



Université kasdi Merbah Ouargla

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie Procédés

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Génie de Procédés



Mémoire de fin d'études

***En vue de l'obtention du diplôme de Master
académique en Génie des Procédés***

Option : Génie Chimique

Présenté par : Safia Hachani

Thème :

Contribution à la synthèse de bioplastique

Soutenu publiquement le : 12/06/2023

Devant le jury composé de :

Zoubidi Nawel	MCB	Président	UKM Ouargla.
Rahmani Abdelatif	MCB	Examineur	UKM Ouargla.
ZIGHMI Souad	MCB	Rapporteur	UKM Ouargla.

Année universitaire : 2022/2023



Dédicace

Tout d'abord, je tiens à remercier DIEU De m'avoir donné la force
et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Je tiens à dédier cet humble travail à :

A ma tendre mère et mon très cher père

A mes sœurs : *Salima, Souad, Hafida*

A mon fiancé : *Ismail et sa famille*

A mes meilleurs amis : *Fatima*

A Toute ma **famille**, mes **amis** et *Khadija*

safia



Remerciements

Avant tout, mes remerciements infinis sont adressés à « Allah »

*L'encadrement scientifique de ce travail a été assuré par **Dr. Souad ZIGHMI** à l'université d'Ouargla. je tiens à la remercier chaleureusement pour sa compréhension, son aide, sa patience et son intérêt pour mon sujet de recherche, ainsi que pour sa présence autant que possible malgré ses autres tâches.*

Je remercie également tous les membres du jury pour leur intérêt et leur jugement sur le travail soumis.

*Mes remerciements vont également l'aide apporté de la part de monsieur le professeur **Ammar MESSAITFA** qui nous a accueillis dans leur laboratoire.*

*je remerciement aussi M^{elle} **Assma Ayachi Omer** pour leur aide durant la réalisation de ce travail.*

ملخص

يخضع تصنيع اللدائن الحيوية (البلاستيك الحيوي) غير الضارة للإنسان والبيئة حاليًا للعديد من الأبحاث نظرًا للمشاكل التي تطرحها المواد البلاستيكية التقليدية القابلة للتحلل. في هذه الدراسة، يتم تصنيع البلاستيك الحيوي باستخدام الطحالب كمادة خام. في الواقع، فإن استخراج نشا الطحالب يعطينا مردود مرتفع يصل إلى 90%. هذا يسمح لنا بالقول إن استخدام الطحالب هو خيار مثير للاهتمام في هذا المجال. تم إجراء دراسة قابلية ذوبان البلاستيك الحيوي أيضًا، وأظهرت النتائج لنا أن البلاستيك الحيوي الخاص بنا قابل للذوبان في المذيبات المختارة، وبالتالي فهو غير ملوث للبيئة .

الكلمات المفتاحية: الطحالب، النشا، البلاستيك الحيوي، البيئة، الذوبان.

Résumé

La synthèse de bioplastiques non nocif pour l'être humain et l'environnement, fait l'objet de plusieurs chercheurs actuellement, vue les problèmes posés par les plastiques classiques qui sont biodégradables. Dans cette étude, la synthèse des bioplastiques est effectuée par l'utilisation d'algues comme matière première. En effet, l'extraction d'amidon d'algues, nous donne des rendements élevés atteint jusqu'à 90% pour l'algue 90%. Ce qui nous permet de dire que l'utilisation des algues est un choix intéressant dans ce domaine. L'étude de la solubilité des algues a été également effectuée, les résultats nous montrent que nos bioplastiques sont soluble dans les solvants choisis, et donc il n'est pas pollué pour l'environnement.

Mots clés : Algues, Amidon, Bioplastiques, Environnement, solubilité.

SOMMAIRE

Sommaire.....	I
Liste des figures.....	III
Liste des tableaux.....	V
Liste des abréviations et des symboles.....	VII

Introduction générale.....	01
-----------------------------------	-----------

CHAPITRE II: Généralités sur les algues

I. 1. Introduction	3
I. 2. Définition.....	3
2. 1. Caractéristiques des algues	3
I. 3. La Classification d'algues	3
3. 1. Les bases du classement	3
3. 2. Les grands groupes d'algues	4
3. 2.1. Les algues bleues (cyanobactéries ou cyanophytes)	4
3. 2. 2. Les algues vertes (Chlorophycées)	4
3. 2. 3. Les algues rouges (Rhodophycées).....	5
3. 2. 4. Les algues brunes (Phéophycées).....	6
I. 4. Habitat et conditions de vie	6
I. 4. 1. Habitat des algues.....	6
I. 4. 2. Conditions de vie des algues	6
4. 2. 1. La lumière	6
4. 2. 1. Le substrat	7
I. 5. Rôle des algues	7
I. 6. Conclusion.....	7

CHAPITRE II: Généralités sur les bioplastiques

II. Introduction.....	8
II. 2. Définition des Bioplastiques	9
II. 3. Développement des bioplastiques.....	9
II. 5. Sources de bioplastique.....	11
II. 5. 1. Les plantes comme source de bioplastiques	11
II. 5. 2. Les bactéries comme source de bioplastique	11
II. 6. Classification des bioplastiques.....	13
II. 7. La différence entre les bioplastiques et les plastiques	14
II. 8. Secteurs d'application du bioplastique.....	16
II. 10. Grandes entreprises utilisant du bioplastique dans leurs produits.....	18
II. 11. Cycle de bioplastique	19
II. Conclusion	20

CHAPITRE III: Expérimentation

III. 1. Introduction.....	21
III. 2. La récolte des algues	21
III. 3. Identification des algues	21
III. 4. Préparation des échantillons.....	22
III. 5. Amidon d'algues.....	23
5. 1. Définition et fonctionnalités.....	23
5. 2. Teste de la présence d'amidon dans les algues.....	23
5. 3. Extraction d'amidon	25
5. 3. 1. Protocole l'Extraction d'amidon.....	25
6. 1. Produits et matériels.....	25
6. 2. Mode opératoire.....	26
III. 7. Caractérisation des bioplastiques obtenus	27
III. 8 . étude de la solubilité des bioplastiques	27
III. 9. Conclusion	28

CHAPITRE IV: Résultats et Discussions

IV.1. Introduction	29
IV. 2. Résultats d'extraction d'Amidon	29
IV. 3. Résultats de synthèse des bioplastiques	29
IV. 4. Caractérisation des bioplastiques obtenus	30
IV. 5. Le Rendement de bioplastique	31
IV. 6. Résultats des tests de solubilité	31
IV. 6. 1. Solubilité de bioplastique d'algue Navicula	31
6. 1. 1. La solubilité de bioplastique synthétisé à partir d'amidon d'algue Navicula	31
IV. 6. 2. Solubilité de bioplastique d'algue Périphyton	33
6. 2. 1. La solubilité de bioplastique synthétisé à partir d'amidon d'algue Périphyton 33	
6. 2. 2. La solubilité de bioplastique synthétisé à partir d'algue Périphyton	33
IV. 6. 3. Solubilité de bioplastique d'algue Chlorella	34
6. 3. 1. La solubilité de bioplastique synthétisé à partir d'algue d'amidon Chlorella ...	34
6. 3. 2. La solubilité de bioplastique synthétisé à partir d'algue Chlorella	35
IV. 6. Conclusion	36
- Conclusion générale	37
- Références	38

LISTE DES FIGURES

Numéro de figure	Titre de la figure	Numéro de page
Figure I. 1	Algues bleu-vert	4
Figure I. 2	Algues vertes	5
Figure I. 3	Algues rouges	5
Figure I. 4	Algues brunes	6
Figure I. 5	Le principe de la photosynthèse des algues	7
Figure II. 1	Représentation schématique des approches technologiques dans la production de bioplastiques commerciaux	9
Figure II. 2	(De gauche à droite) Epingle à cheveux 1920/1950 en celluloid, Boutons 1920/1940 à base de caséine	10
Figure II. 3	Chronologie des bioplastiques avec les époques	10
Figure II. 4	Structures chimiques de l'amylose et de l'amylopectine	11
Figure II. 5	Formule générale des polyhydroxyalcanoate (PHA)	12
Figure II. 6	Synthèse du polyacide lactique (PLA)	12
Figure II. 7	Matrice des bioplastiques	13
Figure II. 8	Exemples de bioplastiques en fonction de leurs voies de production	14

Liste des figures

Figure II. 9	Production mondiale de bioplastique par segment de marché 2022	16
Figure II. 10	Capacités mondiales de production de bioplastiques 2021-2027	17
Figure II. 11	Les grandes entreprises utilisant du bioplastique dans leurs produits	18
Figure II. 12	Montre un cycle bioplastique typique	19
Figure III. 1	Régions de récolte des algues	20
Figure III. 2	Séchage et broyage d'échantillant	22
Figure III. 3	Extrait de chlorophylle d'algues	23
Figure III. 4	Algues après extraction de la chlorophylle	23
Figure III. 5	Protocole l'Extraction d'amidon	24
Figure III. 6	Protocole de synthèses les bioplastiques	25
Figure III. 7	Protocole de solubilité des bioplastiques	26
Figure IV. 1	Photos des bioplastique synthétisé à partir d'amidon d'algue.	29
Figure IV. 2	Photos des bioplastique synthétisé à partir d'algue.	30
Figure IV. 3	Solubilité de bioplastique synthétisé à partir d'amidon d'algue Périphyton	31

Liste des figures

Figure IV. 4	Solubilité de bioplastique synthétisé à partir d'algue Périphyton	32
Figure IV. 5	Solubilité de bioplastique synthétisé à partir d'amidon d'algue Chlorella	33
Figure IV. 6	Solubilité de bioplastique synthétisé à partir d'algue Chlorella	33
Figure IV. 7	Solubilité de bioplastique synthétisé à partir d'amidon d'algue Chlorella.	34
Figure IV. 8	Solubilité de bioplastique synthétisé à partir d'algue Chlorella.	35

Liste des Tableaux

Numéro de Tableau	Titre de Tableau	Numéro de page
Tableau II. 1	Mentionne les principaux avantages et inconvénients	14
Tableau III. 1	Identification d'échantillons	21
Tableau III. 2	Matériaux et produits de de mise en évidence de l'amidon	22
Tableau III. 3	Matériaux et produits de la plastification	24
Tableau IV. 1	La masse d'amidon extraite d'algues	26
Tableau IV. 2	Photographie des bioplastiques obtenus à partir d'amidon d'algues Navicula, Périphyton et Chlorella	26
Tableau IV. 3	Photographie des bioplastiques obtenus à partir d'algues Navicula, Périphyton et Chlorella.	27
Tableau IV. 4	Les masses volumiques des bioplastiques synthétisé	28
Tableau IV. 5	Le Rendement de bioplastique synthétisé à partir d'amidon d'algues	28
Tableau IV. 6	Le Rendement de bioplastique synthétisé à partir d'algues	29

Liste des abréviations

PET : Le Polyéthylène Téréphtalate

PVC : Le Polychlorure de Vinyle

PP : Le Polypropylène

PS : Le Polystyrène

PHA : Polyhydroxyalcanoates

PLA : Polyacide lactique

PTT : Poly (tr méthylène téréphtalate)

PBAT : Poly (Butylène Adipate-co-Téréphatalate)

PBS : Poly (Succinate de Butylène)

PCL : Poly esters aliphatiques

tr/min : tours par minute

°C: Degré Celsius

% : Pourcentage.

g : gramme.

ml : Millilitre

Introduction générale

Introduction Générale

La production mondiale de plastiques a déjà connu une augmentation significative au cours des dernières décennies. Selon l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), la production mondiale de plastique a doublé entre 2000 et 2019, passant de 234 millions de tonnes à environ 460 millions de tonnes [1]. Cela est dû à l'utilisation généralisée du plastique dans de nombreux domaines industriels en raison de ses propriétés particulières telles que la légèreté, la facilité de fabrication, le coût relativement faible et la durabilité [2].

L'extraction et la transformation du pétrole pour la production de plastique ont un impact significatif sur l'environnement. Cela comprend l'épuisement des ressources fossiles non renouvelables, la destruction des écosystèmes lors de l'extraction, ainsi que les émissions de gaz à effet de serre responsables du réchauffement climatique. L'augmentation du niveau de CO₂ atmosphérique résultant de ces activités contribue aux changements climatiques en cours. Pour faire face à ces problèmes, les chercheurs ont développé des alternatives aux plastiques conventionnels, connues sous le nom de bioplastiques [3].

Le bioplastique est fabriqué à partir de biomasse, qui est une ressource entièrement renouvelable. Les plastiques biodégradables sont respectueux de l'environnement, car ils émettent moins de gaz à effet de serre, se décomposent plus rapidement et nécessitent moins d'énergie pour être recyclés. Les plastiques biodégradables peuvent être réutilisés plus efficacement, ce qui leur donne un avantage distinct [4]. Diverses sources de biomasse sont utilisées comme matière première pour la production des bioplastiques, l'une des ces sources est la biomasse d'algues.

En effet, les algues sont considérées comme une ressource très prometteuse dans le domaine de la chimie verte et de la fabrication de biomatériaux. Les applications des algues dans la chimie verte et la fabrication de biomatériaux sont vastes. Elles incluent la production de bioplastiques, de biocarburants, d'engrais naturels, de produits cosmétiques et bien d'autres encore. Les recherches et le développement dans ce domaine sont en constante progression pour exploiter pleinement le potentiel des algues et développer des procédés de production plus efficaces et durables [5].

Le but ultime de ce présent travail, est la synthèse des bioplastiques à base d'algues, cependant, trois algues sont utilisés comme matière première de la synthèse des bioplastiques.

Le présent mémoire est composé, en plus d'une introduction générale et une conclusion générale, de quatre chapitres :

- Le **1^{er} chapitre** : est un chapitre théorique, réservé aux généralités sur les algues
- Le **2^{ème} chapitre** : est consacré aux généralités sur les bioplastiques
- Le **3^{ème} chapitre** : regroupe les différents produits, matériels et méthodes utilisées afin de réaliser les expérimentations de cette étude.
- Le **4^{ème} chapitre** : ce chapitre est réservé aux résultats obtenus et leurs discussions.

Chapitre I :

Généralités sur les algues

I. 1. Introduction

Les algues sont des organismes autotrophes capables de se développer grâce à la photosynthèse qui ont besoin d'eau, de dioxyde de carbone, de sels minéraux, de sucres, de protéines et de matière organique pour leur croissance [6].

Ce chapitre contient quatre parties, la première section implique des Généralités sur les algues, la deuxième partie décrit sa classification, la troisième partie traite également de son système culturel son écologique et la dernière section décrit le rôle important des algues sur l'environnement.

I. 2. Définition

Les algues sont des organismes chlorophylliens, Les Thallophytes (non vasculaires, sans feuilles, sans tige ni racine) et vivent principalement dans l'eau ou un milieu très humide. Ils contiennent tous de la chlorophylle, ce sont des végétaux. Il effectue la photosynthèse, il peut lier le carbone dans l'atmosphère ou dissoudre l'énergie lumineuse dans l'eau pour produire de la biomasse [7].

2. 2. Caractéristiques des algues

Les algues sont un groupe de plantes photosynthétiques très diverses dont l'appareil végétal relativement simple s'appelle un thalle, et elles ont des dimensions et des formes très variables. Certains sont microscopiques et d'autres mesurent plusieurs mètres de long, mais ils ont tous des caractéristiques communes [8]. Les pigments photosynthétiques des algues sont plus diversifiés que ceux des autres plantes et leurs cellules ont des caractéristiques introuvables chez les plantes et les animaux. Les microalgues contiennent jusqu'à 50 à 70 % de protéines, 30 % de lipides, plus de 40 % de glycérol, 14 % de carotène, et une concentration relativement élevée en vitamines B1, B2, B3, B6, B12, E, K, D, etc. . . . par rapport à d'autres plantes ou animaux [9].

I. 3. La Classification d'algues

3. 1. Les bases du classement

Il existe de nombreux paramètres environnementaux, biochimiques ou physiologiques dans la phylogénie algale tels que le mode d'alimentation, les structures cellulaires, les habitats, ou encore la nature et la localisation des pigments de réserve. Malgré leur extrême diversité et complexité structurale, tant d'un point de vue macroscopique que microscopique, les algues peuvent être classées en une dizaine de branches selon des critères basés sur leurs structures chromosomiques, leurs polysaccharides ou leurs caractéristiques structurales [10].

3. 2. Les grands groupes d'algues

En général, les algues regroupent quatre groupes qui sont différenciées par rapport à la couleur, Chaque groupe contient des classes, et chaque classe contient des centaines d'espèces [11].

3. 2.1. *Les algues bleues (cyanobactéries ou cyanophytes)*

C'est un groupe primitif d'algues et est considéré comme la chlorophylle végétale la plus ancienne. Il a une structure cellulaire inchangée, dont il existe 2000 espèces. Ces plantes appartiennent aux algues et sont appelées algues bleues, notamment, en raison de leur environnement aquatique et de leur couleur bleu-vert [12].

Exemple des algues bleues en *figure I. 1*.



Figure I. 1 : Algues bleu-vert [13].

3. 2. 2. *Les algues vertes (Chlorophycées)*

La classe des algues vertes comprend les algues unicellulaires ou multicellulaires qui contiennent de la chlorophylle et sont présentes dans environ 4500 espèces [14]. Leur couleur verte dénotant la présence des chlorophylles a et b et du carotène [15].

La plupart des algues vertes vivent dans des environnements d'eau douce et marins, et le développement des algues vertes se produit par la formation d'amidon lors de la photosynthèse [15]. Les algues vertes sont très sensibles à la pollution organique ou aux nitrates. Ils sont également connus pour être de bons indicateurs de la contamination par les nitrates [16]. Exemple des algues vertes en *figure I. 2*.



Figure I. 2 : Algues vertes [17].

3. 2. 3. *Les algues rouges (Rhodophycées)*

La plupart des algues rouges sont des algues marines et ne se trouvent que dans l'eau douce [18]. Appelées aussi Les RHODOPHYTES, La couleur rouge des algues est due à la présence de roséole dont le pigment rouge [15]. Elles comptent une trentaine de genres rares. En eau douce, leur couleur est bleu-vert, rouge violet. Ils comprennent environ 500 genres et 5 000 espèces, presque tous multicellulaires. Leurs tailles sont petites (1-4 cm). Et on les trouve à de grandes profondeurs car Ils acceptent souvent de se développer dans des conditions de faible luminosité, et vivent attachés à des rochers ou à des coquillages [16].

Exemple des algues rouges en figure I. 3.



Figure I. 3 : Algues rouges [19].

3. 2. 4. *Les algues brunes (Phéophycées)*

Appelées aussi Phéophycées, il existe 1800 espèces d'algues brunes [15]. Sa structure est composée de plusieurs cellules, ses dimensions sont très variables, ces algues vivent en milieu marin [20]. Exemple des algues brunes en figure I. 4.



Figure I. 4 : Algues brunes [21].

I. 4. Habitat et conditions de vie

I. 4. 1. Habitat des algues

Les algues sont liées à l'eau et peuvent dès lors s'installer dans tous les types d'habitat suffisamment éclairés et humides. On peut les retrouver en eau douce, en mer, sur sol humide et même sur la neige. Les algues étant photosynthétiques, elles sont dépendantes de la présence de la lumière. Aussi, Les algues nécessitent d'être fixées à un substrat, par conséquent, la texture, le degré de cohésion et la nature chimique du substrat ont une importance sur leur écologie [16].

I. 4. 2. Conditions de vie des algues

4. 2. 1. *La lumière*

Les algues sont des plantes photosynthétiques qui ont besoin de lumière pour qui le processus de photosynthèse, car cette énergie lumineuse va la convertir en énergie chimique, assurant ainsi la poursuite de sa vie, La lumière joue un rôle dans la qualité et la quantité, Les algues dépendent de la transparence de l'eau pour leur croissance [15]. Le principe de la photosynthèse des algues en figure I. 5.

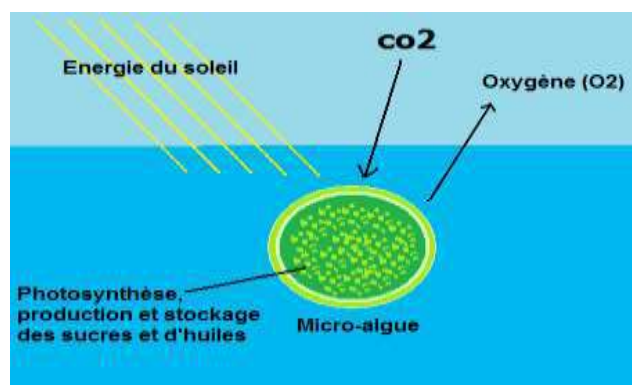


Figure I. 5 : Le principe de la photosynthèse des algues [22].

4. 2. 1. Le substrat

Les algues doivent reposer sur un substrat pour le développement et le cycle de vie, ils n'ont pas de racines, le substrat ne leur fournit donc pas de nutriments, Ils choisissent leur substrat au hasard, Le substrat n'affecte pas la nature chimique, mais il peut entrer dans la formation ou non de certaines espèces [15].

I. 5. Rôle des algues

Les algues sont d'une grande importance dans le milieu aquatique en raison de leur emplacement à la base du cycle biologique de l'eau, Ce sont les seuls organismes qui synthétisent les glucides et la matière organique, De nombreux travaux de recherche ont montré que les algues sont une source de matériaux polymères actifs, Le potentiel thérapeutique de certaines de ces substances est très prometteur, notamment en ce qui concerne leurs activités contre des maladies spécifiques et en tant qu'agents antimicrobiens ou antiviraux [20].

I. 6. Conclusion

Les algues sont de petits organismes aquatiques dont la taille varie des microalgues aux Macroalgues avec une énorme quantité d'espèces et de classes, elles convertissent la lumière du soleil en énergie et la stockent comme matière première. Les principales caractéristiques des algues sont leur rendement élevé en biomasse par unité de lumière et de surface, les algues peuvent avoir une teneur élevée en huile ou en amidon, en plus elles ne nécessitent pas de terres agricoles, l'eau douce n'est pas essentielle et les nutriments peuvent être fournis par les eaux usées et le CO₂ par gaz de combustion. Pour conclure toutes leurs caractéristiques récemment la biomasse d'algues est connue comme l'une des sources les plus efficaces de production d'énergie renouvelable.

Chapitre II :

Généralités sur les bioplastiques

II. Introduction

La production et l'utilisation de plastiques ont un impact significatif sur l'environnement et la santé. Les plastiques non biodégradables s'accumulent dans les décharges, les océans et les écosystèmes, causant des dommages considérables à la faune et à la flore. De plus, la production de plastiques à partir de ressources pétrolières a des conséquences environnementales négatives, notamment la pollution de l'air et de l'eau et la libération de gaz à effet de serre.

C'est pourquoi la recherche de matériaux alternatifs d'origine végétale est devenue une priorité pour de nombreuses industries. Les matériaux bioplastiques, qui sont dérivés de matières premières renouvelables telles que l'amidon de maïs, la canne à sucre, la pomme de terre et les algues, sont de plus en plus populaires. Les bioplastiques sont biodégradables et compostables, ce qui signifie qu'ils se décomposent naturellement en éléments non toxiques et sont moins nocifs pour l'environnement.

Cependant, il est important de noter que tous les bioplastiques ne sont pas créés égaux et certains peuvent toujours avoir un impact négatif sur l'environnement en raison des processus de production et des ingrédients utilisés. Il est donc important de continuer à travailler sur des solutions plus durables et respectueuses de l'environnement pour remplacer les plastiques d'origine chimique [23].

Selon la fédération Plastics Europe, la production de plastique a atteint 390,7 millions de tonnes en 2021, au cours des cinquante dernières années, ce qui signifie que le plastique ne cesse d'augmenter [24].

Les bioplastiques sont de nouveaux matériaux du XXI^e siècle et seraient d'une grande importance pour le monde des matériaux [25].

Ce chapitre est destiné à fournir un résumé des capacités des bioplastiques et des propriétés qui en font un bon substitut aux plastiques pétroliers.

Les points les plus importants que nous aborderons dans ce chapitre, qui portera sur les bioplastiques, seront les suivants :

Définition Bioplastique ; Développement des bioplastiques ; Sources de bioplastique ; Classification des bioplastiques ; La différence entre les bioplastiques et les plastiques ;

II. 2. Définition des Bioplastiques

Les bioplastiques sont des types de plastiques, ce sont des configurations moléculaires particulières d'atomes de carbone qui doivent provenir d'organismes vivants, Les bioplastiques peuvent être définis comme les matériaux qui sont biosourcés et/ou biodégradables [26].

Bioplastique composé de biopolymères dont les propriétés varient en fonction du monomère spécifique de la chaîne chimique peut également être caractérisé comme une large famille de différents matériaux biologiques qui ont des propriétés et des applications différentes [27]. La représentation schématique de la figure II. 1 illustre des approches technologiques spécifiques pour différentes classes de bioplastiques [28].

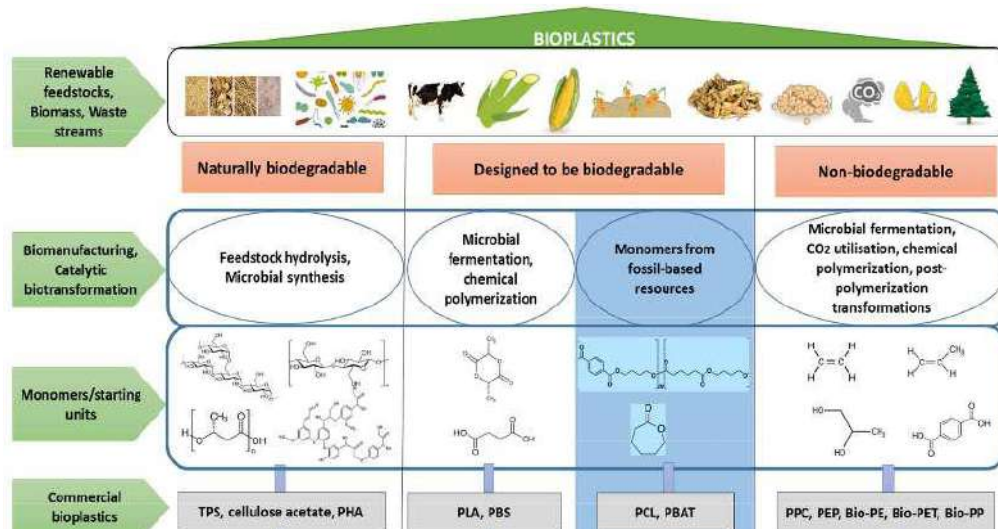


Figure II. 1 : Représentation schématique des approches technologiques dans la production de bioplastiques commerciaux [28].

II. 3. Développement des bioplastiques

Bien que le terme bioplastique soit connu depuis quelques années, son développement remonte au XX^e siècle. L'inventeur américain John Wesley Hyatt Jr. a breveté une peinture à base de cellulose en 1869 [29]. La reprise du développement de nouveaux bioplastiques qui a commencé il y a une trentaine d'années, qui s'est accélérée après la crise pétrolière du milieu de 1970s, dans le but de développer un plastique dégradable comme alternative au plastique pétrolier [30].

La figure II. 2. Montre un exemple pour les Epingles à cheveux 1920/1950 en celluloïd et Boutons 1920/1940 à base de caséine [31].



Figure II. 2 : (De gauche à droite) Epingle à cheveux 1920/1950 en celluloïd, Boutons 1920/1940 à base de caséine [30].

Les bioplastiques connaissent une renaissance, notamment en raison des aspects écologiques ainsi que des ressources pétrochimiques limitées. Ceci est combiné à une sensibilisation croissante du public, des politiciens, de l'industrie et, en particulier, de la recherche et du développement où les chercheurs du monde entier sont occupés à rechercher des alternatives naturelles aux plastiques synthétiques produits à partir du pétrole depuis plus de 70 ans. Du bioplastique au plastique synthétique et inversement [29].

La figure II. 3. Montre La Chronologie des bioplastiques avec les époques

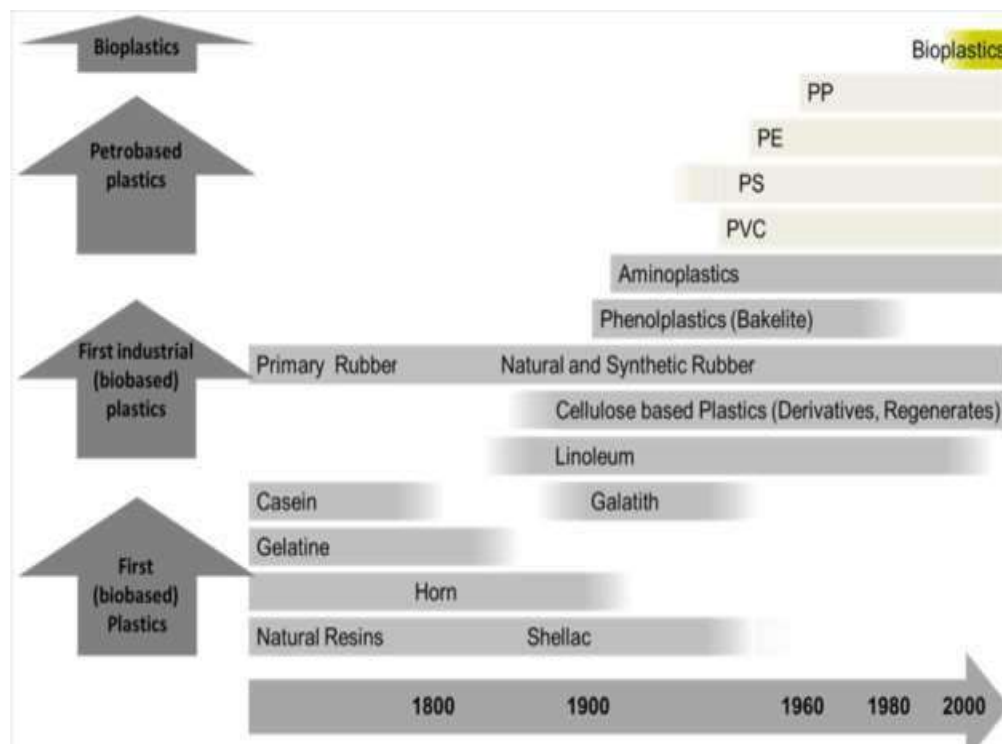


Figure II. 3 : Chronologie des bioplastiques avec les époques [32].

II. 5. Sources de bioplastique

Les bioplastiques ont leur importance en raison de leur propriété dégradable et peuvent être facilement recyclés. Ils sont acquis à partir de plusieurs fondations biologiques telles que les plantes, les micro-organismes (bactéries). Les produits végétaux et microbiens sont les principaux contributeurs à la production de bioplastiques [29].

II. 5. 1. Les plantes comme source de bioplastiques

La principale source végétale responsable de la production de bioplastique est l'amidon. L'amidon est un polysaccharide naturel composé de deux types de polymères : l'amylose et l'amylopectine. L'amylose est très courant et largement utilisé dans la synthèse de bioplastique, L'amylose pur est généralement utilisé comme bioplastique dans la fabrication de gélules de médicaments dans les sociétés pharmaceutiques, en raison de ses propriétés uniques d'absorption de l'humidité [29].

La figure II. 4. Montre Structures chimiques de l'amylose et de l'amylopectine

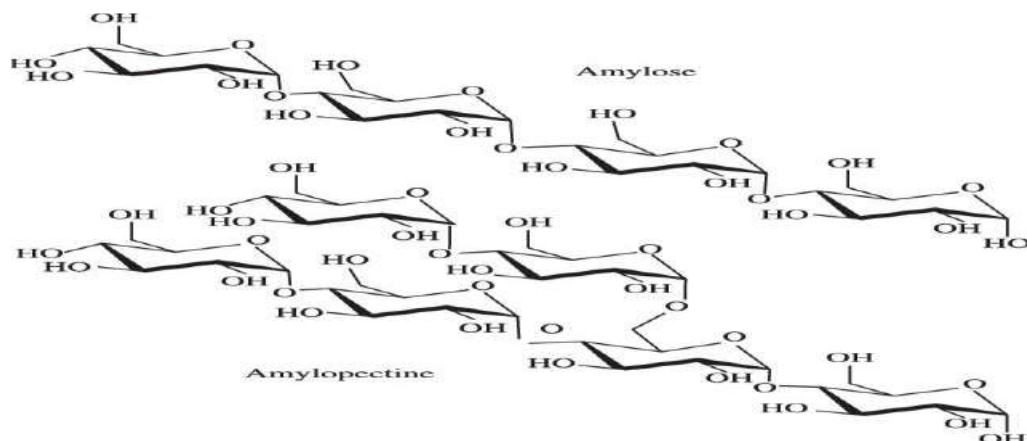


Figure II. 4 : Structures chimiques de l'amylose et de l'amylopectine [33].

II. 5. 2. Les bactéries comme source de bioplastique

Les bactéries sont l'organisme le plus étudié pour la production de bioplastique. Il existe de nombreux bioplastiques qui sont directement ou indirectement synthétisés à partir de bactéries. De nombreuses espèces bactériennes contiennent des granules intracellulaires de polyhydroxyalcanoate (PHA) comme source de carbone et d'énergie dans leurs cellules [34].

La figure II. 5. Montre la Formule générale des polyhydroxyalcanoate (PHA)

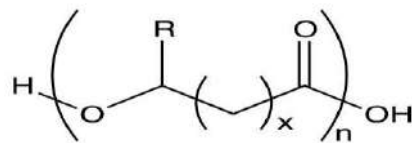
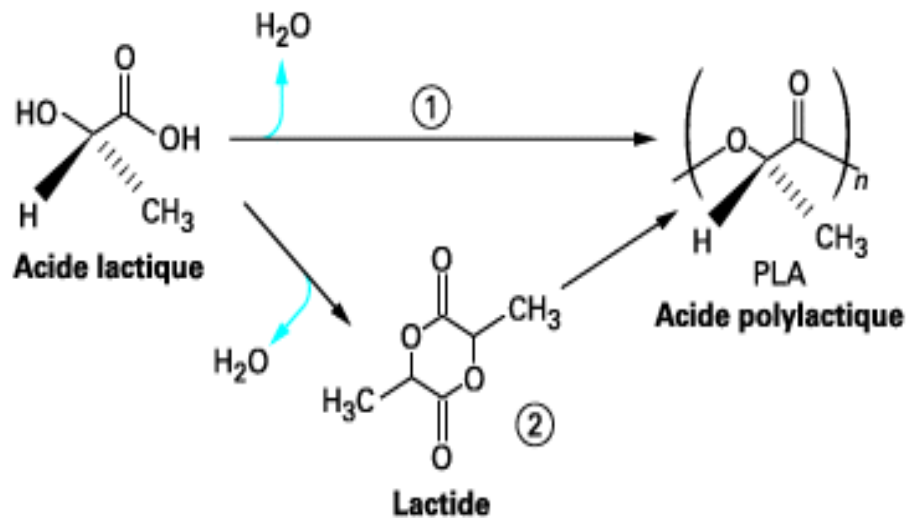


Figure II. 5 : Formule générale des polyhydroxyalcanoate (PHA) [33].

5. 3. Les algues comme source de bioplastique

Les algues sont l'un des divers groupes d'organismes qui vont des organismes photosynthétiques unicellulaires aux multicellulaires. Les sous-produits de nombreuses algues sont utilisés dans la production de bioplastiques, Le bioplastique dérivé d'algues à une résistance à la traction élevée et bien meilleure à tous égards que le plastique conventionnel utilisé aujourd'hui [35]. L'acide lactique (formé à la suite de la fermentation des algues) est également une autre matière première pour la synthèse des bioplastiques, Le processus de polymérisation de l'acide lactique donne de l'acide poly lactique (PLA) [28].

La figure II. 6. Montre la Synthèse du polyacide lactique (PLA)



2 voies de synthèse

- ① condensation directe. Implique la mise en œuvre de solvants sous vide poussé.
- ② formation d'un intermédiaire dimère cyclique (lactide). Pas de solvant.

Figure II. 6 : Synthèse du polyacide lactique (PLA) [33].

II. 6. Classification des bioplastiques

Selon Européens Bioplastique, "un matériau plastique est défini comme un bioplastique s'il est biosourcé, biodégradable ou présente les deux propriétés". La biodégradation est un processus chimique au cours duquel les micro-organismes disponibles dans l'environnement convertissent les matériaux en substances naturelles telles que l'eau, le dioxyde de carbone et le compost (aucun additif artificiel requis) [36]. Les bioplastiques sont principalement divisés en deux catégories principales que sont les agro-polymères et les bio-polyesters [37]. La figure II. 7. Montre la Matrice des bioplastiques

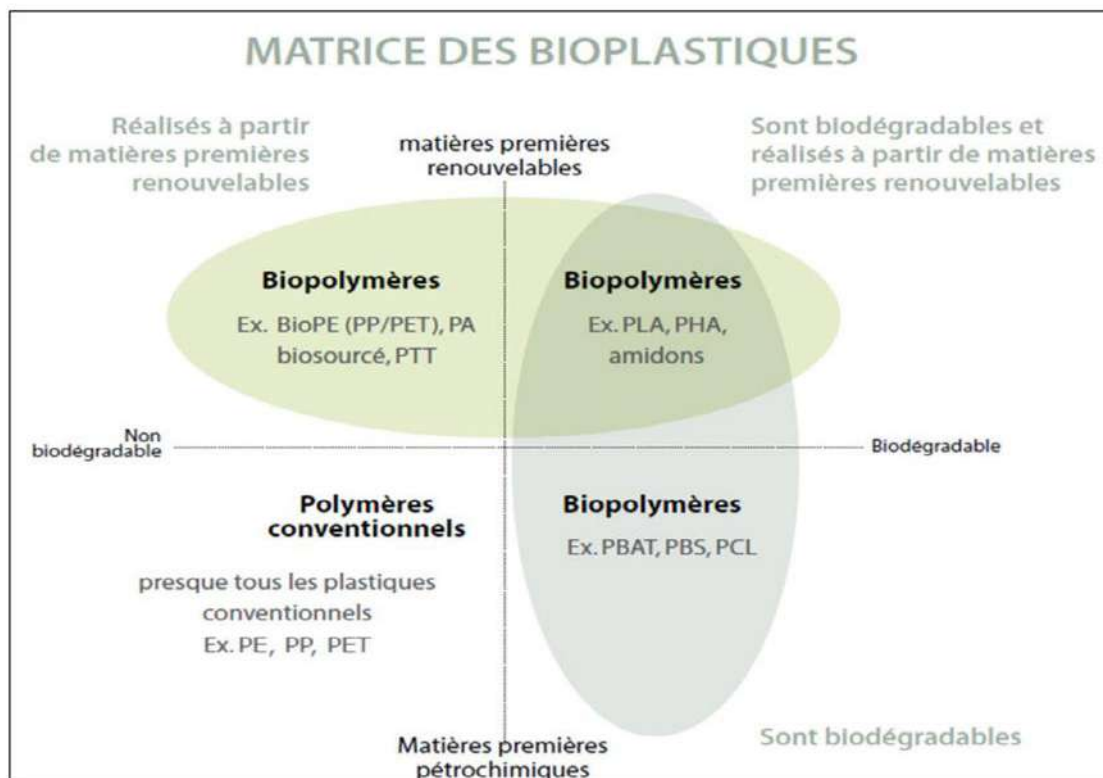


Figure II. 7 : Matrice des bioplastiques [38].

La figure II. 8. Montre des Exemples de bioplastiques en fonction de leurs voies de production.

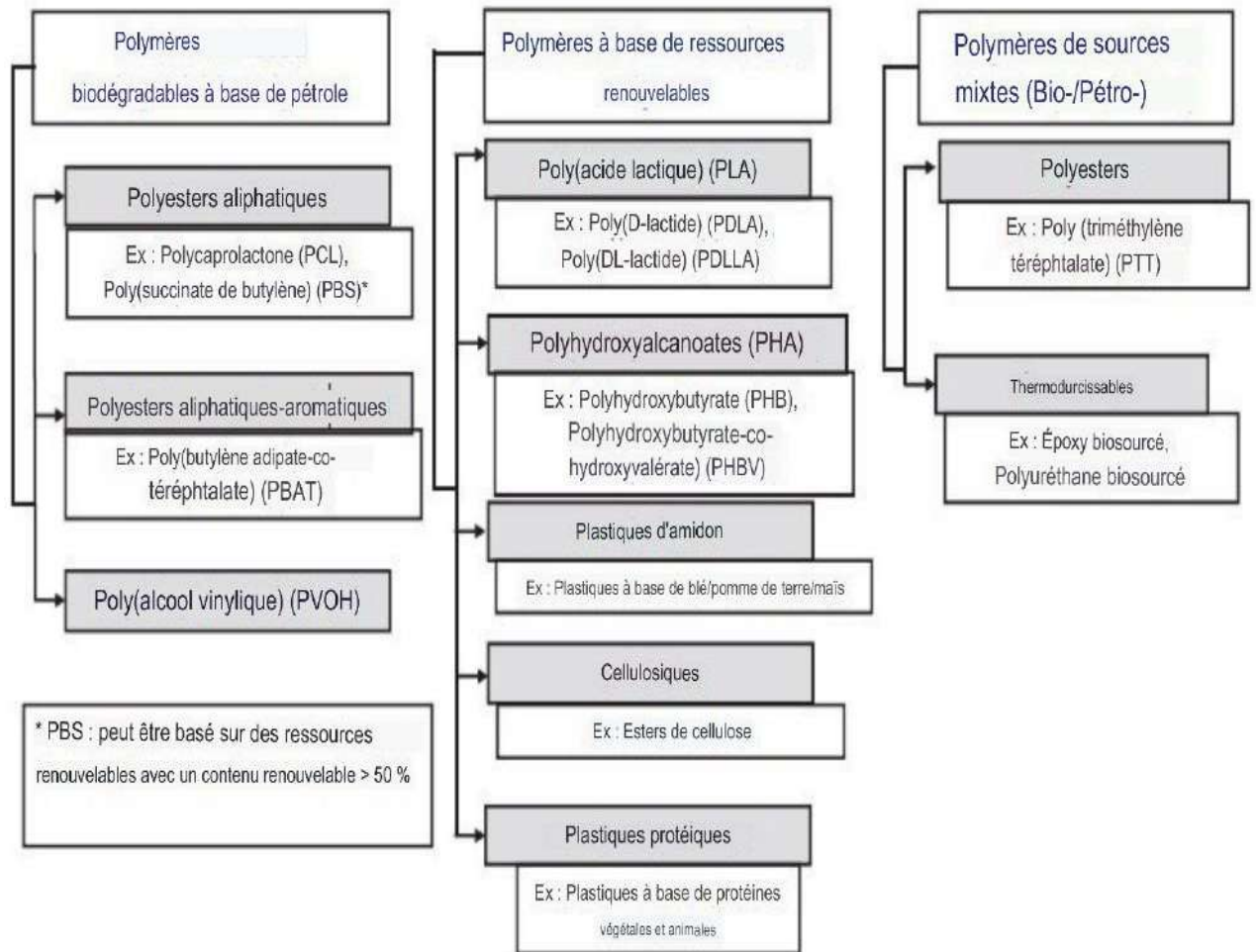


Figure II. 8 : Exemples de bioplastiques en fonction de leurs voies de production [33].

II. 7. La différence entre les bioplastiques et les plastiques

Les plastiques et les bioplastiques présentent plusieurs avantages, en particulier le tableau II. 1 mentionne les principaux avantages et inconvénients [39].

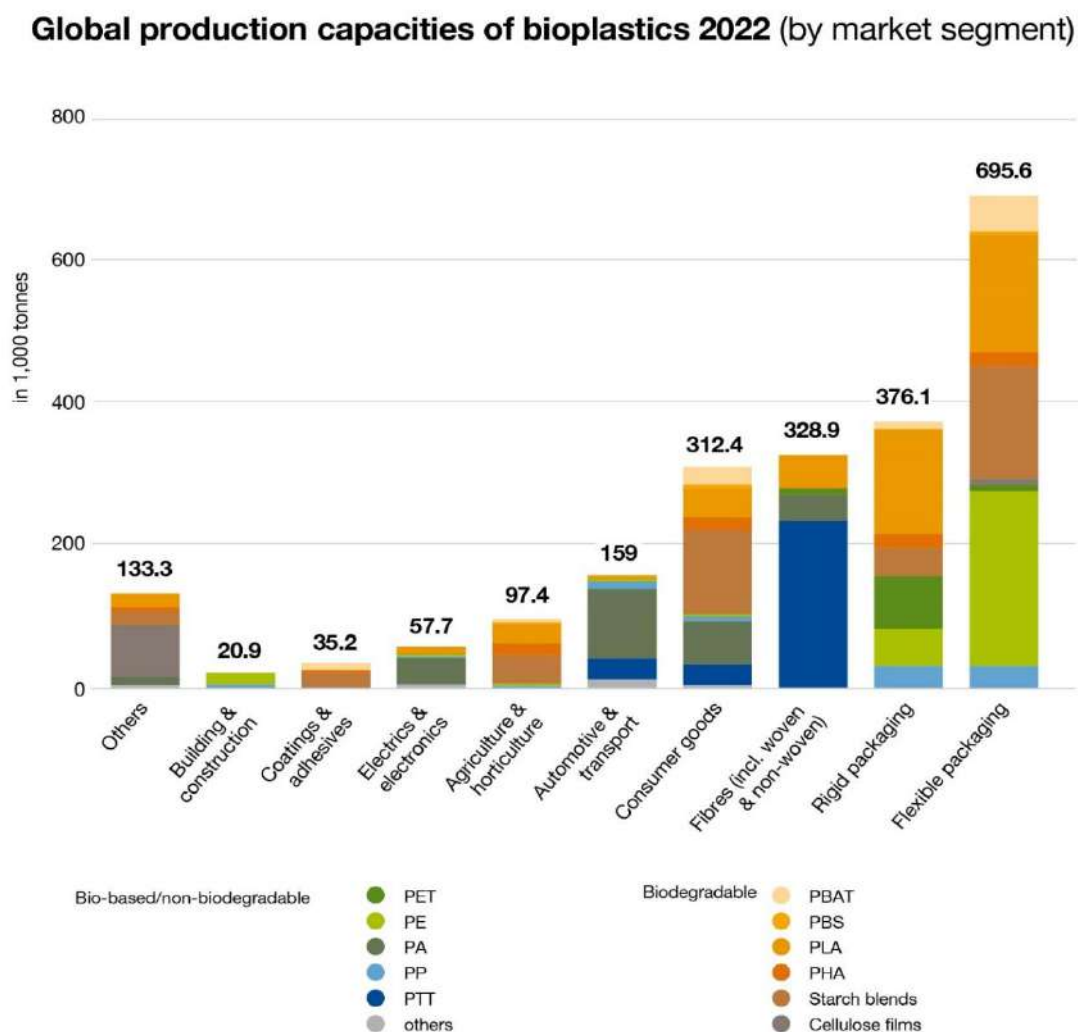
Type de plastique	Forces	Faiblesses
Plastiques conventionnels	<ul style="list-style-type: none"> • Faible coût • Bonnes et excellentes propriétés techniques • Facilité de traitement 	<ul style="list-style-type: none"> • Basé sur la pétrochimie • Difficile à recycler • Généralement non biodégradable

	<ul style="list-style-type: none"> • Peut économiser de l'énergie et des ressources par rapport à d'autres matériaux, selon l'application • Recyclage thermique possible (utilisation en cascade) 	<ul style="list-style-type: none"> • Une combustion incontrôlée peut libérer des substances toxiques • Ecotoxicité, Notamment des microplastiques en milieu marin
Bioplastiques (par rapport aux plastiques conventionnels)	<ul style="list-style-type: none"> • (Partiellement) biodégradable • (Partiellement) basé sur des matières premières naturelles, réduisant ainsi les émissions de GES et la dépendance au pétrole brut • Propriétés intéressantes • Généralement, les processus de fabrication et les usines standard peuvent être utilisés pour les matières premières biosourcées, et les machines de traitement standard peuvent être utilisées pour les plastiques biosourcés • Image positive auprès des consommateurs 	<ul style="list-style-type: none"> • Cher • (Partiellement) l'utilisation de génétiquement Organismes modifiés • Utilisation des terres, des engrais et pesticides pour les cultures, concurrence alimentaire potentielle • Fenêtre de traitement étroite (température de fusion plus basse) • Fragilité • Dégradation thermique

II. 8. Secteurs d'application du bioplastique

Avec la demande croissante de consommation mondiale de plastique, de nombreuses recherches sont consacrées à l'exploration de matériaux verts et de nouvelles façons de les traiter. Les bioplastiques sont devenus une nécessité dans de nombreuses applications industrielles telles que l'emballage alimentaire, l'agriculture et l'horticulture, les sacs de compostage et l'hygiène. Les bioplastiques sont devenus utiles dans les produits biomédicaux, structurels, électriques et autres produits de consommation. L'emballage a été, et est toujours, l'une des utilisations les plus courantes des bioplastiques, qui reste le plus grand domaine d'application des bioplastiques [40].

La figure II. 9. Montre le Production mondiale de bioplastique par segment de marché 2022



Source: European Bioplastics, nova-institute (2022). More information: www.european-bioplastics.org/market and www.bio-based.eu/markets

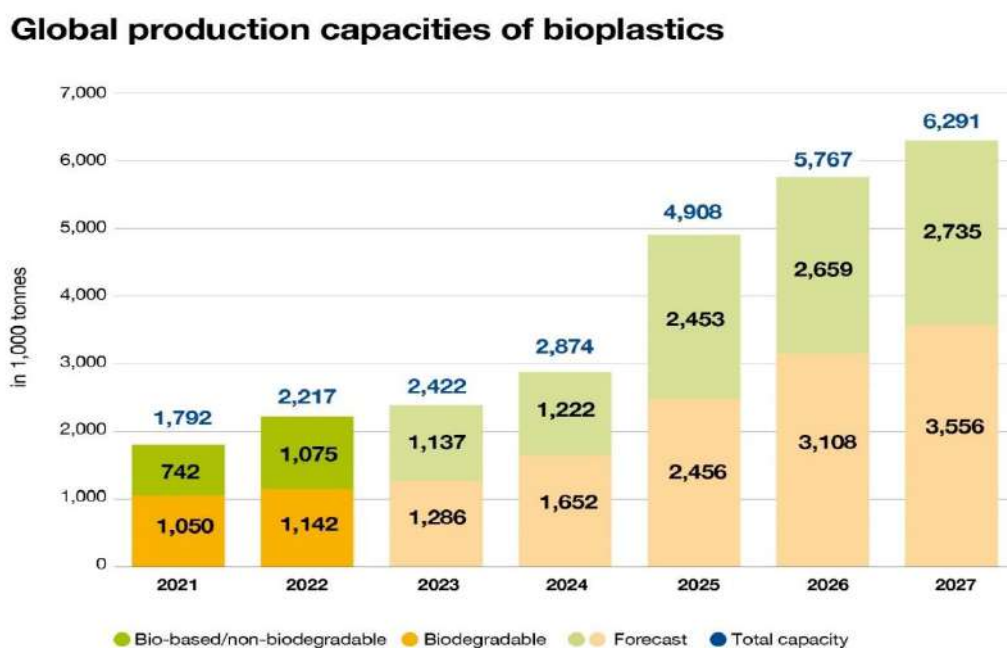
Figure II. 9: Production mondiale de bioplastique par segment de marché 2022 [41].

II. 9. Commercialisation du bioplastique

Les bioplastiques représentent encore moins 1% pour cent des plus de 390 millions de tonnes de plastique produites annuellement. Après avoir stagné en 2020, principalement à cause du Covid-19, les bioplastiques sont de plus en plus avancés dans leur développement

commercial, C'est après l'augmentation de la production mondiale à nouveau en 2021 en raison de l'augmentation de la demande, Selon les dernières données de marché compilées par Européens Bioplastique en coopération avec le nova-Institute, les capacités mondiales de production de bioplastiques devraient passer d'environ 2,2 millions de tonnes en 2022 à environ 6,3 millions de tonnes en 2027 [41].

La figure II. 10. Montre le Capacités mondiales de production de bioplastiques 2021-2027.



Source: European Bioplastics, nova-Institute (2022). More information: www.european-bioplastics.org/market and www.bio-based.eu/markets

Figure II. 10 : Capacités mondiales de production de bioplastiques 2021-2027 [41]

II. 10. Grandes entreprises utilisant du bioplastique dans leurs produits

De nos jours, de nombreuses entreprises de divers domaines utilisent du bioplastique dans leurs produits au lieu du plastique conventionnel pour protéger l'environnement en diminuant l'utilisation du plastique pétrochimique. Des sociétés telles que Coca-Cola, Danone, Ikea, Samsung, Procter, Gamble, Heinz et LEGO et d'autres proposent déjà certains de leurs produits et / ou leurs emballages en bioplastique [42].

La figure II. 11. Montre les grandes entreprises utilisant du bioplastique dans leurs produits

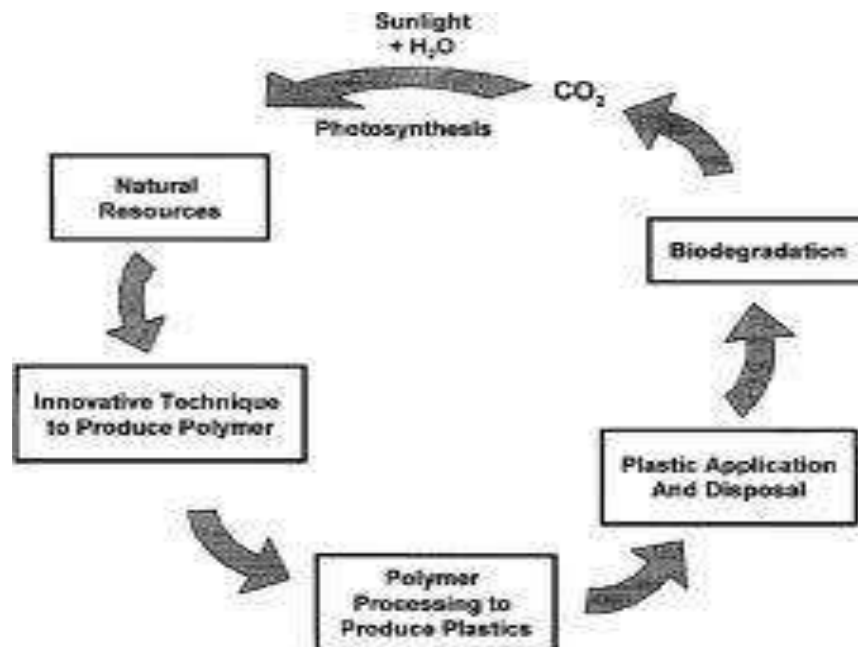


Figure II. 11 : les grandes entreprises utilisant du bioplastique dans leurs produits [41].

II. 11. Cycle de bioplastique

De nombreux bioplastiques sont 100 % compostables et se biodégradent généralement en 180 jours ou moins lorsqu'ils sont éliminés dans une installation de compostage municipale. Lorsque les plastiques conventionnels commencent à se décomposer, ils se fragmentent en particules de plus en plus petites qui se retrouvent souvent dans notre cours d'eau et dans notre chaîne alimentaire lorsque les animaux mangent les particules de plastique. À l'inverse, Les produits en bioplastique permettent d'économiser jusqu'à 35 % d'énergie. De plus, les bioplastiques contiennent les deux tiers des émissions de gaz à effet de serre nocifs par rapport aux plastiques conventionnels, lors du processus de production, fermant ainsi la boucle mortelle [43].

La figure II. 12. Montre un cycle bioplastique typique.



La figure II. 12 montre un cycle bioplastique typique [43].

II. Conclusion

Les bioplastiques sont de nouveaux matériaux du XXI^e siècle et seraient d'une grande importance pour le monde des matériaux, Les avantages des bioplastiques, matériaux biosourcés, biodégradables ou les deux, sont clairs : ils contribuent positivement à notre économie, notre société et notre environnement. Les bioplastiques favorisent les processus d'économie circulaire, encourage la consommation durable et vise à garantir la prévention des déchets.

Chapitre III :

Expérimentation

III. 1. Introduction

La source de nombreuses matières premières bioplastiques est en grande partie des plantes agricoles (telles que les sucres et les protéines) [9]. Ce chapitre, regroupe les différentes expérimentations réalisées pour la synthèse des bioplastiques.

III. 2. La récolte des algues

Dans cette présente étude, trois algues sont utilisées, elles sont récoltées de régions différentes, qui sont Ghardaia et Ouargla. La troisième elle cultivée au niveau de laboratoire Génie de l'Eau et de l'Environnement en Milieu Saharien.

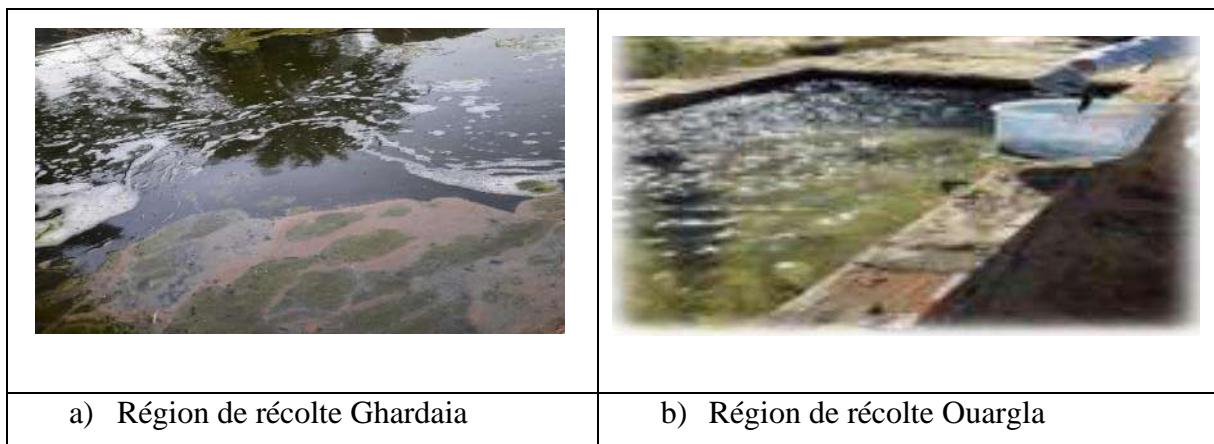

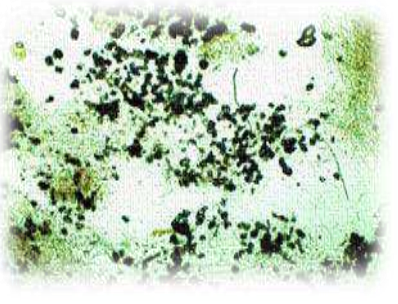


Figure III.1 : Régions de récolte des algues.

III. 3. Identification des algues

Les algues sont identifiées par observation au microscope optique et des images de nos échantillons sont prises au niveau du Laboratoire de Génie de l'Eau et de l'Environnement en milieu saharien de l'Université de Ouargla et à l'aide des clés d'identification conservées par référence [8], nos algues sont identifiées. le tableau suivant regroupe les échantillons identifiés.

Tableau III. 1 : Identification d'échantillons

Région d'échantillonnage	Photo au microscope optique	Nom scientifique	Class
Ghardaia		<i>Navicula</i>	Chlorophycées Macroalgue
Ouargla		<i>Périphyton</i>	Complex d'organismes Macroalgue
Ouargla		<i>Chlorella</i>	<i>Chlorophycées</i>

III. 4. Préparation des échantillons

Les échantillons sont nettoyés par lavage à l'eau pour élever le sable, après séchage les échantillons sont broyés en poudre fine puis tamisés. Conservés dans des bouteilles. (figure III.2).



Figure III.2: Séchage et broyage d'échantillatant

III. 5. Amidon d'algues

5. 1. Définition et fonctionnalités

L'amidon ($(C_6H_{10}O_5)_n$), est un polysaccharide, et il est produit par les plantes comme moyen de stocker de l'énergie. Cet amidon est stocké au sein des cellules végétales sous forme de granulés sphériques, de 2 à 100 μm de diamètre, l'amidon est un polymère glucidique constitué d'unités de glucose et d'hydrogène maintenues ensemble [19].

L'amidon est principalement utilisé dans les domaines industriels et agricoles, il résiste à la décomposition enzymatique et insoluble [19].

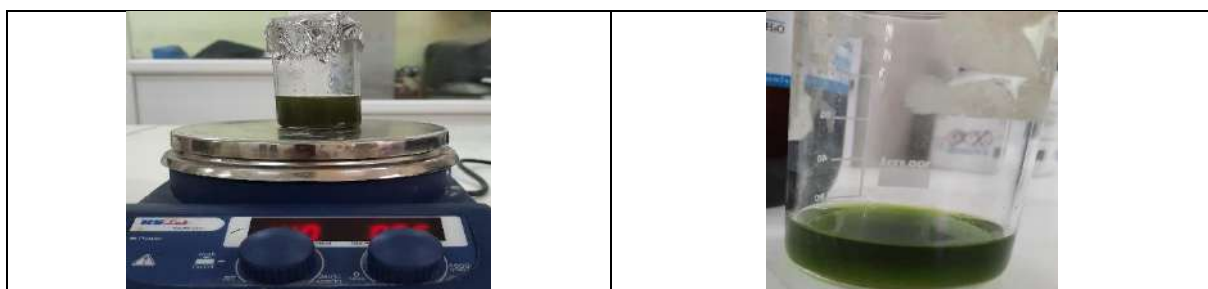
5. 2. Teste de la présence d'amidon dans les algues

Premièrement, nous éliminons la chlorophylle des algues en la faisant bouillir 78 °C dans l'alcool. Deuxièmement, mettez quelques gouttes d'iode. (Le changement de couleur de solution vers le bleu ou le noir indique la présence d'amidon) (figure III.2).

Le tableau suivant III. 2 contient la liste des matériaux et produits utilisés lors de l'essai du procédé de mise en évidence de l'amidon.

Tableau III. 2 : Matériaux et produits de de mise en évidence de l'amidon.

Matériels	Produits
Béchers, Plaques chauffantes, Pincettes, Tube à essai,	Alcool, Eau distillée, Solution d'iode

**Figure III.3 :**Extrait de chlorophylle d'algues**Figure III.4 :** Algues après extraction de la chlorophylle.

5. 3. Extraction d'amidon

5. 3. 1. Protocole l'Extraction d'amidon

Mélanger la poudre avec l'éthanol, puis placer dans un bain marie, ensuite les échantillons sont centrifugés, et en fin écher les granules blancs obtenus à Température ambiante toute la nuit avant d'être utilisé pour le processus supplémentaire.



○



Figure III.5 : Protocole l'Extraction d'amidon

III. 6. Synthèse de bioplastique d'Algues

6. 1. Produits et matériels

Le tableau suivant contient la liste des matériaux et produits utilisés dans le processus de plastification.

Tableau III. 3 : Produits et matériels de la plastification.

Matériels	Produits
Plaque chauffante, plaques de verre.	L'amidon extrait, Biomasse d'algues, Glycérol, Acide acétique Gélatine, Eau distillée.

6. 2. Mode opératoire

Dans le premier cas, L'amidon extraits est mélangé avec le glycérol de la biomasse algale, la gélatine et l'acide citrique ont été ajoutés à de l'eau distillée. Le mélange a été agité à une vitesse de 180 tr/min pendant 10 min. Ensuite, le mélange a été chauffé sur une plaque chauffante à haute température, sous agitation manuelle en continu. Il a ensuite été versé sur une plaque de verre et étalé uniformément. Il a fallu 3 à 4 jours pour que le mélange sèche obtenus à Température ambiante et le film coulé a été retiré [45].

Dans la deuxième méthode, on a utilisé les mêmes produits, sans passer par l'étape d'extraction d'amidon, on a utilisé l'algue tel qu'il est.

**Figure III. 6 :** Protocole de synthèses les bioplastiques.

III. 7. Caractérisation des bioplastiques obtenus

La caractérisation des produits obtenus, concerne la mesure des masses volumiques apparentes de ces produits. Le PLA est un polymère qui se dégrade rapidement en présence d'humidité, à $T=50-70^{\circ}\text{C}$. La température de transition vitreuse est de l'ordre de 60°C et sa température de fusion varie entre 130 et 195°C . La masse volumique du PLA est de l'ordre de $[1,1-1,27] \text{ g/cm}^3$ [46].

III. 8 . étude de la solubilité des bioplastiques

Dans ce travail , l'étude de la solubilité de nos produits synthésés , est effectuée par l'utilisation de trois solvants différents, qui sont : n-Hexane, l'acétate d'éthyle et l'acétone. On a suivi la cinétique de la solubilité dans ces solvants pendant une heure, chaque 5 min en fait la mesure de la solubilité [47].

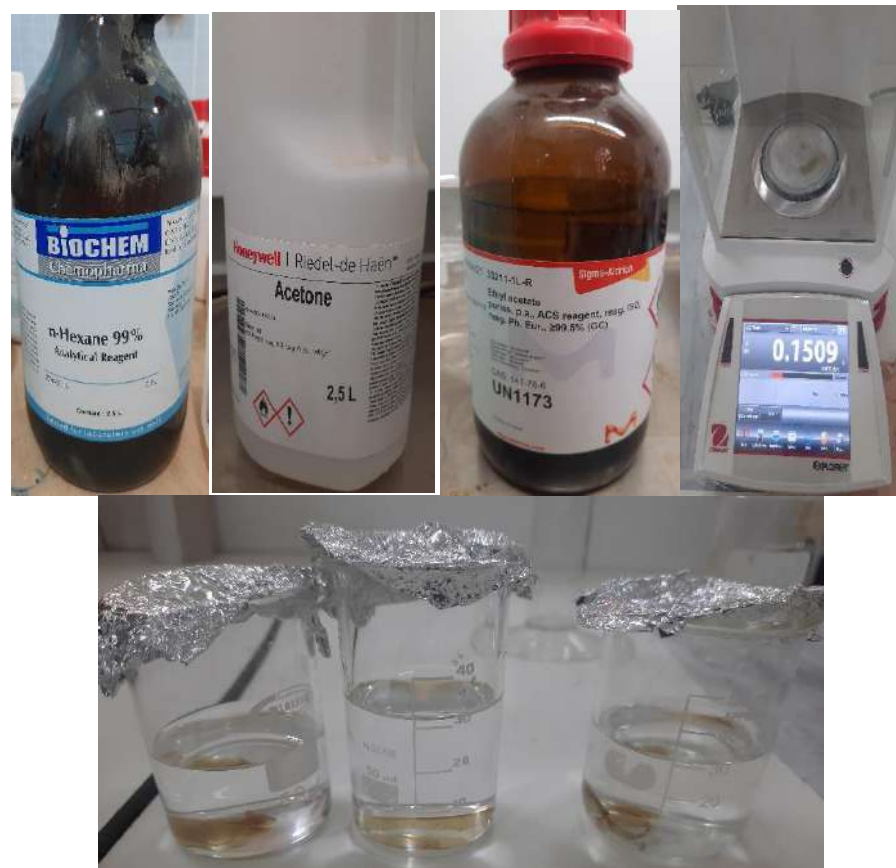


Figure III. 7 : Protocole de solubilité des bioplastiques.

III. 9. Conclusion

Ce chapitre regroupe les différentes expérimentations réalisées au niveau de laboratoire, qui sont :

- ✓ L'identification des algues par microscope
- ✓ L'extraction d'amidon
- ✓ La synthèse des bioplastiques par deux méthodes différentes
- ✓ La mesure des masses volumiques des produits obtenus
- ✓ L'étude de la solubilité des différents produits obtenus dans trois solvants.

Chapitre IV :

Résultats et Discussions

IV.1. Introduction

Après le travail pratique que nous avons fait, qui est la fabrication de bioplastiques à partir d'algues et d'amidon d'algues, nous avons obtenu des résultats dont nous parlerons dans ce chapitre.

IV. 2. Résultats d'extraction d'Amidon

Tableau IV. 1 : la masse d'amidon extraite d'algues

Matière première	Amidon %
Algue Navicula	90%
Amidon Périphyton	74,92%
Algue Chlorella	54,78%

D'après les résultats de tableau IV. 1, on peut dire que, la valeur la plus élevée est enregistrée pour l'algue Navicula, tandis que la valeur la plus faible est obtenus pour l'algue Chlorella, elle est de l'ordre de 54% ; globalement nos algues nos algues présentent des rendement élevés en amidon dépasse 50%.

IV. 3. Résultats de synthèse des bioplastiques

Les bioplastiques obtenus à partir d'amidon d'algue et les bioplastiques synthétisé par l'utilisation d'algue directement, sont présenté dans les figures IV. 1 et IV. 2 respectivement.



a) Bioplastique d'amidon d'algue Navicula

b) Bioplastique d'amidon d'algue Périphyton

c) Bioplastique d'amidon d'algue Chlorella

Figure IV. 1 : Photos des bioplastiques synthétisé à partir d'amidon d'algue.

L'expérience de fabrication de bioplastiques basée sur les algues a été un succès, et certaines des variations notables provenaient de la couleur, car *Navicula* faisait le film le plus transparent, mais chacun des trois films est fragile, flexible et caractérisé par une surface lisse.

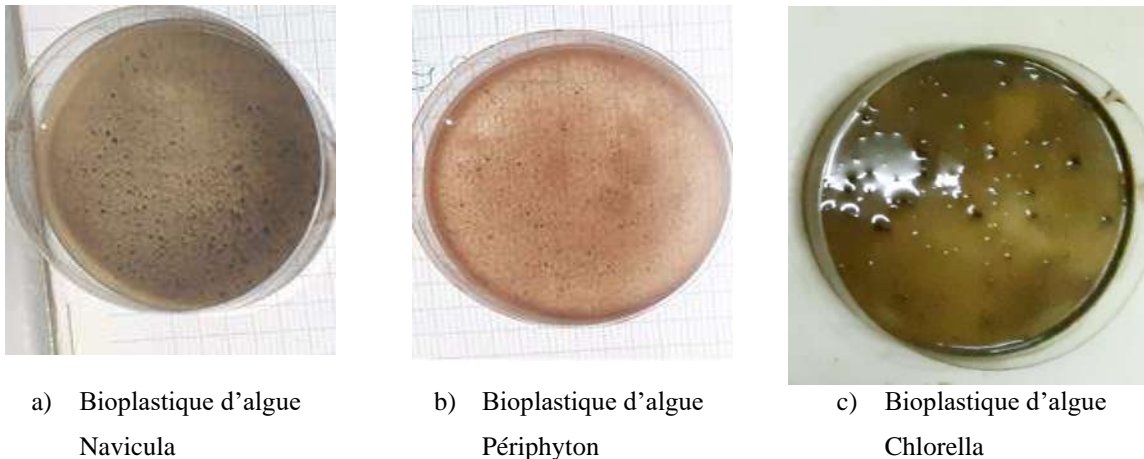


Figure IV. 2 : Photos des bioplastiques synthétisés à partir d'algues.

Le bioplastique à base d'algues en tant que plastique a donné un bon résultat car il apparaît sur les photos 1, 2 et 3. Bioplastique épais et flexible qui peut être mis en forme facilement.

IV. 4. Caractérisation des bioplastiques obtenus

La caractérisation de nos bioplastiques synthétisés, se résume sur la mesure de la masse volumique apparente, le tableau suivant regroupe les résultats obtenus :

Tableau IV. 2 : les masses volumiques des bioplastiques synthétisés

Matière première	La masse volumique (g/cm ³)	
	Bioplastique d'amidon d'algues	Bioplastiques d'algues
Algue <i>Navicula</i>	0,64845	0,42179
Amidon Périphyton	0,92685	1,01653
Algue <i>Chlorella</i>	2,40468	0,41579

De l'analyse des résultats de tableau ci-dessus, on peut dire que les masses volumiques apparentes de nos produits, variées entre 0,41 g/cm³ et 2,4 g/cm³.

IV. 5. Le Rendement de bioplastique

Tableau 3 : Le Rendement de bioplastique synthétisé à partir d'amidon d'algues

Algues	Quantité utilisée (g)	Quantité de bioplastique (g)	Rendement (%)
Navicula	7,31	2,27	31,09
Périphyton	7,15	2,98	41,74
Chlorella	6,95	3,21	46,15

Tableau 4 : Le Rendement de bioplastique synthétisé à partir d'algues

Algues	Quantité utilisée (g)	Quantité de bioplastique (g)	Rendement (%)
Navicula	7,41	1,22	16,46
Périphyton	7,41	1,12	15,19
Chlorella	7,41	0,89	12,06

IV. 6. Résultats des tests de solubilité

Les résultats des tests de solubilité des bioplastiques synthétisés sont présentés comme ce suit :

IV. 6. 1. Solubilité de bioplastique d'algue Navicula

6. 1. 1. La solubilité de bioplastique synthétisé à partir d'amidon d'algue Navicula

La figure suivante, présente la solubilité de bioplastique synthétisé à partir d'amidon d'algue Navicula.

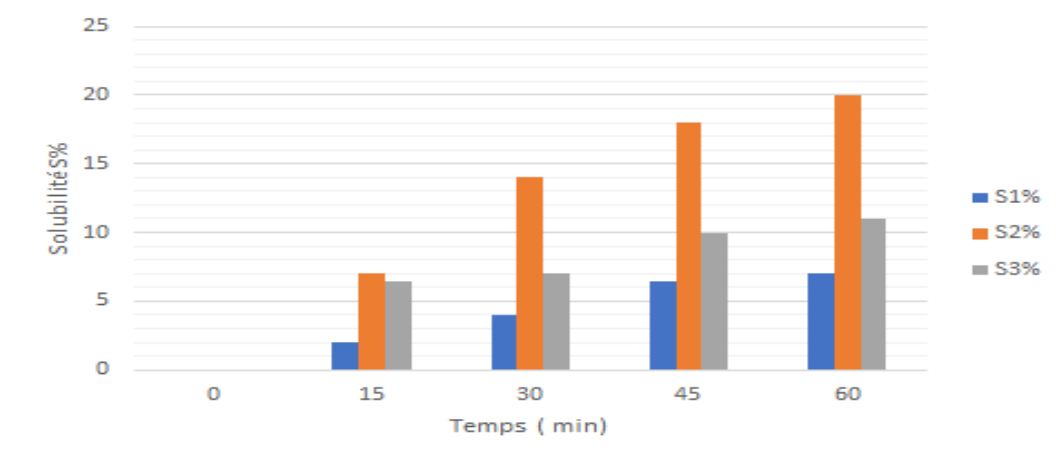


Figure IV. 3 : Solubilité de bioplastique synthétisé à partir d'amidon d'algue Navicula.

De l'analyse des résultats de la Figure IV. 2 suivant, qui représente le pourcentage de Solubilité de bioplastique synthétisé à partir d'amidon d'algue *Navicula* dans trois solvants différents qu'après 15min, le pourcentage de solubilité du bioplastique dans S2(Acétone) et S3(acétate d'éthyle) était supérieur 5%. Quant à l'effet de S1(n-hexane), il était encore moins.

Au cours de temps, le pourcentage de l'effet des solvants à progressivement augmenté, on remarque qu'en atteignant 60min, le pourcentage de solubilité des bioplastique dans S2 était le plus important et estimé à 20%, et quant à S1 c'était le pourcentage le plus bas et estimée à 7%, en S3 sa valeur était signification par rapport à S1 qui était estimée à 11%.

6. 1. 2. la solubilité de bioplastique synthétisé par l'utilisation d'algue *Navicula*

La figure suivante, présente la solubilité de bioplastique synthétisé par l'utilisation d'algue *Navicula* directement.

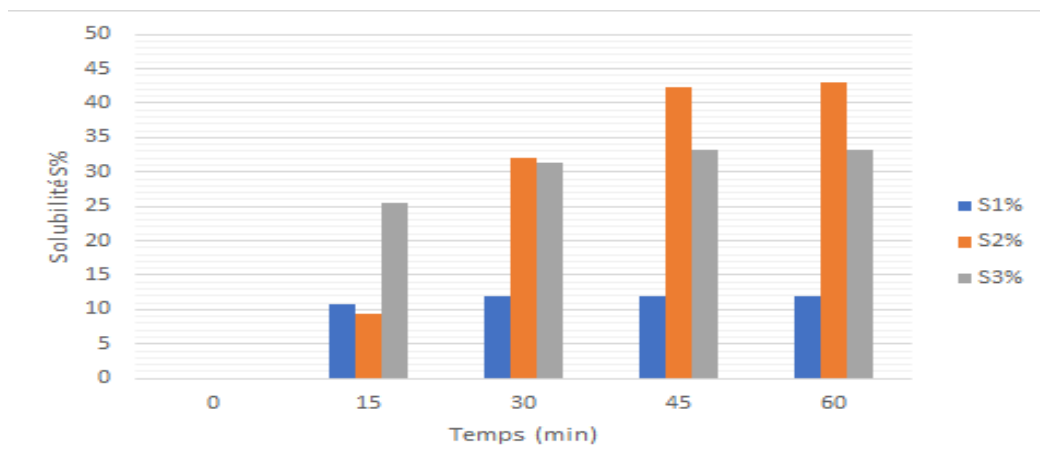


Figure IV. 4 : Solubilité de bioplastique synthétisé à partir d'algue *Navicula*.

De la Figure IV. 3, qui présente le pourcentage de Solubilité de bioplastique synthétisé à partir d'amidon d'algue *Navicula* dans trois solvants différents, on remarque qu'après 15min, le pourcentage de solubilité du bioplastique dans le solvant S1 était la valeur la plus importante, qui est estimée à 25%. Quant à S1 et S2, leurs pourcentages étaient différents, soit S1 11% et S2 9%.

Nous remarquons que pourcentage de solubilité du bioplastique dans S2 a progressivement augmenté et est devenu la valeur la plus élevée, atteignant 43% après une heure. Après avoir été considérée comme la valeur la plus basse par rapport au S1 et S3 à 15 min.

La figure montre que pendant 60min, le pourcentage de solubilité du bioplastique dans S1 était presque constant, puisqu'il s'établissait à 12%. Car il augmenté après 15min d'une très petite quantité et s'est stabilisé à 33%.

IV. 6. 2. Solubilité de bioplastique d'algue Périphyton

6. 2. 1. La solubilité de bioplastique synthétisé à partir d'amidon d'algue Périphyton

La figure suivante, présente la solubilité de bioplastique synthétisé à partir d'amidon d'algue Périphyton.

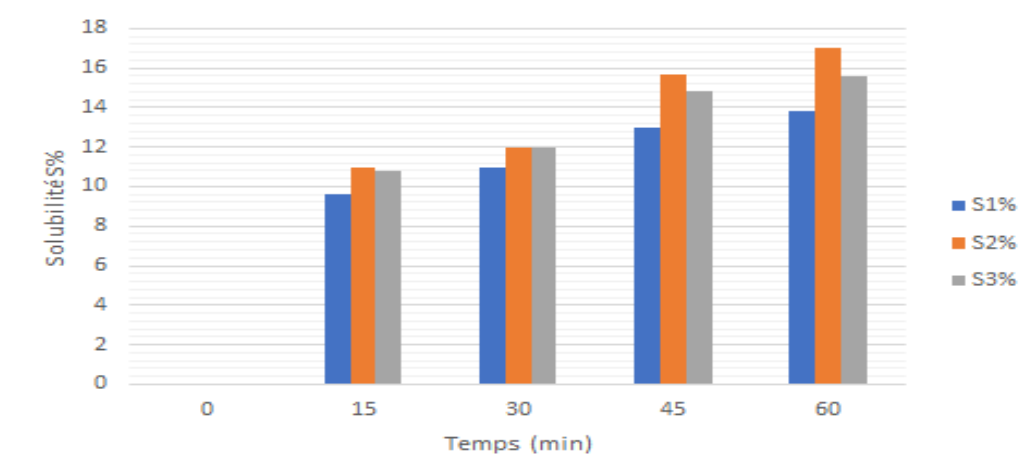


Figure IV. 5 : Solubilité de bioplastique synthétisé à partir d'amidon d'algue Périphyton.

Nous notons que les pourcentages de solubilité des bioplastiques dans les trois différents solvants étaient des pourcentages similaires.

Lorsque 30min se sont écoulées, on constate que les pourcentages de S2 et S3 sont égaux de 12%.

Notez que S2 a un pourcentage important par rapport à S1 et S3, qui est estimé à 17%.

6. 2. 2. La solubilité de bioplastique synthétisé à partir d'algue Périphyton

La figure suivante, présente la solubilité de bioplastique synthétisé par l'utilisation d'algue A3 directement.

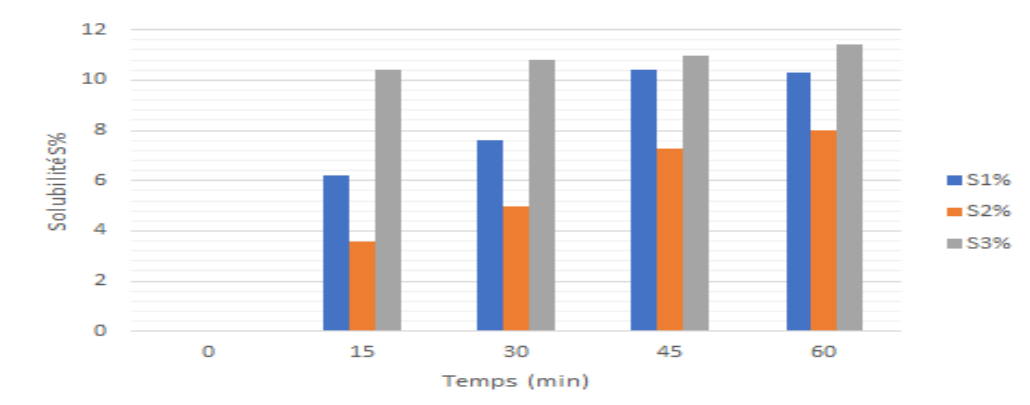


Figure IV. 6 : Solubilité de bioplastique synthétisé à partir d'algue Périphyton.

Nous remarquons par la figure suivante que la fusion des bioplastiques dans le solvant S2 était la plus faible, et qu'elle était de 15% après 15min et une heure plus tard de 8 %. Quant à S1, il était plus gros par rapport à S2, après 15min, il était de 6 % et après 60 min 10,5 %.

La plus grande solubilité était parmi les trois solvants S3, qui étaient de 15min après 10 % et après 11 %, une légère augmentation.

IV. 6. 3. Solubilité de bioplastique d'algue *Chlorella*

6. 3. 1. La solubilité de bioplastique synthétisé à partir d'algue d'amidon *Chlorella*

La figure suivante, présente la solubilité de bioplastique synthétisé à partir d'amidon d'algue *Chlorella*.

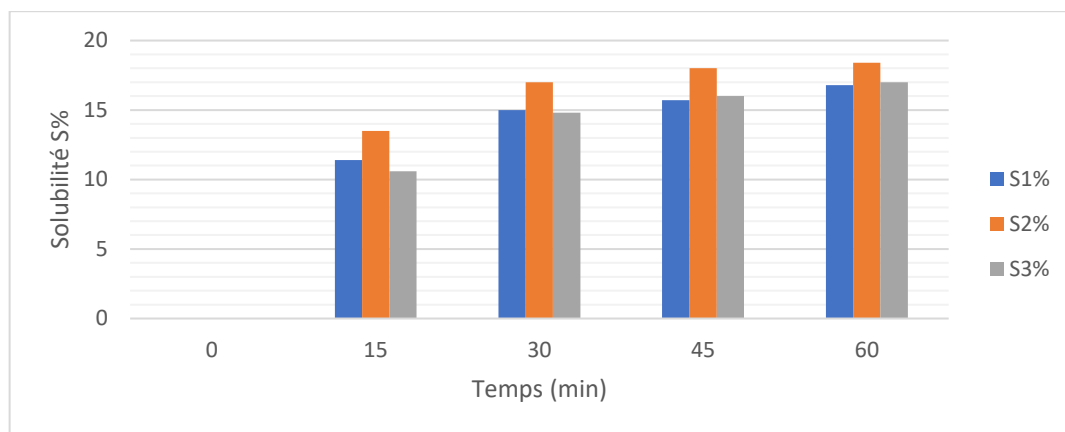


Figure IV. 7 : Solubilité de bioplastique synthétisé à partir d'amidon d'algue *Chlorella*.

On remarque à travers la figure IV. 6 que le pourcentage de bioplastique fondant en S2 était le plus important, donc après 15 minutes le pourcentage de bioplastiques était estimé à 13% et en une heure à 18%.

Nous notons que les pourcentages de solubilité des bioplastiques S2 et s1 étaient proches, presque égaux : en 15 minutes, s1 était de 11 % et S3 de 10,7 %, et après une heure, le pourcentage de solubilité dans s1 était de 16,5 et dans S3 de 17 %.

6. 3. 2. La solubilité de bioplastique synthétisé à partir d'algue *Chlorella*

La figure suivante, présente la solubilité de bioplastique synthétisé par l'utilisation d'algue *Chlorella* directement.

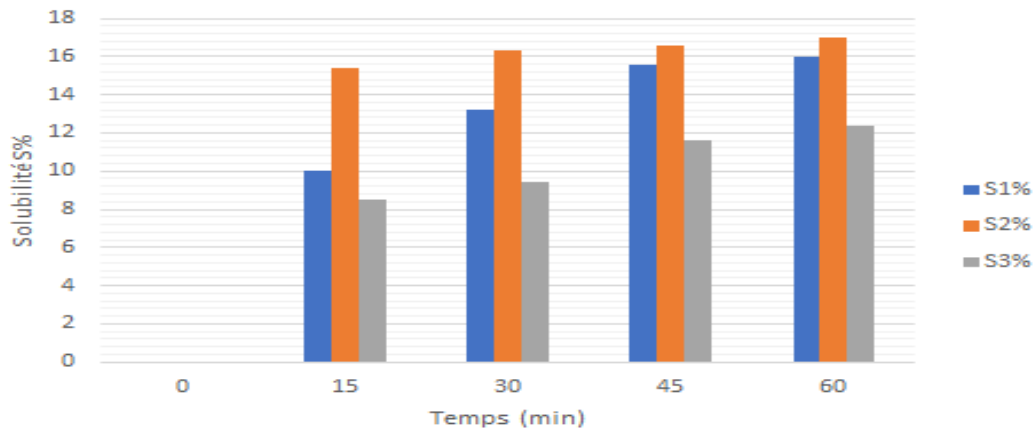


Figure IV. 8 : Solubilité de bioplastique synthétisé à partir d'algue *Chlorella*.

Notons que le pourcentage de solubilité du bioplastique dans S2 est le plus important parmi les trois solvants : après 15min il est estimé à 15 % et après 60min à 17 %.

Our S1, l'augmentation de la solubilité pendant 15min était de 10 %, et elle a continué d'augmenter jusqu'à ce qu'elle soit presque égale à S2 pendant 60 min de 16 %. Quant au pourcentage le plus bas, il était pour S3, après 15min, il était de 8,5 % et il a continué à augmenter progressivement jusqu'à atteindre 11 % en 60 min.

IV. 6. Conclusion

Le bioplastique à base d'amidon d'algues et de biomasse a été fabriqué avec succès à partir de divers lieux de récolte d'espèces d'algues allant du désert oasien d'Algérie, en appliquant de nombreux protocoles d'extraction de la matière première algale.

Par conséquent, chaque genre et chaque méthode donne des caractéristiques bioplastiques différentes, l'ajout d'acide glycérol-acétique comme plastifiant était une légère amélioration car la concentration de plastifiant donnait une meilleure résistance à la traction. S'agissant d'une étude préliminaire, il est recommandé de procéder à d'autres tests dans le futur pour une meilleure performance du film, notamment en termes de propriétés mécaniques et physico-chimiques

Conclusion générale

Conclusion générale

La production et l'utilisation de plastiques ont un impact significatif sur l'environnement et la santé, les plastiques non biodégradables s'accumulent dans les décharges, les océans et les écosystèmes, causant des dommages considérables ; Les bioplastiques sont biodégradables, ce qui signifie qu'ils se décomposent naturellement en éléments non toxiques et sont moins nocifs pour l'environnement.

L'objectif de cette présente étude est la synthèse des bioplastiques à partir des algues, en effet,

Trois algues : Navicula, Périphyton et Chlorella sont utilisées.

L'extraction d'amidon d'algues, nous donne des rendement très élevés, atteint 90% pour l'algue Navicula, ce que fait, l'utilisation des algues pour la production des bioplastiques est un choix judicieux.

L'étude de la solubilité de ces bioplastiques synthétisés, dans trois solvants différent, nous montrent que, nos produits sont soluble, avec une solubilité différente d'un solvant à un autre, donc nous produits non sont pas nocifs pour la santé et pour l'environnement.

Références

Référence

- [1] Baya D. (2012) étude de l'auto floculation dans un chenal algal à haut rendement. (Thèse de doctorat), Universitaire Liège, campus Arlon, 252p.
- [2] J.P.Merciers et E. Maréchal, Chimie des polymères synthèse ,réactions, dégradations, 1993,p.2-3 .
- [3] C. Chassanieux , H. Lefebvre et S. Pascual, L'indispensable en polymères ,2008 ,p.11.
- [4] G.Nora,Mimoière Magister "Préparation Et Etude de la stabilité thermique des polyurethex" 2012,Université Farhat Abbas Setif.
- [5] M. FONTANILLE., Y. GNANOU., Chimie et Physico-chimie Des Polymères (cours), 2e et 3e cycles. Dunod, Paris, 2005 ,P ,4-8.
- [6] B.Chérifa, Mémoire magister physique "l'méloration des propriétés microscopique des nanocomposites"2007,Université mentouri Constantine.
- [7] Mériçout P, Etude du métabolisme de la plante en réponse à l'apport de différents fertilisants et adjuvants culturaux. Influence des phytohormones sur le métabolisme azoté. Thèse de Doctorat, INRA Paris-Grignon, France, (2006), PP : 110
- [8] Tarik AINANE, « Valorisation de la biomasse algale du Maroc: Potentialités pharmacologiques et Applications environnementales, cas des algues brunes *Cystoseira tamariscifolia* et *Bifurcaria bifurcata* », Thèse de Doctorat , Université Hassan II Casablanca, (2011).PP :6
- [9] Claire.K, Classification of algae, Futura sciences (<https://www.futurasciences.com/planete/dossiers/botanique-algues-surprenants-vegetaux-aquatiques-523/page/7/>), published july 2018
- [10] <https://doi.org/10.1080/00378941.1966.10838473>
- [11] Reviere, B. (2002), Biologie et phylogénie des algues. Belin, 1, 351p.
- [12] Mme BOUCHOUKH Imane, Cours de Botanique 2ème année LMD, Université Constantine-(2016/2017), PP : 5-28-42-49-50.
- [13] <https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fwww>
- [14] Jung K. A, Lim. S. R, Kim. Y, Park. J. M, 2013. Potentials of macroalgae as feedstocks for biorefinery. Bioresource Technology, vol. 135, pp. 182-190. [h] BEKIRET K, MIMOUNE M, Etude théorique et pratique de la synthèse et de la production des oméga 3 et oméga 6 à partir des algues, Université KASDI-MERBAH, OUARGLA, (2021). PP :8 ; 9.

- [15] Hortense FALLER, " Les applications et la toxicité des algues marines ", Thèse de Doctorat, Université de Limoges, (2011), PP :12.
- [16] Mme BOUCHOUKH Imane, Cours de Botanique 2ème année LMD, Université Constantine-1, (2016/2017), PP : 5-28-42-49-50.
- [17] <https://media.lesechos.com/api/v1/images/view/60cde391d286c23c1d0bf786/1280x720/611223383195-web-tete.jpg/> cyanobactéries-algues-bleues.
- [18] Hortense FALLER, " Les applications et la toxicité des algues marines ", Thèse de Doctorat, Université de Limoges, (2011), PP :12.
- [19] <https://media.lesechos.com/api/v1/images/view/60cde391d286c23c1d0bf786/1280x720/611223383195-web-tete.jpg/> -une-algue vert.
- [20] Nakajima K, Yokoyama A, Nakajima Y(2009). Anticancer effects of a tertiary sulfonium compound, dimethylsulfoniopropionate, in green sea algae on Ehrlich ascites carcinomabearing mice. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*. 55, 434-438.
- [21] <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.photo-la-plage-du-cap-coz-a-fouesnant-se-pare-d-un-manteau-d-algues-rouges>.
- [22] https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Ffr.123rf.com%2Fphoto_87161267_fucus-v%25C3%25A9/ vésiculisas-une-algue-brune.
- [23] PEYEN (L.), « La pollution plastique (étude 14) », *Énergie-Environnement-Infrastructures* (n°11), 2018.
- [24] Justine Jacquin, Ecotoxicologie microbienne des plastiques en mer : Colonisation et biodégradation par la plastisphère, [Thèse de doctorat en Microbiologie Marine], France, (2020), PP18.
- [25] Review: Ezgi.B et Havva.D Investigation of Bioplastics, (2015), PP :187.
- [26] Damla Tonuk , Materials as temporally specific phenomena: Specialization and compromise in bioplastics production, (2018), pp116.
DOI: 10.1177/1359183517725547 pp116.
- [27] Fridovich-Keil.J, Bioplastic, *Encyclopædia Britannica*.
(<https://www.britannica.com/technology/bioplastic>), Publi 2020.
- [28] Saranya Rameshkumar, Bio-based and biodegradable polymers - State-of-the-art, Challenges and Emerging Trends, 2020.

- [29] Mohammed Kuddus, Bioplastics for Sustainable Development, (2020). PP 55 -87 -88
- [30] Tianyu Jiang, Starch-based biodegradable materials: Challenges and opportunities, (2020), PP 10.
- [31] Thielen.M, bioplastics MAGAZINE.Germany: FachagenturNachwachsendeRohstoffe e. V.(FNR) Public ,2014.pp.13
- [32] <https://www.google.com/url> Falternative-au-plastique.
- [33] Polysaccharide-based Biomaterials with Antimicrobial and Antioxidant Properties - Scientific Figure on ResearchGate. Available from:
https://www.researchgate.net/figure/Chemical-structure-of-amylose-and-amylopectine_fig1_228478005 [accessed 17 Apr, 2023]
- [34] Gareth Ross, Bioplastics: New Routes, New Products, Chapter 23,(2017), PP :624
- [x35]Krzysztof Biernat Biorefineries - Selected Processes Submitted, (2021)
DOI: 10.5772/intechopen.100981
- [36] Cecilia Cecchini, Bioplastics made from upcycled food waste. Prospects for their, (2017)
DOI: 10.1080/14606925.2017.1352684
- [37] SATISH KUMAR • KS THAKUR, Bioplastics - classification, production and their potential food applications, 2017,pp :120.
- [38] https://tpe-bioplastiques.github.io/ressources/docplayer.fr_107262-Bioplastiques-biodegradables-compostables-et-biosources-pour-les-emballages-alimentaires-distinctions-subtiles-mais-significatives_html.png
- [39] Maximilian.L,In book: Kirk-Othmer 6Chapter: Bioplastics - Biobased plastics as renewable and/or biodegradable alternatives to Petroplastics.
- [40] Izathul Shafina Sidek, Bioplastiques - la tendance actuelle
DOI : <http://doi.org/10.26480/itechmag.01.2019.03.08>
- [41] European Bioplastics organisation, Bioplastics market data 2019, publié le (février 2020).
- [42] *Ebioplastique-Tendance actuelle en vogue*
https://www.resinex.fr/assets/components/phpthumbof/cache/Fotolia_59464133_L.6e6c6ec718778c3cad98e0.
- [43] Laxmana Reddy, Study of Bio-plastics As Green & Sustainable Alternative to Plastics pp87 88.

[44] PAK S. Chow, A method for routine measurements of total sugar and starch content in woody plant tissues, 2004, PP :1130.

[45] M. K. Marichelvam, Corn and Rice Starch-Based Bio-Plastics as Alternative Packaging Materials, 2019, pp :14

[46] Fiche technique Les polymères biodégradables

[47] B. Messaoud, Etude de la solubilité de quelques produits plastique industriels dans les solvants : Toluène, n-Hexane, Chloroforme et Ethanol,[mémoire fin d'étude],2015.