



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE 20 AOUT 1955 SKIKDA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCEDES

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

Master

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie de l'environnement

Evaluation de la dégradation de biocomposite à base
d'amidon renforcé par une charge minérale

Date de soutenance : .../.../2022

Réalisé par :

- Yasmine Amani LAOUIRKI

Encadré par :

Dr. Nesrine AMMOUCHI (MCA)

Année Universitaire 2021- 2022



Dédicace

Je dédie ce mémoire :

A ma chère mère qui m'a toujours soutenue et encouragée durant toutes mes années d'étude.

A mon père, ma sœur, mon amie Nawel et tous ceux qui ont partagé avec moi tous les moments de mon parcours.

A mes amis qui m'ont toujours supporté et encouragé, à qui je souhaite plus de succès.

A tous mes proches qui m'ont soutenu.

Laouirki Yasmine Amani

Remercîment

J'exprime mes chaleureux remerciements à mon encadreur Mme Nesrine Ammouchi de m'avoir aidé et orienté tout au long de mon travail.

Je tiens à remercier les membres de mon jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail qui ont bien voulu mobiliser leur temps et leurs compétences pour être les examinateurs de ce travail.

J'adresse mes remerciements les plus sincères à mes parents et ma sœur qui m'ont toujours aidé et soutenu.

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon stage et qui m'ont aidée lors de la rédaction de ce mémoire.

Enfin, je ne saurais oublier de remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, et qui ont été d'un soutien qu'il soit moral ou matériel.

Sommaire

Liste des figures.....	IV
Liste des tableaux.....	VI
Liste des abréviations.....	VII
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Les biopolymères

I. Introduction	4
I.1. Définition de biopolymères.....	4
I.2. Biopolymères issus directement de la nature	5
I.3. Type de biopolymères	6
I.4. Bioplastiques.....	8
I.4.1. Composants d'un bioplastique	8
I.4.2. Famille de Bioplastiques	9
I.4.2.1. Polymères biosourcés	9
I.4.2.2. Bioplastiques compostables	9
I.4.3. Avantages des bioplastiques	10
I.4.4. Inconvénients des bioplastiques	11
I.5. Classification des biopolymères.....	12
I.6. L'amidon.....	13
I.7 Avantages du biopolymère	14
I.8 Inconvénients	14
I.10. Applications	14
I.11. Conclusion	15

Chapitre II : Les biocomposites

II.1. Introduction	18
II.2 Définition des matériaux composites.....	18
II.3. Renforts	19
II.4. Biocomposite.....	20
II.5. Définition de biocomposites	21
II.6. Matrices	22
II.7. Résine (constituant)	24
II.7.1. Résines thermodurcissables	25
II.7.2. Résines thermoplastiques	26
II.8. Les principales résines utilisées comme matrice	27

II.8.1. Résines thermodurcissables (TD).....	27
II.8.2. Résines thermoplastiques (TP).....	27
II.8.3. Comparaison résines thermoplastiques (TP) et thermodurcissables (TD)	28
II.9. Matières premières utilisées	28
II.10. Avantage.....	29
II.11. Atouts des biocomposites	29
II.12. Rupture d'un matériau composite	30
II.13. Applications industrielles.....	32
II.14. Conclusion.....	32

Chapitre III : Matériels et méthodes

III. Introduction	34
III.1. Matériels et méthodes	34
III.1.1. Glycérol.....	34
III.1.2. Acide chlorhydrique	36
III.1.3. L'hydroxyde de sodium	37
III.1.4. carbonate de calcium	37
III.1.5. L'amidon.....	38
III.2.Extraction de l'amidon	38
III.3. Transformation de l'amidon en film plastique.....	39
III.3.1. Transformation de l'amidon en film plastique sans charge.....	39
III.3.2. Transformation de l'amidon en film plastique avec une charge minérale	41
III.4. Evaluation de la dégradation des composites	42
III.4.1. Absorption en eau	42
III.4.2. Vieillessement naturel	42
III.4.3. Dégradation au sol	43

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV. Introduction.....	45
IV.1. Analyse structurale par spectroscopie d'absorption infrarouge FTIR.....	45
IV.1.1. Analyse structurale de l'amidon	45
IV.1.2. Analyse structurale du carbonate de calcium.....	46
IV.2 Observation microscopique des biocomposites	47
IV.3. Evaluation de la dégradation des biocomposites.....	48
IV.3.1. Dégradation des biocomposites à l'air libre.....	48
IV.3.2. Dégradation des biocomposites dans l'eau de mer.....	49
IV.3.3. Dégradation des biocomposites dans l'eau minérale.....	50

IV.3.4. Dégradation des biocomposites dans la terre	51
IV.3.5. Evaluation de la dégradation du biopolymère sans charge dans les différents milieux ...	52
IV.3.6. Evaluation de la dégradation du biocomposite à 1% de charge dans les différents milieux	53
IV.3.7. Evaluation de la dégradation du biocomposite à 2% de charge dans les différents milieux	54
IV.3.8. Evaluation de la dégradation du biocomposite à 3% de charge dans les différents milieux	55
IV.3.9. Evaluation de la dégradation du biocomposite à 4% de charge dans les différents milieux	56
IV.3.10. Evaluation de la dégradation du biocomposite à 5% de charge dans les différents milieux	57
IV.4. Discussion des résultats obtenus	58
Conclusion générale	60

Liste des figures

Figure I.1: Schéma simplifié du processus de biodégradation d'un bioplastique [9].....	5
Figure I.2 : Schéma de la cellulose	6
Figure I.3 : Organigramme des différentes familles de biopolymères	7
Figure I.4 : Matrice des bioplastiques.....	8
Figure I.5 : Emballage alimentaire	11
Figure I.6 : Classification des biopolymères	13
Figure I.7 : Structure chimique de l'amidon	14
Figure I.8 : Application pour les bioplastiques.....	15
Figure II.1 : Un diagramme montrant les matériaux composites [15].....	19
Figure II.2 : Produits naturels utilisés dans la production de biocomposés.[17].....	21
Figure II.3 : Procédé d'obtention des biocomposites	22
Figure II.4 : organigramme de différent type de matrice.....	23
Figure II.5 : Production de la résine [22].....	25
Figure II.6 : Exemples sur fibres végétales et matrices biosourcés. [18]	29
Figure III.1 : Produits utilisée pour l'élaboration des biocomposites	34
Figure III.2 : Glycérol.....	35
Figure III.3 : Acide chlorhydrique.....	36
Figure III.4 : L'hydroxyde de sodium	37
Figure III.5 : Les différentes étapes d'extraction de l'amidon naturel de la pomme de terre....	39
Figure III.6 : Les étapes d'élaboration des biocomposites	40
Figure III.7 : Absorption dans l'eau minéral (A); Absorption dans l'eau de mer (B)	42
Figure III.8 : Vieillissement à l'air libre	43
Figure III.9 : Dégradation au sol.....	43
Figure IV.1 : spectre infrarouge de l'amidon	45
Figure IV.2 : Spectre infrarouge du carbonate de calcium	46
Figure IV.3 : Observation microscopique des différents biocomposites "A" biopolymères sans charge, "B" biocomposite à 1% de charge, "C" biocomposite à 2% de charge, "D" biocomposite à 3% de charge, "E" biocomposite à 4% de charge, "F" biocomposite à 5% de charge.....	47
Figure IV.4 : Dégradation des biocomposites à l'air libre	48
Figure IV.5 : Dégradation des biocomposites dans l'eau de mer	49
Figure IV.6 : Dégradation des biocomposites dans l'eau minéral	50
Figure IV.7 : Dégradation des biocomposites dans la terre	51
Figure IV.8 : Dégradation du biopolymère sans charge dans les différents milieux.....	52

Figure IV.9 : Dégradation du biocomposite à 1% de charge dans les différents milieux	53
Figure IV.10 : Dégradation du biocomposite à 2% de charge dans les différents milieux	54
Figure IV.11 : Dégradation du biocomposite à 3% de charge dans les différents milieux	55
Figure IV.12 : Dégradation du biocomposite à 4% de charge dans les différents milieux	56
Figure IV.13 : Dégradation du biocomposite à 5% de charge dans les différents milieux	57

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Notion de renouvelabilité de biodégradabilité pour les biopolymères (Sur la base d'un document CEN).	5
Tableau II.1 : Différentes formes de renforts trouvés dans les matériaux composites et leur	20
Tableau II.2 : Propriétés des Matricide Thermodurcissables	27
Tableau II.3 : Propriétés des Matricide Thermoplastique	27
Tableau II.4 : Comparaison résines thermoplastiques (TP) et thermodurcissables (TD)	28
Tableau III.1 : Propriétés du Glycérol.....	35
Tableau III.2 : Propriétés de l'acide chlorhydrique	36
Tableau III.3 : Propriétés de l'hydroxyde de sodium	37
Tableau III.4 : Propriétés du carbonate de calcium.....	38
Tableau III.5 : Pourcentage du renfort minéral dans les biocomposites	41
Tableau IV.1 : Bande d'absorption infrarouge de l'amidon	46
Tableau IV.2 : Bande d'absorption du carbonate de calcium.....	47

Liste des abréviations

ACV : L'analyse du cycle de vie
ADN : Acide désoxyribonucléique
Bio-PE : Biologie- Polyéthylène
BMI : Polybismaléimides
CEN : Comité européen de normalisation
CMM : Composites à matrice métallique
CMO : Composites à matrice organique
CVD : Dépôt chimique en phase vapeur
EP : Epoxyde
EPA : eicosapentaénoïque
EPS : Exopolysaccharides
IR : Infra Rouge
MM : Masse moléculaire moyenne
MO : Matière organique
NFC : Composites à fibres naturelles
PEEK : Poly(éther-éther-cétone de phénylène)
PEI : Polyétherimide
PF : Polyéthylène
PHA : Polyhydroxydlkanoates
PHAs : Polyhydroxyalcanoates
PHBV : Polyhydroxybutyrate-hydroxyvalerate
PHV : Polyhydroxyvalerate
PIRP : Polyimides thermodurcissables
PLA : Polylactique
PP : Polypropylène
PPS : Poly (sulfure de phénylène)
PVC : Polychlorure de vinyle
SBC : Sustainable Biomaterials Collaborative
SMC : Sheet Moulding Compound
TD : Thermodurcissables
TP : Thermoplastiques
UP : Polyesters insaturés

Introduction générale

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 faibles propriétés, 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 polymériques 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 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. Différentes analyses ont été faite les composites obtenus tels que : étude structurale à l'aide d'une spectroscopie d'infrarouge, étude de vieillissement naturel, des tests de gonflement dans l'eau de mer, l'eau minéral et dégradation dans de la terre.

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 : fait l'objet d'une synthèse bibliographique sur les biocomposites et les charges en général.

Introduction générale

- Le troisième chapitre : décrit les matériaux utilisés et les protocoles expérimentaux suivis pour la synthèse des biocomposites amidon/charge minéral ainsi que les techniques d'analyse et d'évaluation de la dégradation utilisées.
 - Quatrième chapitre : est consacré à l'illustration de tous les résultats trouvés accompagnée des discussions appropriés.
- Enfin on terminera par une conclusion générale.

Chapitre I

I. 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.1. 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 : Notion de renouvelabilité de biodégradabilité pour les biopolymères (Sur la base d'un document CEN).

Origine du matériau	Biodégradabilité	Exemple
Renouvelable	Biodégradable	Polyhydroxylkanoates (PHA) ;(PLA) ; Amidon
Non renouvelable	Biodégradable	Polycaprolactone (Polyester aliphatique)
Renouvelable	Non biodégradable	Polyéthylène à base végétale
Non renouvelable	Non biodégradable	Polyétheréthercétone (PEEK ; biocompostabilité)

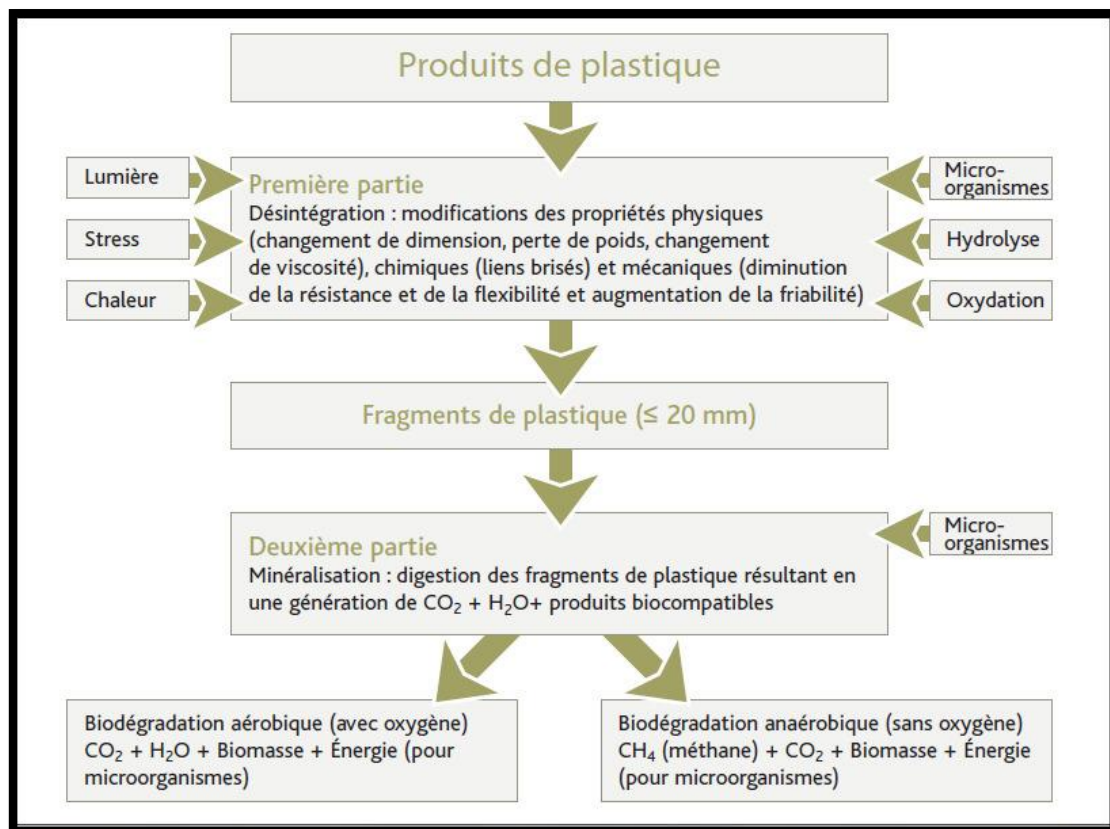


Figure I.1: Schéma simplifié du processus de biodégradation d'un bioplastique [9]

I.2. 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]

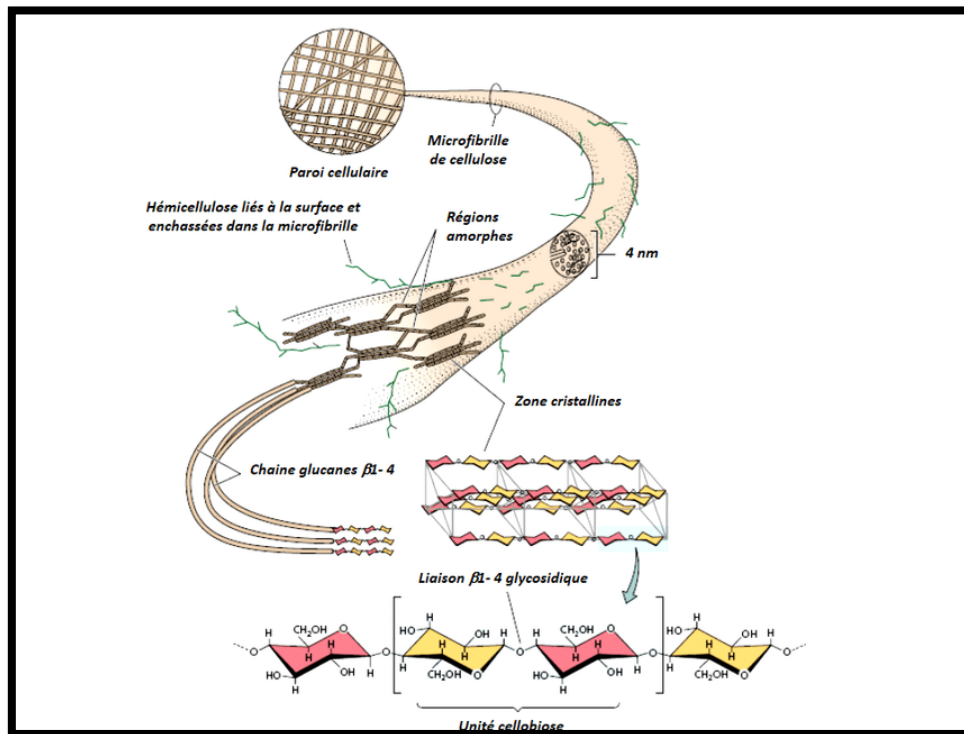


Figure I.2 : Schéma de la cellulose

I.3. Type 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]

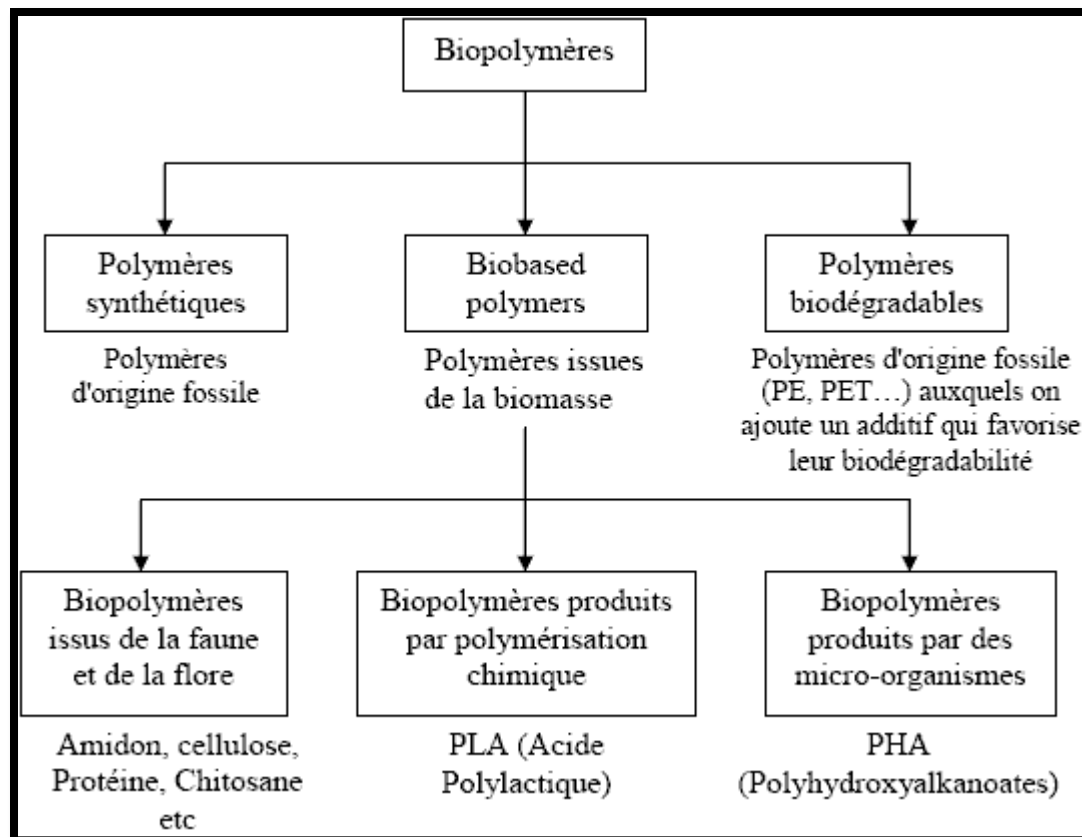


Figure I.3 : Organigramme des différentes familles de biopolymères

Remarque :

- 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]
- Polyhydroxyalcanoates : Les polyhydroxyalcanoates 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 polyhydroxyalcanoate 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.4. 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]

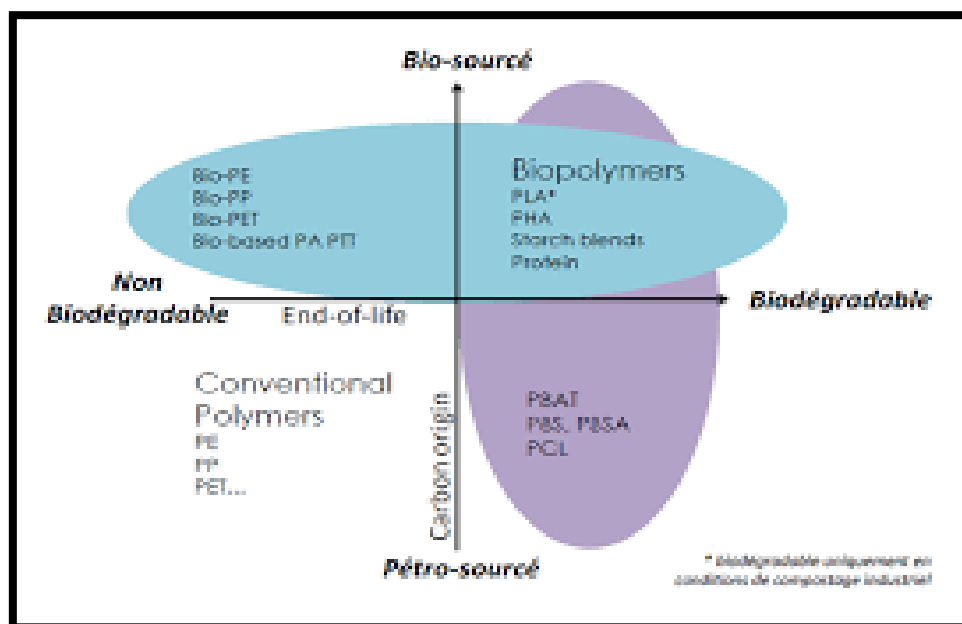


Figure I.4 : Matrice des bioplastiques

I.4.1. Composants d'un bioplastique

L'origine des matières premières des bioplastiques est très souvent issue des cultures de maïs, blé, pomme de terre, 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.4.2. Famille 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.4.2.1. 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.4.2.2. Bioplastiques compostables

La compostabilité 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 compo stables 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 compo stable. 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 compo stable est en lien avec la gestion de fin de vie du bioplastique. [9]

I.4.3. 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.4.4. 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.5 : Emballage alimentaire

I.5. 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

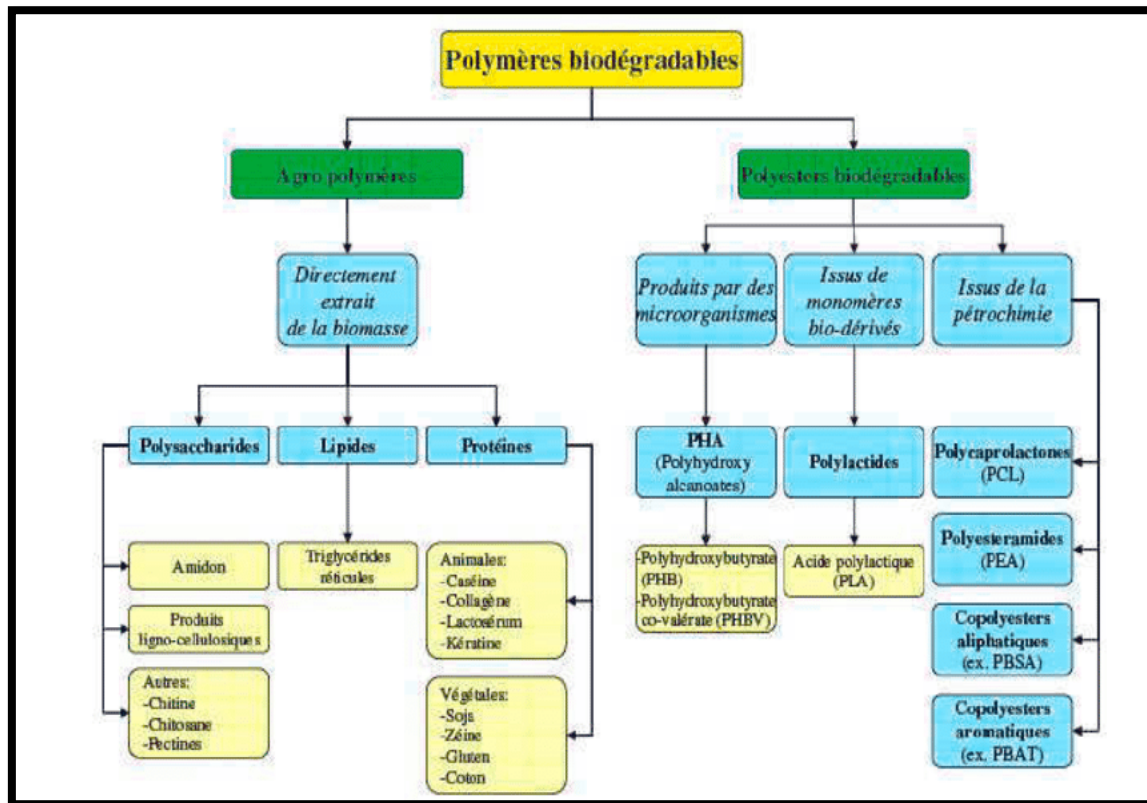


Figure I.6 : Classification des biopolymères

I.6. 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]

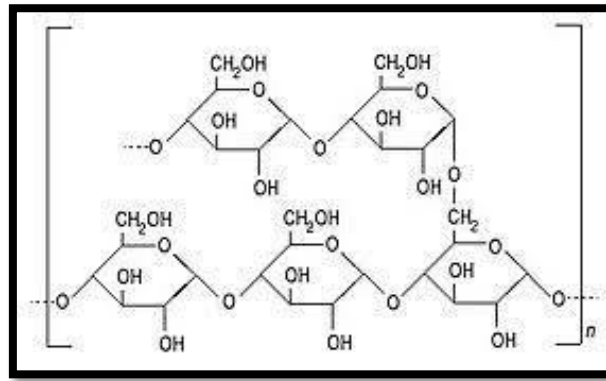


Figure I.7 : Structure chimique de l'amidon

I.7 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.8 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.8 : Application pour les bioplastiques

I.11. Conclusion

Le secteur de l'emballage est en pleine mutation. En effet, l'épuisement des ressources pétrolières et l'opinion publique poussent les industriels du packaging à choisir des matériaux alternatifs. Les biopolymères sont un bon compromis. En effet, ils sont issus

de ressources renouvelables, ils peuvent être compostables et présentent des caractéristiques mécaniques proches de celles des plastiques conventionnel.

Chapitre II

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]

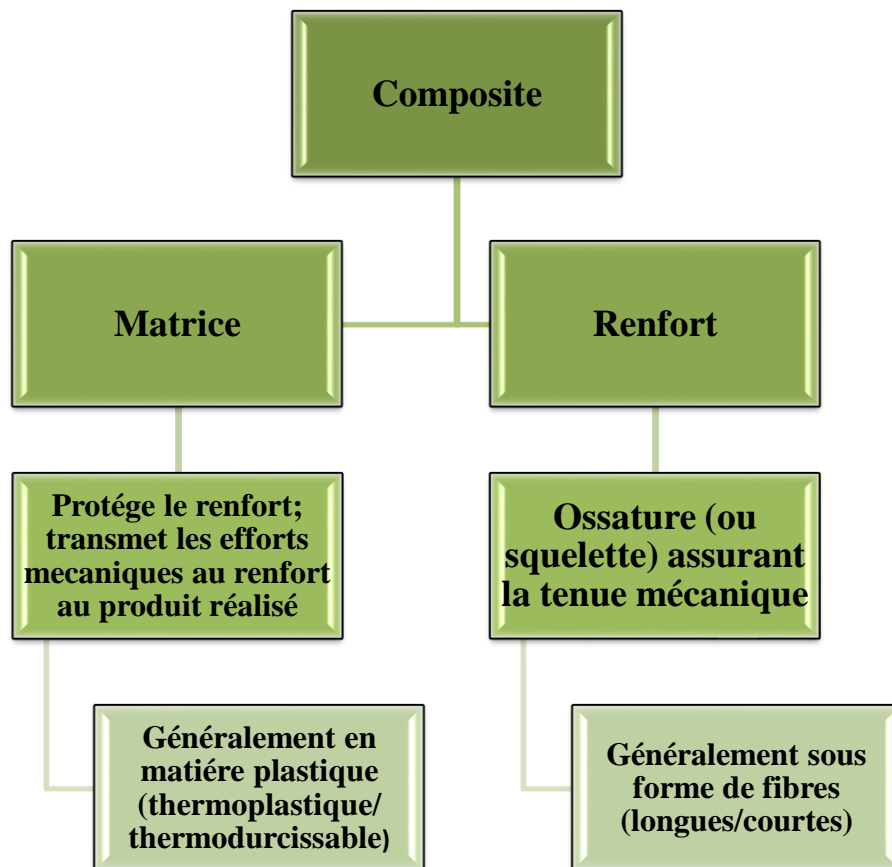


Figure II.9 : Un diagramme montrant les matériaux composites [15].

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.2 : Différentes formes de renforts trouvés dans les matériaux composites et leur

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.10 : 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]

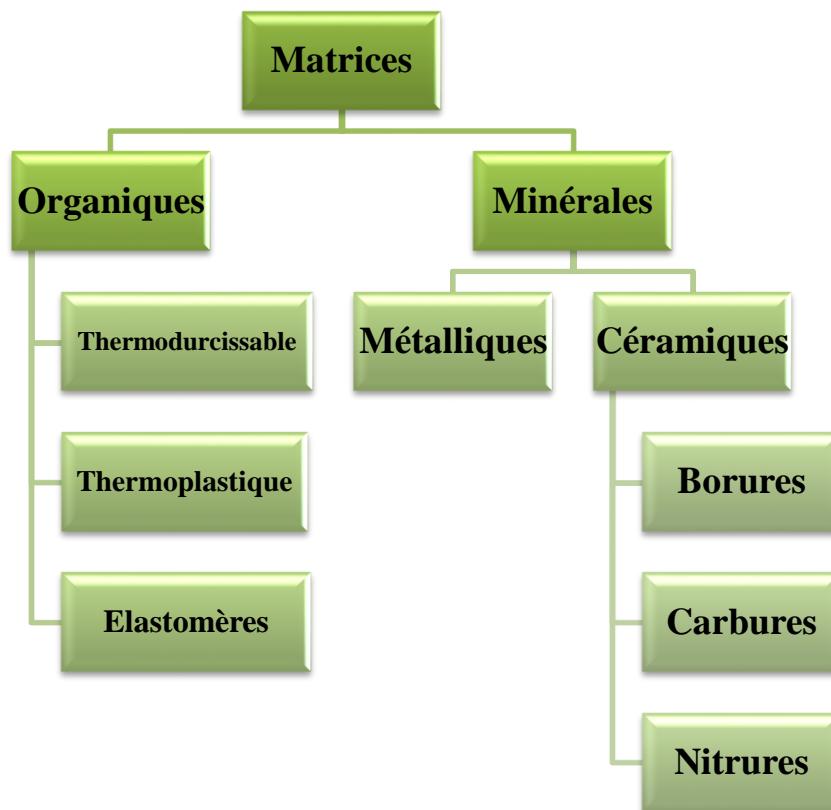


Figure II.12 : organigramme de différent type de matrice.

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]

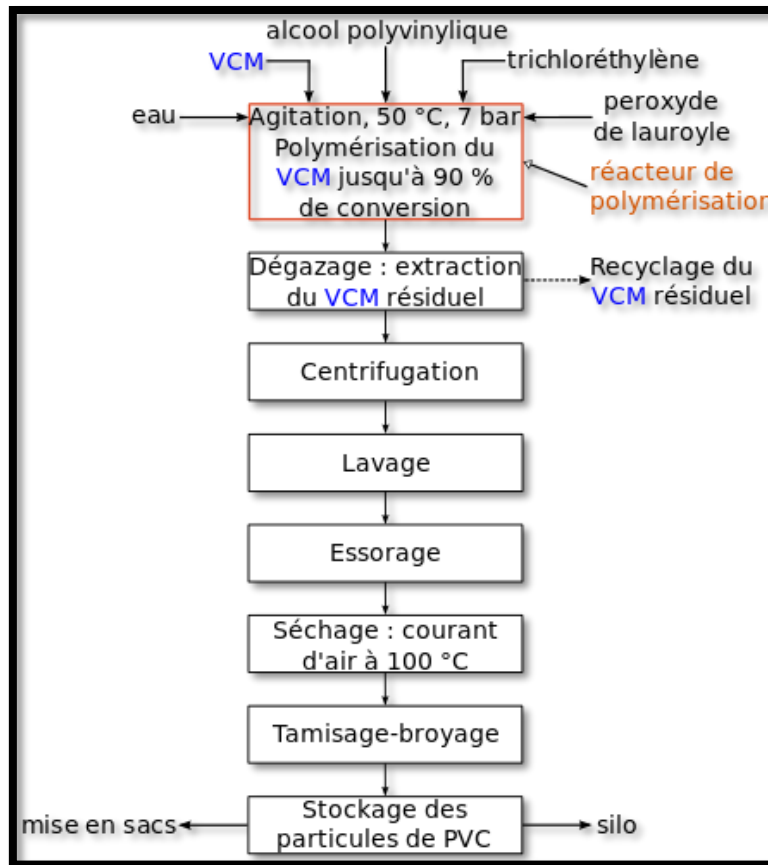


Figure II.13 : Production de la résine [22].

- 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 polyesters 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)

Tableau II.3 : Propriétés des Matricide Thermodurcissables

Matrices TD	Masse Vol. Kg/m ³	Module d'Young Longi MPA	Module de cisaillement MPA	de Poisson	Coeff de	Contrainte en rupture MPA	A%	Coût en €/Kg
Epoxyde	1200	4500	1600	0.4		130	2	5 à 15
Phénolique	1300	3000	1100	0.4		70	2.5	2
Polyester	1200	4000	1400	0.4		80	2.5	2
Vinylester	1150	3000	/	/		75	4	3
Polycarbonate	1200	2400	/	0.35		60	/	5
Silicone	1100	2200		0.5		35	/	30
Uréthane	1100	700 à 7000	/	/		30	100	3
Polyimide	1400	4000 à 19000	1100	0.35		70	1	25

II.8.2. Résines thermoplastiques (TP)

Tableau II.4 : Propriétés des Matricide Thermoplastique

Matrices TP	Masse Vol. Kg/m ³	Module d'Young Longi MPA	Module de cisaillement MPA	de Poisson	Coeff de	Contrainte en rupture MPA	A%	Coût en €/Kg
PP	900	1200	/	0.4		30	20-400	/
PPS	1300	4000	/	/		65	100	/
PA	1100	2000	/	0.35		70	200	5
PES	1350	3000	/	/		85	60	20
PEI	1250	3500	/	/		105	60	15
PEEK	1300	4000	/	/		90	50	70

II.8.3. Comparaison résines thermoplastiques (TP) et thermodurcissables (TD)*Tableau II.5 : Comparaison résines thermoplastiques (TP) et thermodurcissables (TD)*

Paramètre	Thermoplastiques (TP)	Thermodurcissables (TD)
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 (*2) (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	Emanation 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, 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				Polyhydroxyalcanoate (PHA)	
					Polybutylène succinate (PBS)	

Figure II.14 : Exemples sur fibres végétales et matrices biosourcées. [18]

II.10. Avantage

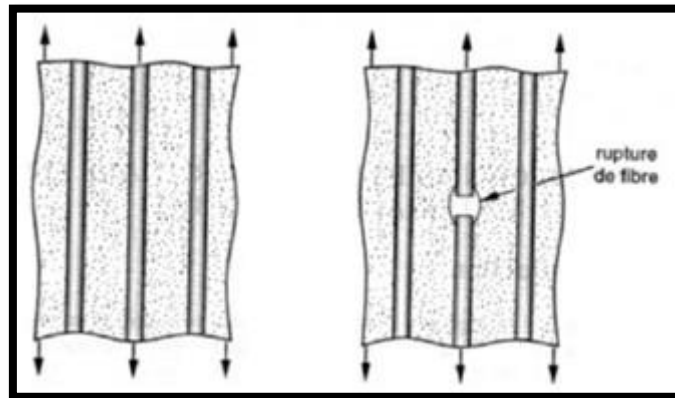
- Matériau entièrement biodégradable, à faible impact écologique
- Réduction des coûts de production (augmentation des prix du pétrole)
- Propriétés mécaniques supérieures à celles des composites classiques
- Très bonne résistance au feu. [16]

II.11. Atouts des biocomposites

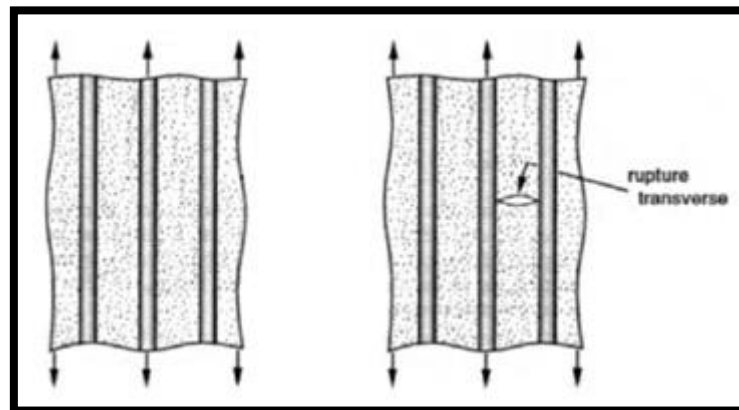
- Propriétés mécaniques
- Performance mécanique
- Rigidité moyenne-élevée et excellente résistance aux chocs Propriétés de déformation
- Respect de l'environnement
- Utilisation de ressources naturelles et locale.
- Réduction de l'empreinte carbone et Réduction de la toxicité des matériaux
- Fin de vie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

II.12. Rupture d'un matériau composite

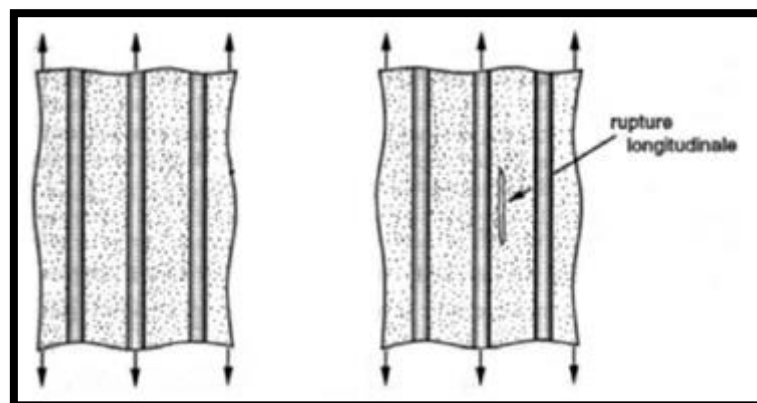
- Traction longitudinale : rupture des fibres. [23]



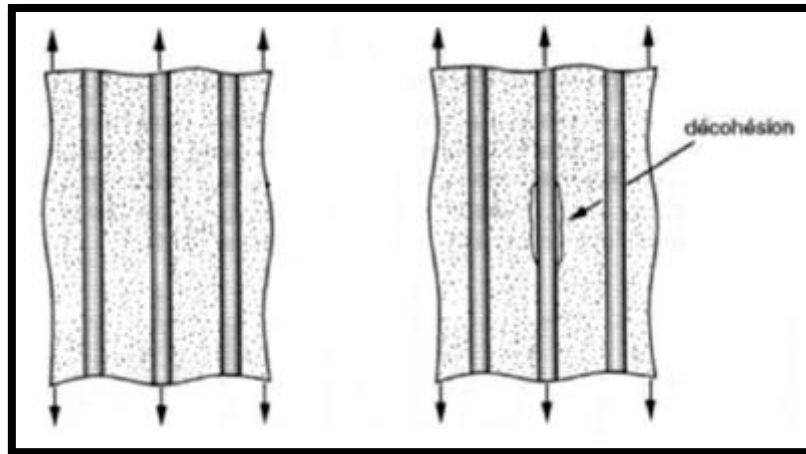
- Traction longitudinale : rupture transversale de la matrice.



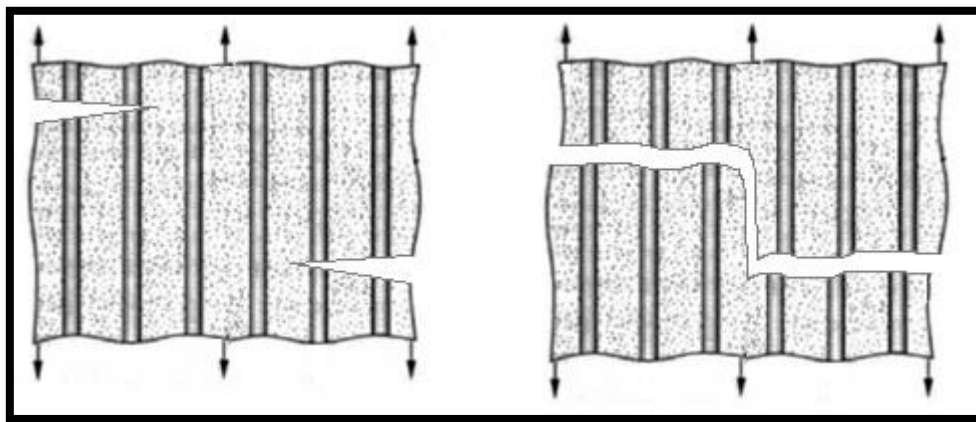
- Traction longitudinale : rupture longitudinale de la matrice



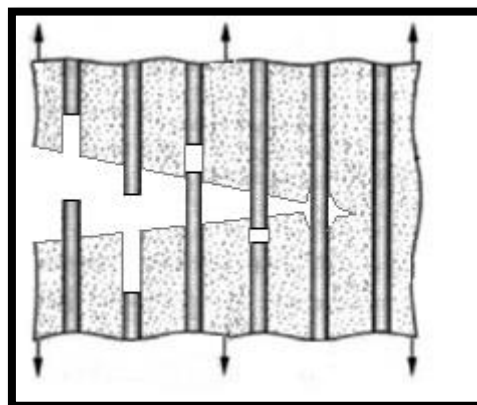
- Traction longitudinale : rupture de l'interface fibre-matrice (décohésion).



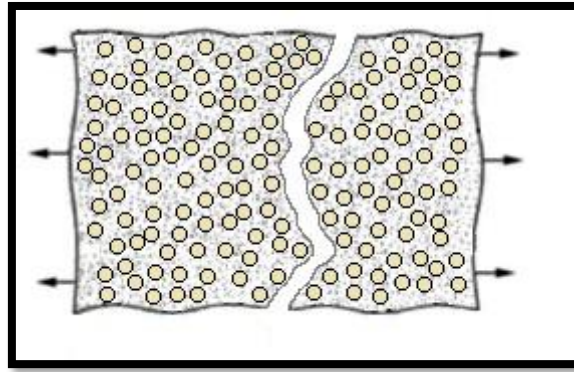
- Traction longitudinale : propagation de fissures.



- 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]

II.14. Conclusion

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. Ils 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.

Chapitre III

III. Introduction

Dans le présent chapitre nous allons détailler le procédé utilisé pour la préparation des composites à base d'amidon naturelle renforcés par une charge minérale (Carbonate de calcium CaCO_3) et les différentes techniques de dégradation utilisé sur de ces derniers.

III.1. Matériels et méthodes

Dans cette partie nous allons d'abord commencer par décrire les produits utilisé, leurs noms, leurs utilités, leurs propriétés et leurs caractéristiques.

Cette partie sera succédée par les différentes méthodes de dégradation des biocomposites utilisé dans cette étude.



Figure III.15 : Produits utilisée pour l'élaboration des biocomposites

III.1.1. Glycérol

Dans cette étude, Le glycérol va 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.

III.1.2. 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.

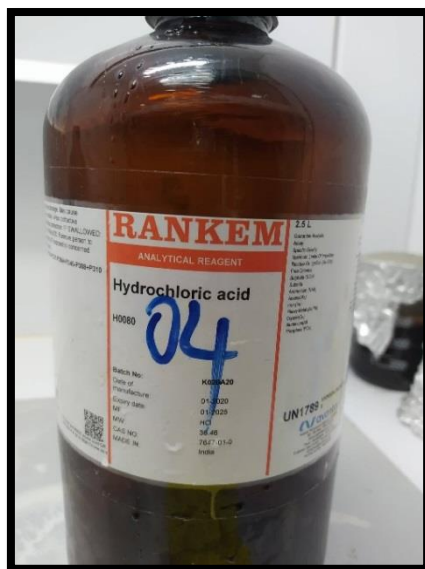


Figure III.17 : Acide chlorhydrique

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.7 : Propriétés de l'acide chlorhydrique

Produits	Propriétés
Acide chlorhydrique	<ul style="list-style-type: none"> • Formule : HCl • Poids moléculaire : 36,46g/mol • Densité : 1,18 g/cm³ (20 °C) • T° ébullition 48 °C • T° fusion -30 °C

III.1.3. L'hydroxyde de sodium

L'hydroxyde de sodium (NaOH) sert à diminuer la viscosité du mélange et de neutraliser ce dernier après l'ajout de HCl.

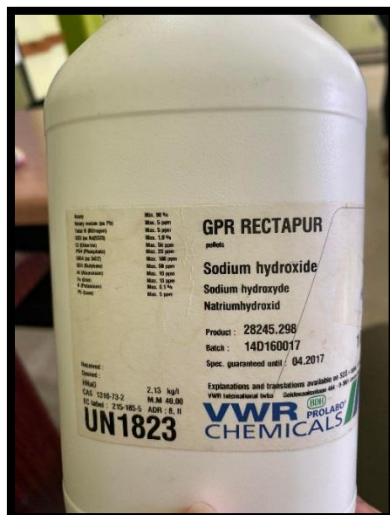


Figure III.18 : L'hydroxyde de sodium

Nous avons utilisé deux types d'hydroxyde de sodium. a été obtenu de VWR CHEMICALS.

Tableau III.8 : Propriétés de l'hydroxyde de sodium

Produits	Propriétés
L'hydroxyde de sodium	<ul style="list-style-type: none"> • Formule : NaOH • Masse molaire : 39,997 g/mol • Pureté : • T° d'ébullition : 1 388 °C • T° de fusion : 318 °C

III.1.4. carbonate de calcium

Le carbonate de calcium est l'un des minéraux les plus abondants à la surface du globe ; on le trouve sous un très grand nombre de forme : calcaire massif, craie, marbre... naturelle ou précipitée.

Tableau III.9 : Propriétés du carbonate de calcium

Produits	Propriétés
Carbonate de calcium	<ul style="list-style-type: none">• Formule : CaCO_3• Masse molaire : 100,087 g/mol• Pureté :• T° fusion : 825 °C• T° ébullition :

III.1.5. L'amidon

Nous avons choisi la pomme de terre comme matière première pour obtenir l'amidon nécessaire à notre bioplastique.

La pomme de terre est une matière première renouvelable issue de l'agriculture. L'extraction de l'amidon utilise donc la chimie du végétal. L'amidon est un biopolymère constitué d'amylose et d'amylopectine.

III.2.Extraction de l'amidon

- Laver les pommes de terre ;
- Eplucher les pommes de terre et les découper en petits morceaux ;
- Mixer les petits morceaux de pomme de terre ;
- Ajouter de l'eau ;
- Filtrer avec une passoire et garder le filtrat ;
- Répéter le filtrage jusqu'à obtenir un filtrat sans impureté ;
- Conserver le filtrat dans un récipient et le laisser décanter ;
- Eliminer le surnageant ;
- Laisser sécher ;
- Récupérer l'amidon.



Figure III.19 : Les différentes étapes d'extraction de l'amidon naturel de la pomme de terre

III.3. Transformation de l'amidon en film plastique

Pour obtenir un bioplastique à partir d'amidon, il faut le chauffer, en présence d'eau, de glycérine, d'acide chlorhydrique, d'hydroxyde de soude et de carbonate de calcium.

- Le glycérol va servir de plastifiant en augmentant le volume libre entre les deux chaînes de polymères. Le film sera plus résistant à la tension, à la flexion, mais aussi plus transparent.
- L'acide chlorhydrique sert à déstructurer le grain d'amidon, ce qui favorise la séparation amylose/amylopectine et le passage de l'amylose en solution.
- L'hydroxyde de soude permet de diminuer la viscosité.
- Le carbonate de calcium va servir de charge minérale pour améliorer le plastifiant de base
- Le chauffage sert à déstructurer le grain d'amidon et à le rendre soluble.
- Le carbonate de calcium améliore la processabilité en contrôlant la gélification.

III.3.1. Transformation de l'amidon en film plastique sans charge

Pour cela on utilise :

- Peser 2.5g de l'amidon et le disperser dans 20ml d'eau distillée.
- Ajouter 2ml de solution de glycérol (solution à 50% dans de l'eau distillée) et l'agiter à l'aide d'une tige de verre.

- Ajouter 3ml d'HCl (0,1mol/l).
- Chauffer le mélange obtenu à une température de 90°C pendant 15 à 20 min à l'aide d'une plaque chauffante où on a réalisé un bain marie.
- Agiter le mélange à l'aide d'une baguette en verre.
- Après environ 15 à 20 minutes, on remarque que le mélange est transformé en gel visqueux.
- Ajouter 1ml d'hydroxyde de sodium NaOH (0,1 ml / L) pour réduire la viscosité du mélange.
- Vider et distribuer le mélange dans des boîtes pétri en verre.
- Sécher des films sous une température de 90 à 100 °C pendant 1 heure à l'aide d'une étuve (cette étape permet d'éliminer l'excès d'eau des gels).



Figure III.20 : Les étapes d'élaboration des biocomposites

III.3.2. Transformation de l'amidon en film plastique avec une charge minérale

Pour cela on utilise :

- Peser 2.5g de l'amidon ,le garder dans un bécher ;
- Peser 0.025g de carbonate de calcium et le rajouter dans le bécher ;
- Disperser le mélange dans 20ml d'eau distillée ;
- Ajouter 2ml de solution de glycérol (solution à 50% dans de l'eau distillée) et l'agiter à l'aide d'une tige de verre ;
- Ajouter 3ml d'HCl (0,1mol/l) ;
- Chauffer le mélange obtenu à une température de 90°C pendant 15 à 20 min à l'aide d'une plaque chauffante où on a réalisé un bain marie ;
- Agiter le mélange à l'aide d'une baguette en verre ;
- Après environ 15 à 20 minutes, on remarque que le mélange est transformé en gel visqueux ;
- Ajouter 1ml d'hydroxyde de sodium NaOH (0,1 ml / L) pour réduire la viscosité du mélange ;
- Vider et distribuer le mélange dans des boites pétri en verre ;
- Sécher des films sous une température de 90 à100 °C pendant 1 heure à l'aide d'une étuve (cette étape permet d'éliminer l'excès d'eau des gels) ;

Tableau III.10 : Pourcentage du renfort minéral dans les biocomposites

	Amidon (g)	CaCO3 (g)
1%	2.5	0.025
2%	2.5	0.05
3%	2.5	0.075
4%	2.5	0.1
5%	2.5	0.125

III.4. Evaluation de la dégradation des composites

III .4.1. Absorption en eau

Dans cette partie, nous nous intéressons à l'étude de gonflement des films préparés dans de l'eau minérale et de l'eau de mer. Pour cela :

- Les biocomposites ont été coupé en carrée de 2 cm² tous de taille identiques ;
- Les pots stérile ont été rempli respectivement avec 50 ml d'eau de mer et minéral ;
- Les biocomposites préalablement coupés sont ensuite introduit dans les pots qu'on ferme avec leur bouchon respectifs ;
- Les pots contenant les biocomposites et l'eau ont été laissé à la température ambiante est contrôlée précisément chaque jour ;
- La pesée est effectuée à un intervalle d'une semaine et cela pendant 1 mois.

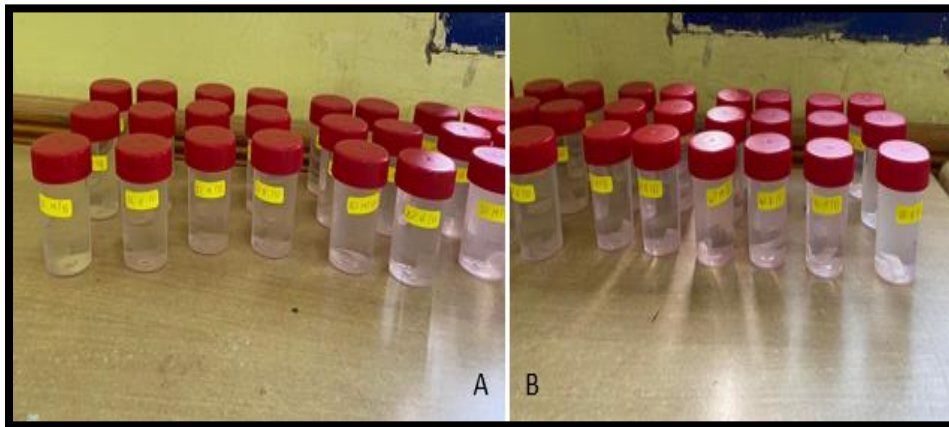


Figure III.21 : Absorption dans l'eau minéral (A); Absorption dans l'eau de mer (B)

III.4.2. 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. Le test de vieillissement naturel a été fait comme suit :

- Les biocomposites de l'amidon renforcé et non renforcé par le carbonate calcium ont été préalablement coupé en carrée de 2 cm² tous de taille identiques ;
- Ces derniers ont été laissée à l'aire libre pendant un mois ;
- La pesée a été effectuée une fois par semaine pendant ce temps-là.

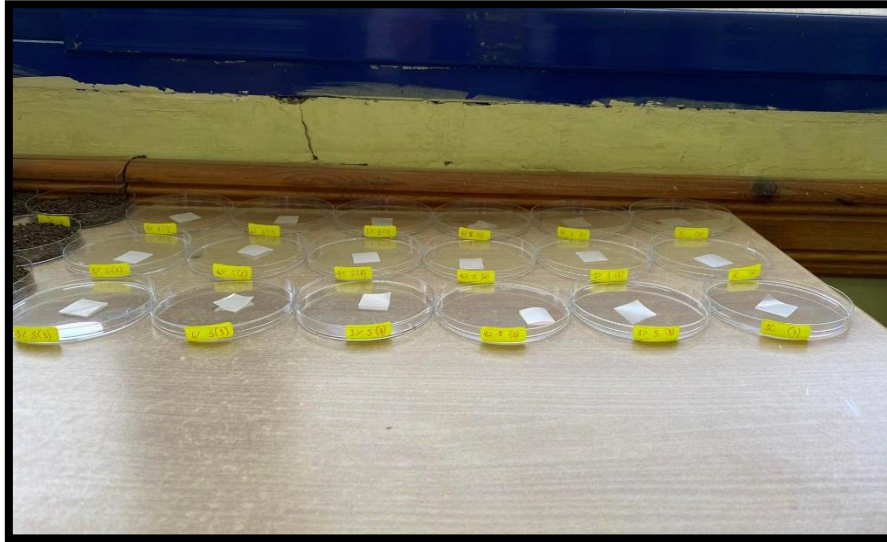


Figure III.22 : Vieillessement à l'air libre

III.4.3. Dégradation au sol

Il est considéré qu'un tiers de tous les déchets plastiques se retrouvent dans les sols. La majeure partie de ce plastique se désintègre en particules de moins de cinq millimètres, appelées microplastiques, qui se décomposent ensuite en nanoparticules (taille inférieure à 0,1 micromètre). Dans cette étude on va étudier la dégradation des biocomposite dans une surface de terre.

- Les biocomposites de l'amidon renforcé et non renforcé par le carbonate calcium ont été préalablement coupé en carrée de 2 cm² tous de taille identiques ;
- Ces derniers ont été enterré dans 40 g de terre (composte organique) pendant un mois ;
- La pesée a été effectuée à la fin du mois.



Figure III.23 : Dégradation au sol

Chapitre IV

IV. Introduction

Cette partie est consacrée essentiellement à la présentation et à la discussion des différents résultats obtenus. On commencera par l'analyse structurale par spectroscopie d'absorption infrarouge FTIR de l'amidon et du carbonate de calcium puis par l'étude et l'évaluation de la dégradation des biocomposites dans les différents milieux.

IV.1. Analyse structurale par spectroscopie d'absorption infrarouge FTIR

IV.1.1. Analyse structurale de l'amidon

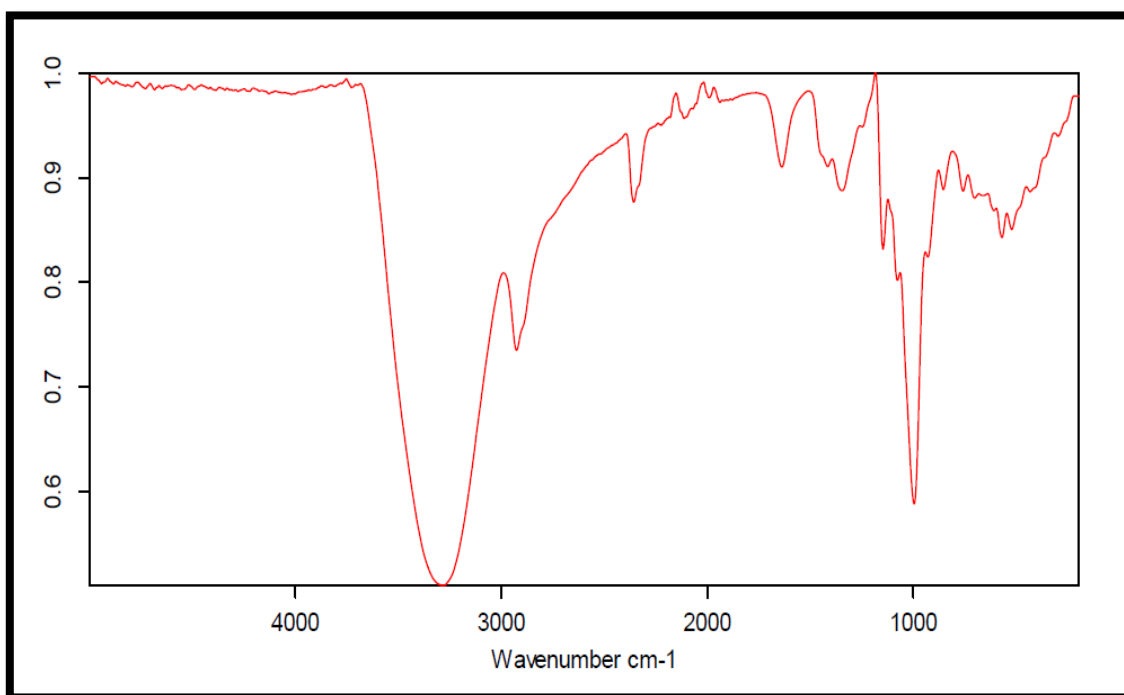


Figure IV.24 : spectre infrarouge de l'amidon

Tableau IV.11 : Bande d'absorption infrarouge de l'amidon

Vibration	Attribution	Nombre d'onde (cm ⁻¹)
Elongation	H ₂ O	3288
Elongation	CH ₂	2926
Déformation	H ₂ O	1638
Déformation	CH ₂ , CH	1459
Déformation	CH ₂ , CH	1416
Déformation	C-O-C α	1346
Déformation	Liaison glucose	1147
Déformation	C-O-C	1077
Elongation	Unité glucose	1020

IV.1.2. Analyse structurale du carbonate de calcium

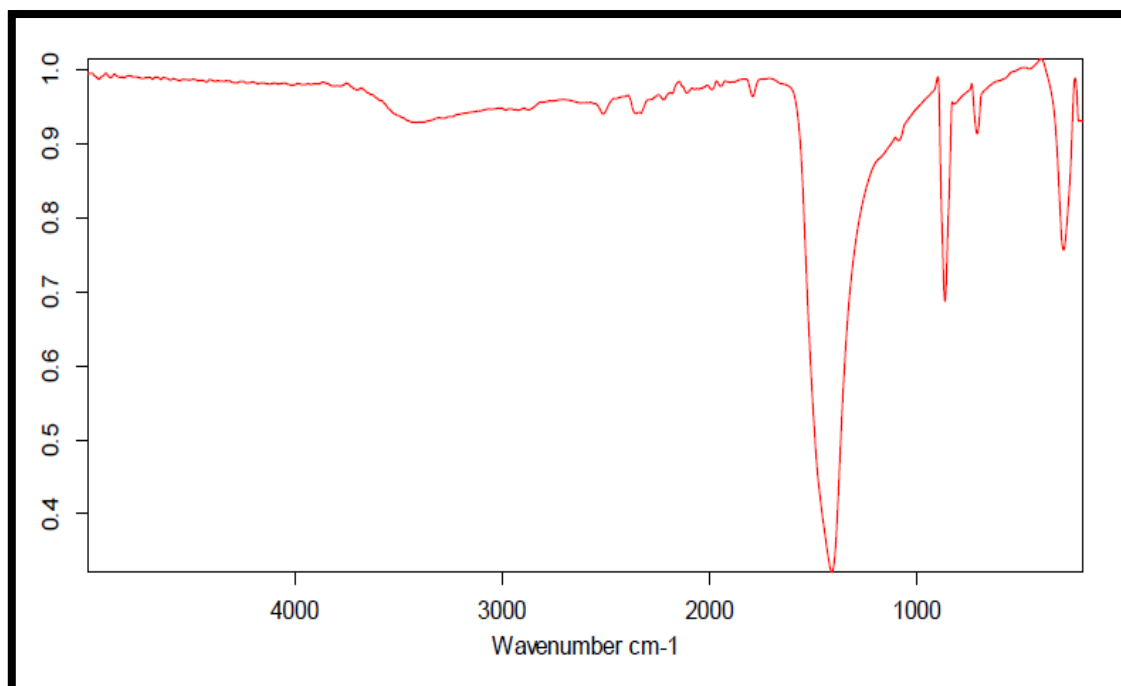


Figure IV.25 : Spectre infrarouge du carbonate de calcium

Tableau IV.12 : Bande d'absorption du carbonate de calcium

Vibration	Attribution	Nombre d'onde (cm ⁻¹)
Elongation intense	C-O	1409
Elongation faible et moyenne	C-O	1088
Déformation faible	C-O	865

IV.2 Observation microscopique des biocomposites

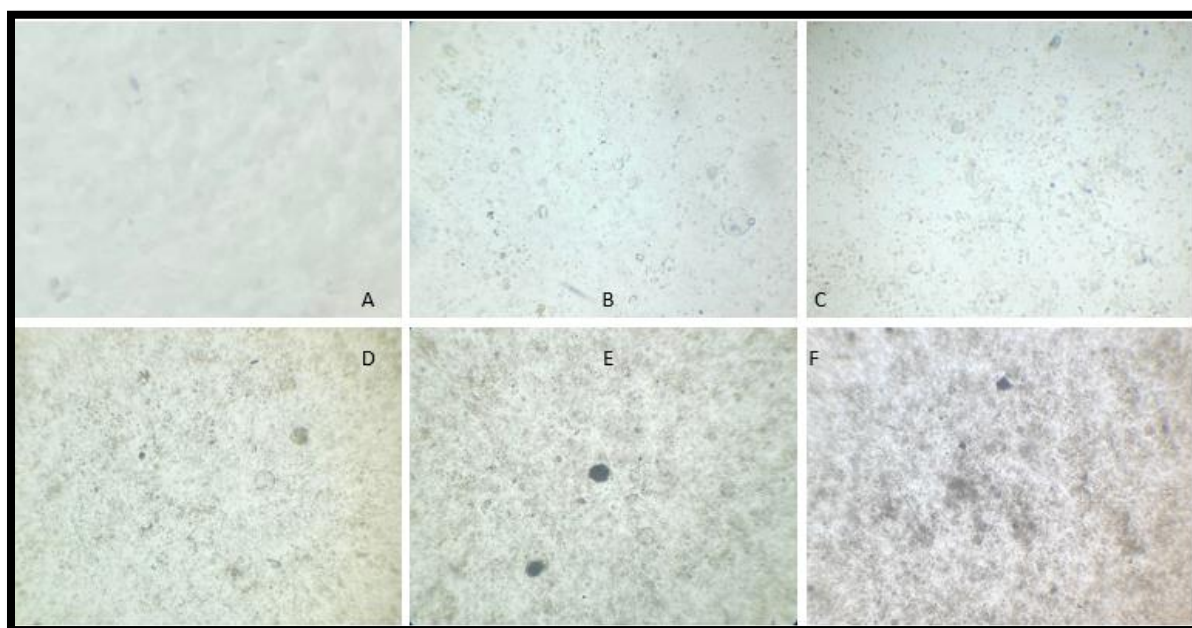


Figure IV.26 : Observation microscopique des différents biocomposites "A" biopolymères sans charge, "B" biocomposite à 1% de charge, "C" biocomposite à 2% de charge, "D" biocomposite à 3% de charge, "E" biocomposite à 4% de charge, "F" biocomposite à 5% de charge

D'après la figure on peut observer d'abord au niveau de la vue microscopique « A » qui représente la matrice de l'amidon sans le renfort de carbonate de calcium, dans la matrice « B » démontre la dispersion des particules de CaCO₃, la matrice « C » montre une dispersion exfolié du carbonate de calcium au sein de cette dernière ; dans la matrice « D » il y a une coalescence ; concernant « E » et « F » il y a une formation d'agrégat dû à la mauvaise dispersion.

IV.3. Evaluation de la dégradation des biocomposites

IV.3.1. Dégradation des biocomposites à l'air libre

La figure IV.4. Ci-dessous décrit la variation de la masse du à l'exposition des biocomposites à l'air libre durant 30 jours.

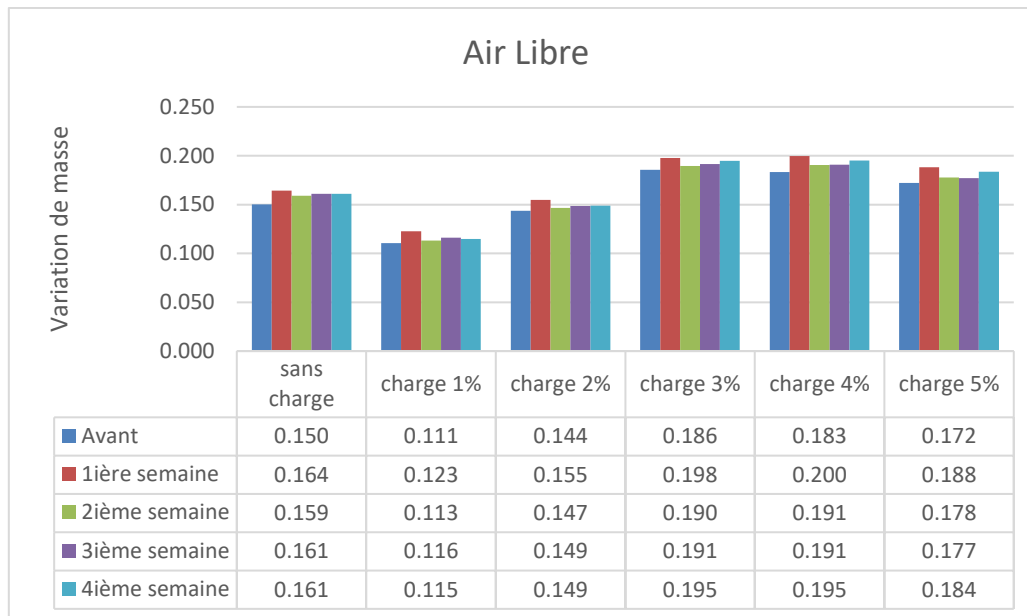


Figure IV.27 : Dégradation des biocomposites à l'air libre

- **Interprétation**

On constate la présence de résultat aléatoire entre les différents biocomposite de différentes charges, d'après le graphique présenté dans la figure ... ; on peut remarquer une augmentation de la masse d'environ 10 % durant la première semaine qui est suivi d'une perte de masse pendant les semaine qui les succèdes sans pour autant avoir un poids inférieur au poids initial.

IV.3.2. Dégradation des biocomposites dans l'eau de mer

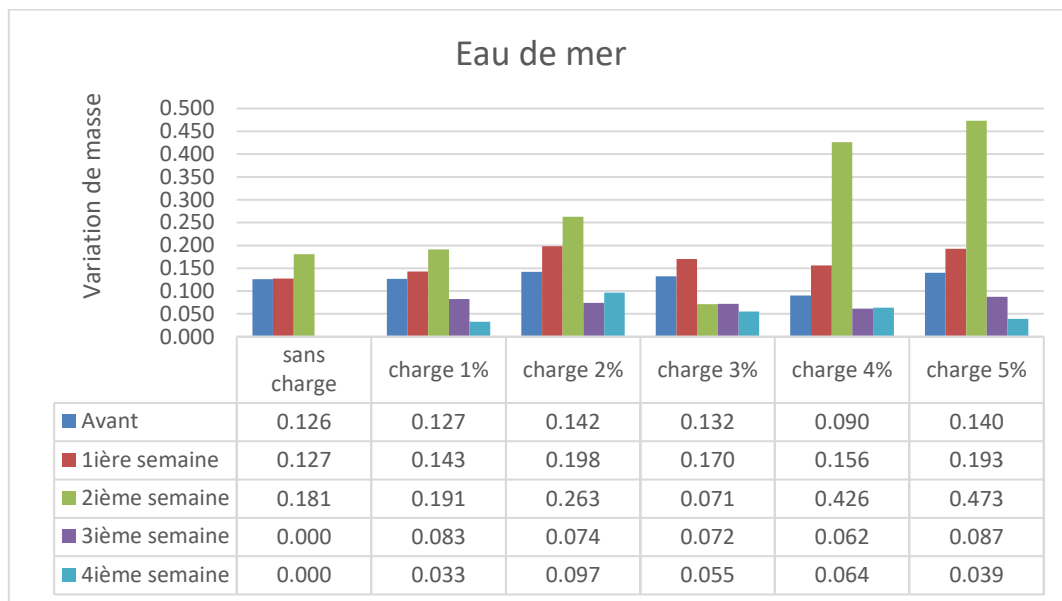


Figure IV.28 : Dégradation des biocomposites dans l'eau de mer

- **Interprétation**

En ce qui concerne la dégradation dans de l'eau de mer à première vue on peut constater une nette augmentation de la masse durant la 1^{ière} semaine surtout pour les biocomposites de 4 et 5% de charge ; aussi le point le plus remarquable c'est la dégradation total des biocomposites sans renfort minéral sachant qu'arrivant à la 2^{ième} semaine ces derniers se sont complètement désintégré.

IV.3.3. Dégradation des biocomposites dans l'eau minérale

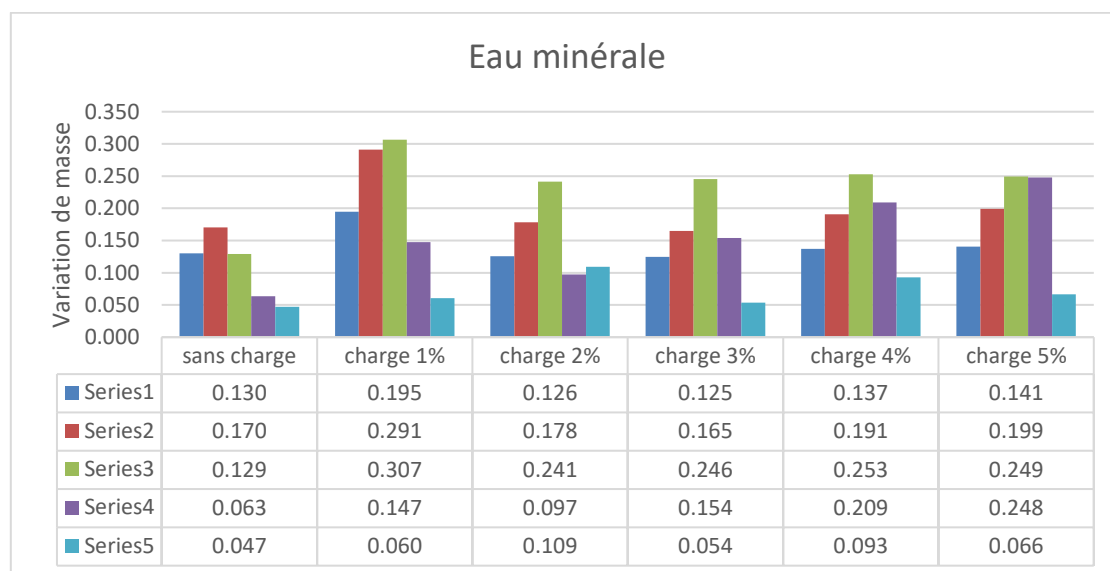


Figure IV.29 : Dégradation des biocomposites dans l'eau minérale

- **Interprétation**

D'après la figure IV.6 on constate une augmentation du poids des biocomposites durant la 1^{ière} semaine avec un pic lors de la 2^{ième} semaine, suivi directement par une remarquable baisse du poids surtout lors de la 4^{ième} semaine

IV.3.4. Dégradation des biocomposites dans la terre

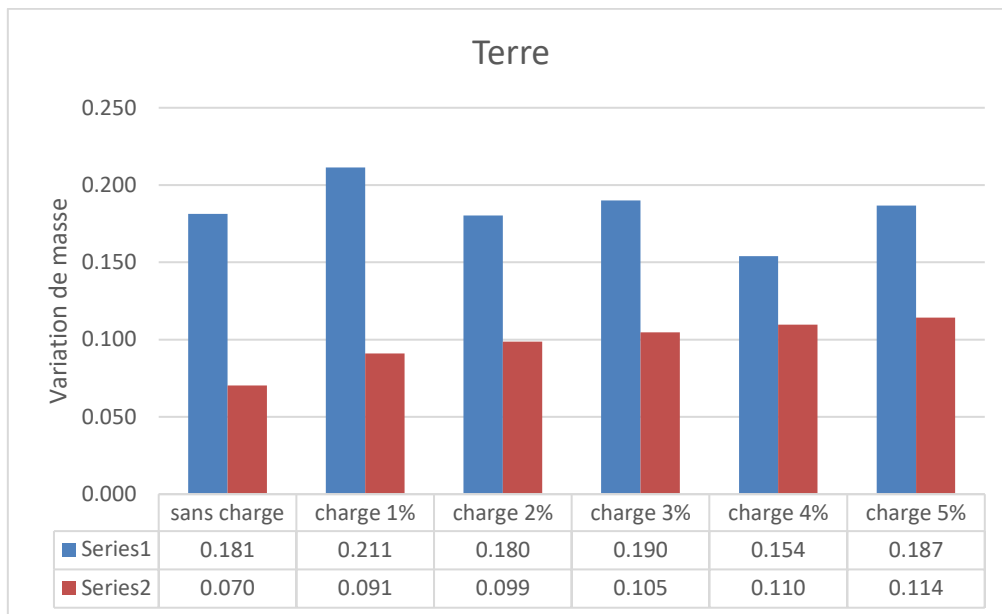


Figure IV.30 : Dégradation des biocomposites dans la terre

- **Interprétation**

En ce qui concerne la dégradation des biocomposites dans de la terre la mesure du poids de ces derniers a été effectué à un intervalle de 30 jours, il est assez remarquable que le poids initial à diminuer pour chacun des biocomposites quel que soit sa charge mais la plus grande baisse concerne surtout le biocomposites renfort minéral.

IV.3.5. Evaluation de la dégradation du biopolymère sans charge dans les différents milieux

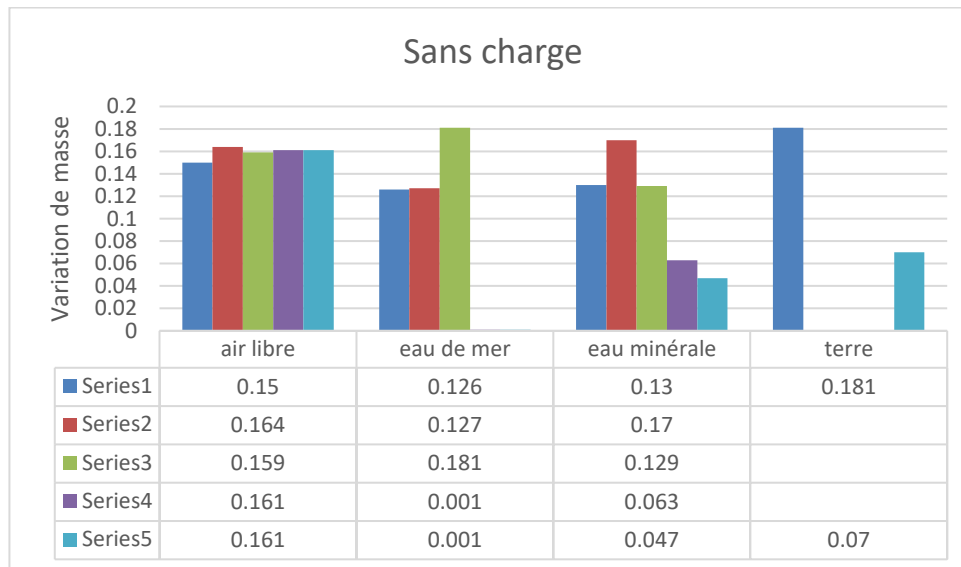


Figure IV.31 : Dégradation du biopolymère sans charge dans les différents milieux

- **Interprétation**

La figure IV.8 décrit les différentes variations de masse du biopolymère à base d'amidon naturelle dans les différents milieux utilisés pour l'étude de la dégradation

- Premièrement : la dégradation à l'air libre on remarque une augmentation de masse cela étant sûrement dû à l'absorption d'humidité et de lumière
- Deuxièmement : la dégradation dans l'eau de mer elle se divise en deux phase d'abord une augmentation de masse lors des deux premières semaines suivi directement d'une phase de perte de masse voir jusqu'à complète désintégration
- Troisièmement : On remarque une augmentation de la masse du biopolymère lors de la première semaine suivi directement d'une baisse régulière de la masse durant les semaines qui succèdent
- Quatrièmement : on constate une nette dégradation du biopolymère dans la terre sachant que sa masse initial a diminué d'environ plus de la moitié.

IV.3.6. Evaluation de la dégradation du biocomposite à 1% de charge dans les différents milieux

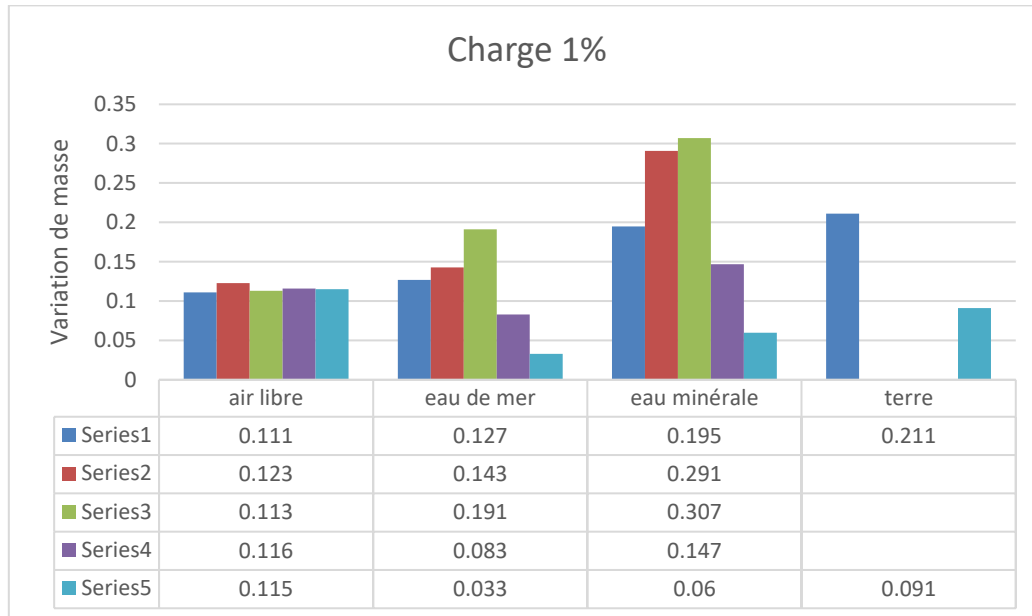


Figure IV.32 : Dégradation du biocomposite à 1% de charge dans les différents milieux

• Interprétation

La figure IV.9 décrit les différentes variations de masse du biocomposite à base de charge 1% dans les différents milieux utilisés pour l'étude de la dégradation.

- Premièrement : la dégradation à l'air libre on remarque une augmentation de masse du la première semaine suivi directement d'une diminution de celle si puis on notera une légèrement augmentation suivi d'une baisse ; ceci est clairement un résultat très aléatoire.
- Deuxièmement : la dégradation dans l'eau de mer elle se divise en deux phase d'abord une augmentation de masse lors des deux premières semaines avec un pic à la 2^{ème} semaine, suivi directement d'une phase de perte de masse voir durant les deux semaines suivante.
- Troisièmement : On remarque une augmentation de la masse du biocomposite lors de la première et deuxième semaine suivi directement d'une baisse régulière de la masse durant les semaines qui succèdent.
- Quatrièmement : on constate une nette dégradation du biocomposite dans la terre.

IV.3.7. Evaluation de la dégradation du biocomposite à 2% de charge dans les différents milieux

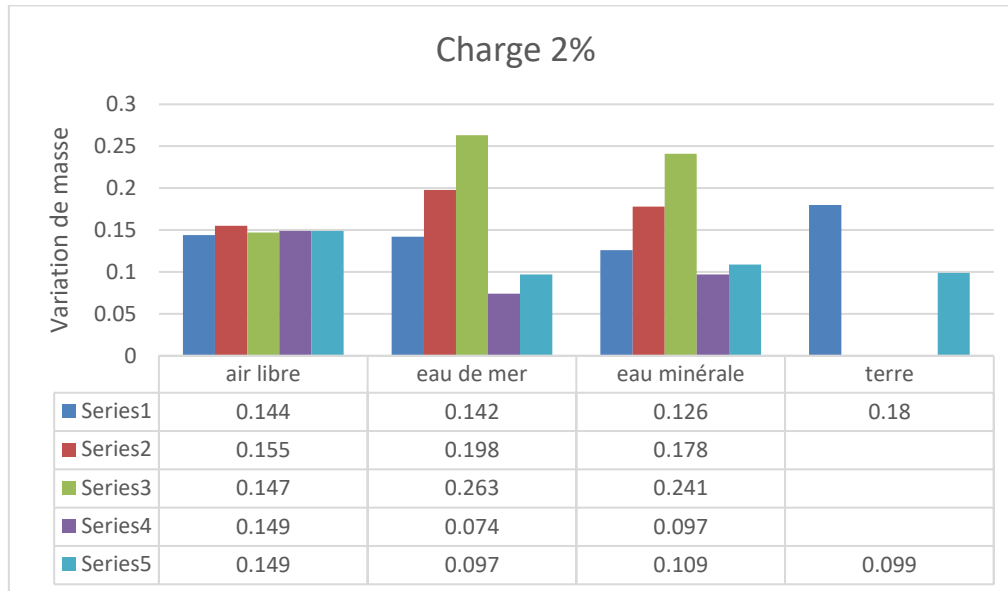


Figure IV.33 : Dégradation du biocomposite à 2% de charge dans les différents milieux

- **Interprétation**

La figure IV.10 décrit les différentes variations de masse du biocomposite à base de charge 2% dans les différents milieux utilisés pour l'étude de la dégradation.

- Premièrement : la dégradation à l'air libre on remarque une légère augmentation de masse durant la première semaine suivi d'une diminution modéré dans les semaine qui succède.
- Deuxièmement : la dégradation dans l'eau de mer elle se divise en deux phase d'abord une augmentation de masse lors des deux premières semaines avec un pic à la 2^{ième} semaine, suivi directement d'une phase de perte de masse voir durant la semaine suivante puis une légère augmentation pendant la 4^{ième} semaine.
- Troisièmement : On remarque une augmentation de la masse du biocomposite lors de la première et deuxième semaine suivi directement d'une baisse régulière de la masse durant les semaines qui succèdent.
- Quatrièmement : on constate une nette dégradation du biocomposite dans la terre.

IV.3.8. Evaluation de la dégradation du biocomposite à 3% de charge dans les différents milieux

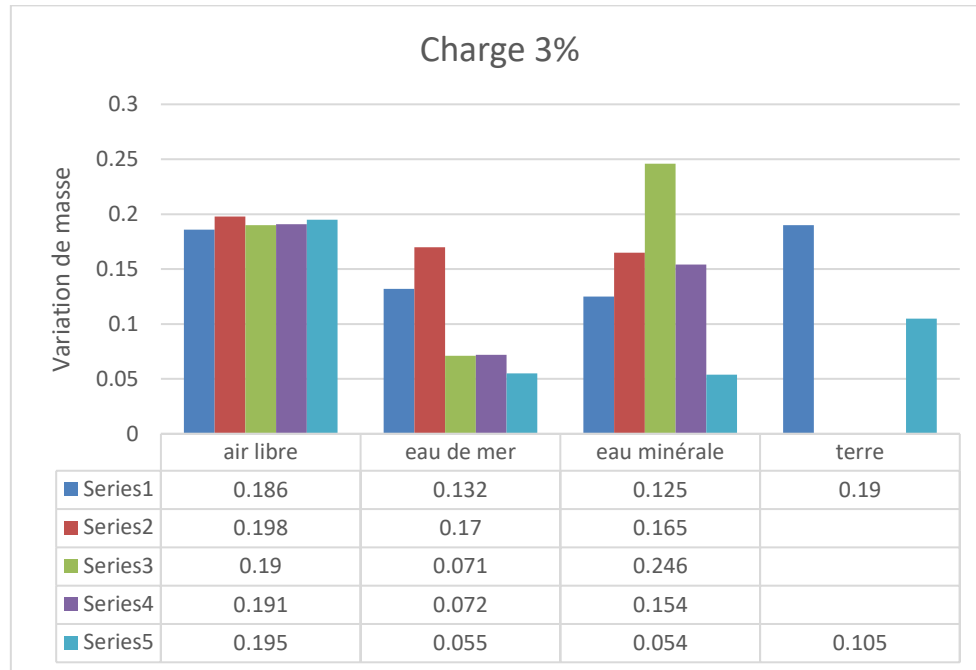


Figure IV.34 : Dégradation du biocomposite à 3% de charge dans les différents milieux

• Interprétation

La figure IV.11 décrit les différentes variations de masse du biocomposite à base de charge 3% dans les différents milieux utilisés pour l'étude de la dégradation.

- Premièrement : Pour la dégradation à l'air libre on a augmentation de la masse durant la première semaine suivi d'une diminution modéré voir constante dans les semaine qui succède.
- Deuxièmement : la dégradation dans l'eau de mer elle on a d'abord une augmentation de masse lors de la première semaine, suivi directement d'une de perte constate de masse durant la 2^{ème} et 3^{ème} semaine puis une diminution pendant la 4^{ème} semaine.
- Troisièmement : pour la dégradation de l'eau minérale. On constate une augmentation de la masse du biocomposite lors de la première semaine suivi d'un pic lors de la deuxième semaine puis directement d'une baisse de la masse durant les semaines qui succèdent.
- Quatrièmement : on remarque une nette dégradation du biocomposite dans la terre.

IV.3.9. Evaluation de la dégradation du biocomposite à 4% de charge dans les différents milieux

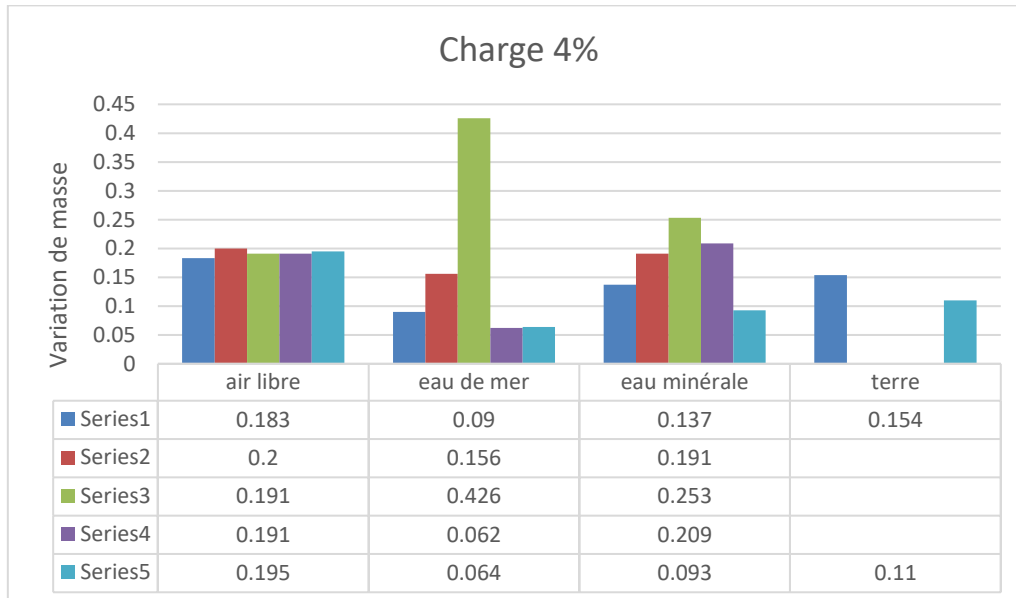


Figure IV.35 : Dégradation du biocomposite à 4% de charge dans les différents milieux

- **Interprétation**

La figure IV.12 décrit les différentes variations de masse du biocomposite à base de charge 4% dans les différents milieux utilisés pour l'étude de la dégradation

- Premièrement : Pour la dégradation à l'air libre on a augmentation de la masse durant la première semaine suivi d'une diminution modéré voir constante dans les semaines qui succèdent.
- Deuxièmement : Pour la dégradation dans l'eau de mer elle on a d'abord une augmentation de masse lors de la première semaine, suivi d'un pic lors de la 2^{ème} semaine puis une diminution constante dans les semaines qui suivent.
- Troisièmement : pour la dégradation de l'eau minérale on a constaté une augmentation de la masse du biocomposite pendant de la première semaine suivi d'un pic lors de la deuxième semaine puis une légère baisse de la masse à la 3^{ème} semaine suivi directement d'une baisse remarquable à la 4^{ème} semaine.
- Quatrièmement : on remarque une nette dégradation du biocomposite dans la terre.

IV.3.10. Evaluation de la dégradation du biocomposite à 5% de charge dans les différents milieux

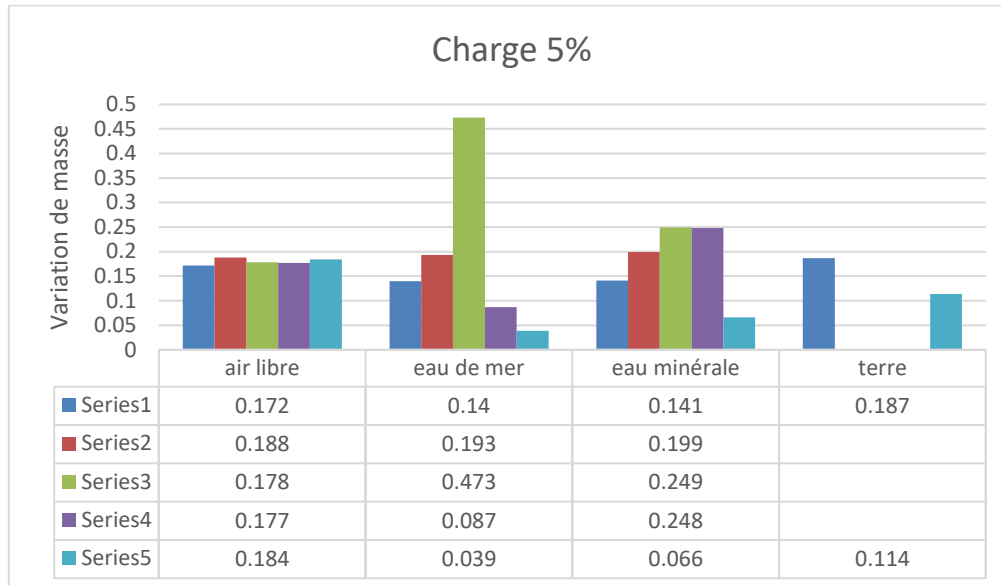


Figure IV.36 : Dégradation du biocomposite à 5% de charge dans les différents milieux

- **Interprétation**

La figure IV.13 décrit les différentes variations de masse du biocomposite à base de charge 4% dans les différents milieux utilisés pour l'étude de la dégradation.

- Premièrement : Pour la dégradation à l'air libre on a augmentation de la masse durant la première semaine suivi d'une diminution et augmentation aléatoire durant les semaines qui succède.
- Deuxièmement : Pour la dégradation dans l'eau de mer elle on a d'abord une augmentation de masse lors de la première semaine, suivi d'un pic lors de la 2^{ème} semaine puis une nette diminution dans les semaines qui suivent.
- Troisièmement : pour la dégradation dans l'eau minérale on a constaté une augmentation de la masse du biocomposite pendant de les trois premières semaines jusqu'à avoir une importante perte de masse à la 4^{ème} semaine.
- Quatrièmement : on remarque une nette dégradation du biocomposite dans la terre.

IV.4. Discussion des résultats obtenus

La dégradation subite par les biocomposites à différentes charge minéral dans les différents milieux étudié a donné les résultats suivant :

- A l'air libre

On a remarqué une légère augmentation de poids au niveau de tous les échantillons du a un gonflement causé par la présence de l'humidité et l'absorbance de certains photons.

- Dans l'eau de mer

En ce qui concerne la dégradation dans de l'eau de mer à première vue on constate une augmentation des masses durant la 1^{ière} semaine ceci est due à l'absorption d'eau ; aussi le point le plus remarquable c'est la dégradation total des biocomposites sans renfort ceci confirme le fait que la carbonate de calcium aide a renforcé les biopolymères à base d'amidon.

- Dans l'eau minérale

On peut faire la même conclusion que celle faite pour la dégradation dans de l'eau de mer, à la seule différence qu'on a pas pu observer une dégradation totales des biocomposites cela est surement dues à la composition de l'eau qui est moins salées et pauvre en sels contrairement à l'eau de mer.

- Dans la terre

Pour l'évaluation de la dégradation dans ce milieux on a pris l'initiative de faire la pesée uniquement après 30 jours pour ne pas faussé les résultats obtenus car durant la première semaine il était déjà possible d'observer une dégradation au point qu'il était difficile de tenir les biocomposites sans les abimés.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif principal de ce mémoire est de synthétiser un biocomposite à base d'amidon renforcé par une charge minérale carbonate de calcium. Pour atteindre cet objectif on a d'abord en premier lieu effectué une synthèse bibliographique où on s'est intéressé à définir les biopolymères leurs types, leurs propriétés, leurs domaines d'application et leur synthèse. En deuxième lieu il y a la partie expérimentale qui décrit les méthodes utilisées, l'étude structurale des différents constituants des biocomposites élaborés amidon et CaCO_3 qui confirme la pureté des matières premières utilisées dans ce travail. Aussi dans cette partie nous exposons les résultats obtenus. Ils nous permettent de tirer les conclusions suivantes :

D'abord l'observation microscopique montre une dispersion exfoliée du carbonate de calcium au sein des matrices à haute charge minérale, une présence de coalescence et une formation d'agrégat dû à la mauvaise dispersion

Ensuite la dégradation à l'air libre où 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

Puis la dégradation dans l'eau de mer où test de gonflement montrent que l'absorption de l'eau de mer par le biopolymère réalisé augmente dans les échantillons non renforcé et renforcé par le carbonate de calcium par contre on a constaté que l'absorption de l'eau est diminuée dans les biocomposites amidon/ CaCO_3 à haute charge minérale. Cette diminution est peut être expliquée par l'augmentation des interactions entre la matrice d'amidon et les particules de la charge où les biocomposites deviennent imperméable.

Aussi la dégradation dans l'eau minérale aussi appelé test de gonflement a montré une hausse remarquable du poids des biocomposites durant les premières semaines dus à l'absorption en eau mais toutefois on n'est pas parvenu à une dégradation totale comme dans l'eau de mer, ceci étant sûrement dû à la composition chimique de cette dernière.

Sans oublier la dégradation dans la terre où compostage aérobie comme souvent appelé dans les ouvrages scientifiques est une méthode efficace pour la dégradation des biocomposites sachant qu'elle a donné des résultats remarquables avec des taux de décomposition atteignant plus de 70%. Cette dégradation est plus souvent due à la présence de microorganismes dans la terre qui vont utiliser les biopolymères ou biocomposites comme substrat.

Conclusion générale

Pour finir on peut conclure que plus le taux de charge ou taux de renfort augmente plus la dégradation devient complexe et plus lente. Ceci prouve que les biocomposites ont de meilleures propriétés physiques, chimiques et mécaniques mais reste tout de même un matériau biodégradable et inoffensif à l'environnement.

Référence bibliographique

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1]. Rabetafika, H. N., Paquot–FUSAG, M., Janssens, L., Castiaux–FUNDP, A., & Dubois-UMH, P. (2006). Développement durable et ressources renouvelables. *Projet CP/45, Janvier*.
- [2]. Siham, K. Etude De Vieillessement Naturel D'un Biopolymère Renforcé par une Charge Organique.
- [3]. Jouraiphy, A. (2007). *Compostage des boues activées déchets verts, analyse physicochimiques, microbiologiques, toxicologiques, bilan humique et valorisation agronomique* (Doctoral dissertation, Thèse de doctorat, Université Caddi Ayyad, Faculté des sciences Semlalia, Marrakech).
- [4]. Wertz, J. L. (2011). L'amidon et le PLA: deux biopolymères sur le marché. *Note de Synthèse*.
- [5]. Amir, S. (2005). *Contribution à la valorisation de boues de stations d'épuration par compostage : devenir des micropolluants métalliques et organiques et bilan humique du compost* (Doctoral dissertation).
- [6]. Rutot, D., & Dubois, P. (2004). Les (bio) polymères biodégradables: l'enjeu de demain?. *CHIMIE NOUVELLE.*, (86), 66-74.
- [7]. Maiza, M. (2018). *Formulation et caractérisation des matériaux biodégradables à base de l'acide polylactique-Plastifiants* (Doctoral dissertation).
- [8]. Le Gal, M. (2021). *Exploration de la biodiversité microbienne marine pour la production de polyhydroxyalcanoates et étude de leur potentiel pour l'élaboration de nouveaux biomatériaux visibles en Imagerie par Résonance Magnétique* (Doctoral dissertation, Brest).
- [9]. Lapointe, R. (2012). *Bioplastiques biodégradables, compostables et biosourcés pour les emballages alimentaires, distinctions subtiles mais significatives* (Doctoral dissertation, Université de Sherbrooke.).
- [10]. El Hadji Babacar, L. Y. (2008). Nouveaux matériaux composites thermoformables à base de fibres de cellulose. *Institut National Polytechnique de Grenoble*.

Références bibliographiques

- [11]. Vera, J., Castro, J., Gonzalez, A., & Moenne, A. (2011). Seaweed polysaccharides and derived oligosaccharides stimulate defense responses and protection against pathogens in plants. *Marine drugs*, 9(12), 2514-2525.
- [12]. Laurin, F., Paulmier, P., & Irisarri, F. X. (2017, June). Détermination de la résistance de compression longitudinale d'un pli UD Carbone/Epoxy à partir d'un essai de traction sur stratifié. In *Journées Nationales sur les Composites 2017*.
- [13]. Thiry, M., Rigo, P., Thelen, N., & Goosse, V. (2022). Biologie cellulaire. *Je me trompe donc j'apprends*.
- [14]. Galaju, M. (2020). Le comportement des matériaux composites par rapport aux matériaux simples.
- [15]. Petit, M., Malek, A., Drif, M., & Belhamel, M. (2010). Etudes sur le diagramme de phase des matériaux composites à base d'un cristal liquide ferroélectrique stabilisé par un réseau de polymère et leurs propriétés thermo microscopiques et électro-optiques. *Journal of Renewable Energies*, 13(2), 311-326.
- [16]. Petit, M., Malek, A., Drif, M., & Belhamel, M. (2010). Etudes sur le diagramme de phase des matériaux composites à base d'un cristal liquide ferroélectrique stabilisé par un réseau de polymère et leurs propriétés thermo microscopiques et électro-optiques. *Journal of Renewable Energies*, 13(2), 311-326.
- [17]. Besson, F. (2013). *Mélanges de polymères thermoplastiques à matrice biosourcée: amélioration de la résistance au choc d'un dérivé cellulosique* (Doctoral dissertation, Paris, ENMP).
- [18]. Soria Fernández, A. (2020). *Développement d'un biocomposite avec fibres naturelles pour l'emballage de yaourts* (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- [19]. PLASTIQUES, D. T. D. M., & SECURITE, F. D. D. SIMULATION DU PROCÉDÉ DE FABRICATION DIRECTE DE PIÈCES THERMOPLASTIQUES PAR FUSION LASER DE POUDRE Calcaire ou eau agressive en AEP: comment y remédier? 4 ème PHYSIQUE-CHIMIE TRIMESTRE 1. Sylvie LAMY Agrégée de Mathématiques Diplômée de l'École Polytechnique. PROGRAMME 2008 (v2. 4) Unité fonctionnelle de référence, à laquelle sont rapportés les impacts environnementaux du Chapitre 2 Acides et bases. Acides et bases Page 1 sur 6.

Références bibliographiques

- [20]. LANTONKPODE, S., ADJOVI, E. C., DOKO, V. K., AHLINHAN, M. F., & AMADJI, A. T. (2018). Etude d'une maison en éco-matériaux bois-plastique.
- [21]. Gobat, J. M., Aragno, M., & Matthey, W. (2010). *Le sol vivant: bases de pédologie, biologie des sols* (Vol. 14). PPUR Presses polytechniques.
- [22]. Diaz, L. (2019). Upcycling: Enjeux du designer couleur et matière.
- [23]. Charlet, K. (2008). *Contribution à l'étude de composites unidirectionnels renforcés par des fibres de lin: relation entre la microstructure de la fibre et ses propriétés mécaniques* (Doctoral dissertation, Université de Caen/Basse-Normandie).

Résumé

Ces dernière décennie, les plastiques d'origine fossile font l'objet de critique surtout vis a vie de leur dégradation dans l'environnement, de ce faite la population mondial essayi de se tourner vers des alternatives plus éco-friendly donc l'utilisation de biopolymères et biocomposites d'origine biologiques. L'objectif de ce travail est d'élaboré un biopolymère à base d'amidon naturelle renforcé par une charge minérale de carbonate de calcium CaCO_3 . Des différentes analyses structuraux ont été effectuées tels que l'analyse spectroscopie FTIR et l'observation microscopique. Aussi la biodégradation des biocomposites a été effectuer suivant plusieurs test dans des différent milieux de dégradation ; comma dans l'air libre pour le test de vieillissement naturel ; dans l'eau de mer et l'eau minéral pour le test de gonflement et dans la terre pour l'essai de compostage. Les résultats obtenus montrent que le l'incorporation d'une charge minérale comme le carbonate de calcium (CaCO_3) augmente la résistance à la dégradation des biocomposites.

Mots clés : Amidon, Biopolymères, Biodégradables, Biocomposites, Charge minérale, Carbonate de calcium.

Abstract

In the last decade, plastics of fossil origin have been the subject of criticism, especially with regard to their degradation in the environment; as a result, the world population is trying to turn to more eco-friendly alternatives, therefore the use of biopolymers and biocomposites of biological origin. The objective of this work is to develop a biopolymer based on natural starch reinforced by a mineral filler of calcium carbonate CaCO_3 . Various structural analyzes were carried out such as FTIR spectroscopy analysis and microscopic observation. Also the biodegradation of biocomposites was carried out following several tests in different degradation media; comma in the open air for the natural aging test; in seawater and mineral water for the swelling test and in soil for the composting test. The results obtained show that the incorporation of a mineral filler such as calcium carbonate (CaCO_3) increases the resistance to degradation of biocomposites.

Keywords: Biopolymers, Biodegradation, Biocomposites, Mineral filler, potato starch, Calcium carbonate.

المخلص

في العقد الماضي، تعرضت المواد البلاستيكية ذات الأصل الأحفوري للنقد، خاصة فيما يتعلق بتدهورها في البيئة، ونتيجة لذلك يحاول سكان العالم التحول إلى بدائل أكثر صداقة للبيئة، وبالتالي استخدام البوليمرات الحيوية والمركبات الحيوية من أصل بيولوجي. الهدف من هذا العمل هو تطوير البوليمر الحيوي على أساس النشا الطبيعي المقوى بواسطة حشو معدني من كربونات الكالسيوم. $CaCO_3$ تم إجراء العديد من التحليلات الهيكلية مثل التحليل الطيفي FTIR والمراقبة المجهرية. كما تم إجراء التحلل الحيوي للمركبات الحيوية بعد عدة اختبارات في وسط تحلل مختلف؛ فاصلة في الهواء الطلق لاختبار الشبخوخة الطبيعي؛ في مياه البحر والمياه المعدنية لاختبار الانتفاخ وفي التربة لاختبار التسميد. تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن دمج حشو معدني مثل كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) يزيد من مقاومة تحلل المركبات الحيوية.

الكلمات المفتاحية: النشا، البوليمرات الحيوية، المواد القابلة للتحلل، المركبات الحيوية، المواد المألثة المعدنية، كربونات الكالسيوم.