-monsite.com/pages/i-la-synthese-des-bioplastiques.html>
- [14] :[En ligne];disponible sur le site:https://fr.wikipedia.org/wiki/Mat%C3%A9riau_composite
- [15] :[En ligne]; disponible sur le site: <https://www.mecastyle.com/calcul-de-structure-materiau-composite>
- [16]- université de lorraine. didier humbert ingénieur valorisation sciences de l'ingénieur et tic.didier.humbert@univ-lorraine.fr
- [17] : [En ligne]; disponible sur le site: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Biocomposite>
11:59 17/03/2019
- [18] :[En ligne];disponible sur le site:<https://valbiomag.labiomasseenwallonie.be/news/biocomposites-un-marche-en-developpement>
- [19] :[En ligne];disponible sur le site:https://fr.wikipedia.org/wiki/mat%C3%A9riau_composite#matrices
- [20] : Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de master :filière génie des procédésoption : génie des polymères. thème :etude des biocomposites à base de polymère biosourcé phbv et fibres alfa. benakli imène et hamani fazia.
- [21] :[En ligne];disponible sur le site:https://forums.futura_sciences.com/biologie/25173-matiere-organique-matiere-minerale.html
- [22] :[En ligne];disponible sur le site:[https://fr.wikipedia.org/wiki/r%C3%A9sine_\(constituant\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/r%C3%A9sine_(constituant))

Références Bibliographiques

- [23] : [En ligne]; disponible sur le site: <https://www.mecastyle.com/calcul-de-structure-materiau-composite>
- [24] : [En ligne]; disponible sur le site: <http://www.organoclick.com/products/fiber-composites-paper-products/>
- [25] : these de doctorat : ecole doctorale 104 ; sciences de la matière, du rayonnement et de l'environnement filière: ingénierie des fonctions biologiques synthèse et étude d'amidons modifiés pour le développement de procédés d'oxydation du benzo[a]pyrène, un modèle de polluant organique persistant : présentée par anamaria dospinescu-rosu soutenue le 18 novembre 2011 devant la commission d'examen.
- [26] : [En ligne]; disponible sur le site: <https://fr.vwr.com/store/category/amidon-soluble/2340948>
- [27] : [En ligne]; disponible sur le site: <https://fr.wikipedia.org/wiki/amylopectine>
- [28] : [En ligne]; disponible sur le site: <https://fr.wikipedia.org/wiki/amylose>
- [29] : [En ligne]; disponible sur le site: <https://fr.vwr.com/store/product/735006/glycero-l-analar-normapur>
- [30] : Mémoire de fin d'études : en vue de l'obtention du diplôme master / spécialité : génie des procédés. options : matériaux polymère ; thème : fabrication et caractérisation thermique d'un film biodégradable à base d'amidon de maïs renforcé par une organoargile. réalisé par : hamadouche hanan et bouarab nacera.
- [31] : Thanh hoi nguyen. « vieillissement artificiel et vieillissement naturel en ambiance tropicale de composites modèles époxy/verre : approche nanoscopique de l'étude des interfaces. autre ». université de toulon; université de danang (vietnam), français (2013.).
- [32] : Improved soil carbonate determination by ft-ir and x-ray analysis/article in environmental chemistry letters · march 2013/doi: 10.1007/s10311-012-0380-4 source: pubmed/viktor johannes bruckman/austrian academy of sciences 34

Références Bibliographiques

publications 107 citations/karin wriessnig/university of natural resources and life sciences vienna/18 publications 48 citations

- [33]: American journal of nanomaterials/vol. 4, no. 2, 2016, pp 44-51. doi: 10.12691/ajn.4.23research.article/open.access/peer/reviewed/10607/views/7634/downloads1/citations.preparation of vaterite calcium carbonate in the form of spherical nano-size particles with the aid of polycarboxylate superplasticizer as a capping agent/mohamed el-shahate ismaiel saraya1, , hanaa hassan abdel latif rokbaa2/1department of chemistry, faculty of science, al-azhar university, nassr city, p.o. 11884, cairo, egypt/2department of chemistry, faculty of science, halwan/university, halwan, cairo, egypt

Résumé :

L'objectif de ce travail est élaboré un biopolymère à base d'amidon artificielle renforcé par une charge minérale (CaCO_3) traitée superficiellement et non traité. Des différentes analyses ont été effectuées tels que: spectroscopie FTIR, test de vieillissement naturel et test de gonflement. Les résultats obtenus montrent que le l'incorporation d'une charge minérale comme le carbonate de calcium (CaCO_3) superficiellement traité augmente la résistance à la dégradation de ce bioplastique.

Mots clés : bioplastiques ; biodégradables, biocomposites, charge minérale, Carbonate de calcium

المخلص العام:

الهدف من هذا العمل هو بوليمر حيوي يعتمد على نشاء اصطناعي معزز بحشوة معدنية (CaCO_3) المعالجة و الغير معالجة. تم اجراء ثلاث تحليلات مختلفة مثل : التورم ، التحليل الطيفي FTIR ، اختبار الشيخوخة الطبيعي . اظهرت النتائج التي تم الحصول عليها ان دمج مادة حشو معدنية مثل كربونات الكالسيوم المعالجة يزيد من مقاومة التدهور الطبيعي.

الكلمات المفتاحية : البلاستيك الحيوي القابل للتحلل ، المركبات الحيوية ، حشو المعدنية ، كربونات الكالسيوم

Abstract :

The objective of this work is a biopolymer based on artificial starch reinforced with a mineral filler (CaCO_3) treated superficially and untreated. Different analyzes were performed such as: FTIR spectroscopy, natural aging test and swelling test. The results obtained show that the incorporation of a mineral filler such as superficially treated calcium carbonate (CaCO_3) increases the resistance to degradation of this bioplastic.

Key words: biodegradable bioplastics, biocomposites, mineral filler, Calcium carbonate