



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE EPOPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA



Faculté des sciences appliquées
Département de Génie des procédés

Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Génie de procédés

Spécialité : Génie Chimique

Présenté Par :

Manal CHADOU

Thème :

Contribution à la modélisation et l'optimisation de la synthèse des bioplastiques

Soutenu publiquement le : 14/06/2023

Devant le jury composé de :

Djamel MANOUCHE

Professeur (UKM Ouargla)

Président

Yasmina MOKHBI

MCB (UKM Ouargla)

Examinatrice

Souad ZIGHMI

MCB (UKM Ouargla)

Promotrice

Année Universitaire : 2022/2023

Remerciements

Avant tout, on remercie, Dieu tout puissant de j'ai donné le courage, la force, la volonté et la patience pour réaliser ce travail. Au terme de ce modeste travail je tenon tout particulièrement à témoigner notre profonde gratitude à notre encadreur Dr. **Souad ZIGHMI** Maître de Conférences à l'université de Kasdi Merbah Ouargla d'avoir dirigé ce travail et de je faire partager ces connaissances qui ont été très utile et pour ces précieux conseils et orientations.

Je remercie sincèrement tous les membres de jury pour avoir accepté de juger notre travail : Monsieur **Djamel MANOUCHE** Professeur à l'université de Kasdi Merbah Ouargla.

Dr. **MOKHBI Yasmina** Maître de Conférences à l'université de Kasdi Merbah Ouargla

Enfin, je remercie tous ceux qui de près ou de la loin ont contribué à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Tout d'abord, je voudrais remercier dieu tout puissant de m'avoir donné le courage, la volonté et la force de faire ce travail.

Je dédie cet humble travail à mes chères parents, qui ont été mon aide et mon soutien, et leur supplication bénie a eu le plus grand impact pour guider le navire de recherche jusqu'à ce qu'il s'ancre dans cette image.

Et à mes frères pour leur amour et leur soutien envers moi.

Je tiens à exprimer des remerciements particuliers à ceux qui m'ont soutenu, ont fait des démarches à mes difficultés mon cher époux et à mon fils.

Ma position dans cet endroit n'aurait pas eu lieu sans leur encouragement continu.

Et à la famille de hajj musa rezzag barra, qui m'a comblé d'amour, d'appréciation, de conseils et de soutien.

À tous, je dédie ce travail, demandant à dieu tout puissant de nous en faire bénéficier et de nous accorder son succès.

Résumé

La croissance de l'industrie des plastiques a évolué au cours du siècle. Avec un faible coût et une bonne efficacité. Mais comme le plastique n'est pas biodégradable, en plus d'un mauvais drainage. Il a été constaté que le plastique a des effets toxiques sur les animaux, les humains et l'environnement, ce qui contribue à la pollution du système environnemental. Pour cette raison, la recherche a prêté attention au développement de matériaux plastiques non nocifs pour l'environnement. Dans cette étude, les bioplastiques fabriqués à partir d'algues bio sources ont été améliorés. Les principaux objectifs de ce travail sont d'étudier les principaux facteurs qui affectent la production de plastique (masse d'algues, gélatine, acide acétiques, glycérol), les conditions opératoires spécifiques à obtenir un rendement optimal et élevé. La qualité, une manière d'améliorer la productivité en appliquant la méthodologie des « plans d'expérience » à l'aide du programme statgraphics. Les résultats ont montré que le rendement en chlorelle était meilleur que celui du périphyton, ils indiquent également que la qualité de la chlorelle était meilleure et que la production de chlorelle était riche et bonne avec l'application des mêmes conditions optimales pour les deux. Cette étude a également montré un résultat très satisfaisant avec de bons rendements de production. Après avoir appliqué les expériences, nous pouvons atteindre l'objectif en utilisant une méthodologie de (plans factoriels complets).

Mots clés : Algues, Bioplastique, pollution, plans d'expériences, Biomasse.

البلاستيك تطور العشرين مع انخفاض التكلفة و الكفاءة الجيدة. لكن نظرا لان البلاستيك غير قابل للتحلل الحيوي بالإضافة إلى سوء التصريف. فقد وجد أن البلاستيك له اثار سامة على الحيوانات والبشر والبيئة مما يساهم في تلوث العالمي للنفايات البلاستيكية بالإضـ

لتطوير مواد بلاستيكية و هو استخدام البلاستيك الحيوي والقابل للتحلل الحيوي وان من أفضل المصادر للكتلة الحيوية لإنتاج البلاستيك الحيوي هو من الطحالب وذلك لتنوعها ويمكن استخدام الطحالب في صناعة البلاستيك بطريقة صديقة للبيئة. في هذه الدراسة تم تحسين البلاستيك الحيوي المصنوع من مصادر حيوية هي الطحالب, الأهداف الرئيسية لهذا العمل هي :

Acide , gélatine, masse d'algues , يسية التي تؤثر على إنتاج بلاستيك

acétiques, Glycérol, ظروف تشغيل معيد, طريقة تحسين إنتاجية

statgraphics. حيث أظهرت (plans d'expérience) تطبيق منهجية

chlorella chlorella تشير أيضا périphyton

و جيد مع chlorella

تطبيق نفس الظروف المثلى لكليهما . أظهرت هذه الدراسة نتيجة مرضية للغاية مع إنتاجية جيدة وبعد تطبيق

نستطيع تحقيق الهدف وذلك بمنهجية تصاميم عاملية كاملة . plans factoriels complets .

الكلمات المفتاحية : البلاستيك الحيوي , الخطط التجريبية , الكتلة الحيوية .

Abstract

The growth of the plastics industry has evolved over the century. With low cost and good efficiency. But as plastic is not biodegradable, plus poor drainage. Plastic has been found to have toxic effects on animals, humans and the environment, which contributes to pollution of the environmental system. For this reason, research has paid attention to the development of plastic materials that are not harmful to the environment. In this study, bioplastics made from bio-sourced algae were improved. The main objectives of this work are to study the main factors that affect the production of plastic (algae mass, gelatin, acetic acid, glycerol), the specific operating conditions to obtain optimal and high yield. Quality a way to improve productivity by applying the “experiment design” methodology using the statgraphics program. The results showed that the yield of chlorella was better than that of periphyton, they also indicate that the quality of chlorella was better and the production of chlorella was rich and good with the application of the same optimal conditions for both. This study also showed a very satisfactory result with good production yields. After applying the experiments, we can achieve the objective using a (full factorial designs) methodology.

Key words: Algae, Bioplastic, Pollution, Planned experiments, Biomass.

SOMMAIRE

<i>Titre</i>	<i>Page</i>
Sommaire	I
Liste des tableaux	IV
Liste des figures	V
Liste des abréviations	VI
Introduction générale	1
Chapitre I : Généralités sur les algues	
.1. Introduction3
.2.Généralités sur les algues	3
2.1. Définition	3
2.2. Structure des algues	3
2.2.1. Macro algues	3
2.2.2. Micro algues	4
I.3. classifications des algues	4
3.1. Les bases de la classification	4
3.2. Les grands groupes des algues	4
3.2.1. Les algues rouges (Rhodophycées)	4
3.2.2. Les algues vertes (Chlorophycée)	5
3.2.3 Les algues bleues (cyanobactéries ou cyanophytes)	6
3.2.4. Les algues brunes (phéophycées)	7
I.4.Reproduction des algues	7
I.5.Utilisations des algues	8
5.2. Alimentation humaine.....	8
5.1. Utilisations médicales	8
5.3. Cosmétique	9
5.4. Environnement.....	10
5.5. Energie	10
I.6.Algues en algérien	10
I.7. Compositions chimiques des algues	11
I.8. Statistiques sur les algues	11
I.9. Conclusion	13

Chapitre II : Synthèse bibliographique

II.1.Introduction	14
II.2.Historique de la bioplastique	14
II.3.Classification des bioplastique	15
3.1. Bioplastiques naturels issus directement de la biomasse	15
3.2. Bioplastiques issus des microorganismes par fermentation microbienne	15
3.3. Bioplastiques obtenus par synthèse à partir de monomères renouvelables	16
3.4. Bioplastiques pétrochimiques biodégradables.....	16
II.4.Type de bioplastique	16
4.1. Plastiques à base d'amidon	16
4.2. Plastiques à base de protéine	16
4.3. Plastiques à base de cellulose	17
4.4. Certains polyesters aliphatiques	18
II.5.Capacités mondiale de production des bioplastiques	19
II.6.Avantages et inconvénients des bioplastiques	19
6.1. Avantages	19
6.2. Inconvénients	20
II.7.Génération de bioplastiques bio sources	20
7.1. Première génération	20
7.1.1. Les plantes amylacées	21
7.2. Deuxième génération de plastiques bios sources	21
II.8. Application des bioplastiques	21
II.9.Le développement de bioplastique	21
II.10.Propriétés du bioplastique	22
II.11.Conclusion	23

Chapitre III : Matériels et méthodes

III.1.Introduction	24
III.2.La récolte	24
III.3.Composition chimique des algues	24
III.4.Matériel et produits utilisés	25
III.5.Mode opératoire.....	25
III.6.Conclusion.....	26

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV. 1.Introduction	27
IV.2.Définition de Logiciel statgraphics.....	27

IV.3. Définir le plan d'expérience	27
IV.4. Conception expérimentale	29
4.1. Le modèle mathématique de ce plan d'expérience	31
IV.5. Analyse graphique	32
IV.6. La deuxième expérience	35
6.1. Le modèle mathématique de ce plan d'expérience	38
IV.7. Analyse graphique	39
IV.8. Le résultat	41
8.1. La modélisation.....	42
IV.9. Optimisation des résultats.....	45
IV.10. Conclusion	47
Conclusion général	48
Références bibliographiques.....	49

Liste des tableaux

<i>Titre</i>	<i>Page</i>
Chapitre III	
Tableau III.1: Les quantités utilisées pour les deux types d'algues.....	26
Chapitre IV	
Tableau IV.1:L'expérience avec les grandeurs codées	29
Tableau IV.2 : Domaine d'étude	30
Tableau IV.3 :Commenter les résultats des expériences périphyton	31
Tableau IV.4 : L'expérience avec les grandeurs codées	36
Tableau IV.5: Domaine d'étude	37
Tableau IV.6: Commenter les résultats des expériences chlorella.....	37
Tableau IV.7: Rendement des bioplastiques obtenus à partir de périphyton.....	43
Tableau IV.8: Rendement des bioplastiques obtenus à partir de chlorella	44
Tableau IV.9: d'optimisation des réponses pour périphyton.....	46
Tableau IV.10: d'optimisation des réponses pour chlorella	47

Liste des figures

<i>Titre</i>	<i>Page</i>
Chapitre I	
Figure I.1: photo présenté la forme de micro algue sous microscope.....	4
Figure I.2: les Algues marines rouges	5
Figure I.3: Les algues marines vertes.....	6
Figure I.4: Les algues marines bleues.....	6
Figure I.5: Les algues marines brunes.....	7
Figure I.6: Exemples de produits alimentaires à basé d''algue	9
Figure I.7: de produits Cosmétique à basé d''algue	9
Figure I.8: Répartition de la consommation mondiale d'algue entre les principaux pays	12
Figure I.9: Nombre de publications en fonction des années.....	13
Chapitre II	
Figure II.1: Différents classes de bioplastiques biodégradables.....	15
Figure II.2: structure moléculaires de la cellulose.....	17
Figure II.3: élaboration du PLA par ouverture de cycle.....	18
Figure II.4: capacité de production mondiale de bioplastique par types de matériau...	19
Chapitre III	
Figure III.1: Carte d'Algérie représente les régions de récolte des algues.....	24
Chapitre IV	
Figure IV.1: Icône de Statgraphics Centurion	27
Figure IV.2: Procédure de synthèse de bioplastiques à partir d'algues.....	28
Figure IV.3: graphique de pareto standardisé pour le périphyton	33
Figure IV.4: graphique de Main Effets plot pour la périphyton	34
Figure IV.5: Effet de l'interaction pour le périphyton	34
Figure IV.6: diagramme répons surface pour le périphyton.....	35
Figure IV.7: graphique de pareto standardisé pour le chlorella.....	39
Figure IV.8: graphique de Main Effets plot pour le chlorelle.....	40
Figure IV.9: Effet de l'interaction pour la chlorelle	40
Figure IV.10: diagramme répons surface pour la chlorelle	41
Figure. IV.11: Le graphique montre le rendement par périphyton.....	43
Figure.IV.12: graphique montre la productivité de la chlorella	45

Liste des abréviations

R: Rendement.

g: gélatine.

Aa: Acide acétique.

G: Glycérol.

r: Réponse.

%: pourcentage.

g : Gramme.

mI : Millilitre.

pfc: plan factoriel complet.

S: Statgraphics.

ADN: acide désoxyribonucléique.

PHA: polyhydroxylacanoates.

PHB: polyhydroxy.

PHV: polyhydroxyvalérate.

PHH: Polyhydroxyhexanoate.

PLA: acide polylactique.

INTRODUCTION

GÉNÉRALE

Introduction Générale

Les océans et les mers représentent près des trois-quarts (soit 71%) de la surface du globe. L'environnement marin est un écosystème unique en raison de la diversité des organismes qu'il abrite. Les organismes marins continuent d'être un foyer majeur de nombreux efforts de recherche et une riche source de nouveaux métabolites et une source de produit naturel, de structure unique ayant des activités pharmacologique et biologique. Parmi ces organismes, les algues font preuve d'une incroyable richesse [1 3].

Le monde entier, même les océans, est plein de déchets plastiques. De plus, l'industrie du plastique présente certains inconvénients liés à des problèmes économiques et environnementaux [4].

L'augmentation des déchets plastique conduit à une crise de la décharge en raison de la hausse des couts et d'une législation stricte. D'un autre côté, les océans sont également pleins de déchets plastiques. L'endommagement de l'écosystème marin est le deuxième inconvénient. Le troisième inconvénient est que les options de gestion des déchets sont inadéquates. La proportion de recyclage des plastiques est très faible .d'autre part, des émissions toxiques telles que le dioxyde de carbone et le méthane sont générées en raison de l'incinération du plastique. Ces gaz à effet de serre (GES) affectent négativement le changement climatique mondial [5].

Selon la norme D6400 de l'American society for testing and matériels (ASTM), la plante ne doit pas être en dommage après le processus de compostage. Les bioplastiques biodégradables sont entièrement biodégradés par les micro-organismes le terme (biodégradables) fait référence à des matériaux qui peuvent se désintégrer ou se décomposer naturellement dans le dioxyde de carbone et l'eau suite à une exposition à un environnement microbien et à l'humidité [6].

La valorisation de la biomasse algale est considérée parmi les programmes internationaux les plus intéressants dans l'exploitation du milieu marin [7].

On effet, les algues ont constitué pour longtemps un grand espoir économique, pour les pays qui en possèdent d'importants littorales. Elles sont une source importante de polysaccharides (carraghénines, alginates, agars) dont les propriétés physicochimiques, ou stabilisantes intéressent de nombreux secteurs industriels. Leurs propriétés antibiotiques, antivirales et anti-inflammatoires leur confèrent une valeur appréciée en pharmacie et en

médecine. Les algues ont déjà une valeur commerciale reconnue dans des domaines variés, tels que : l'alimentation, la cosmétique et la papeterie, le pharmaceutique et la médecine [8 9].

Ce sujet se compose de quatre chapitres, chaque chapitre comprend une introduction et une conclusion, les premier et deuxième chapitres sont théoriques les troisième et quatrième sont pratiques. Ces chapitres peuvent être résumés et évalués comme suit.

Le premier chapitre est introductif, présente une étude bibliographique, cette partie assemble plusieurs données sur les algues.

Le deuxième chapitre présente une vue d'ensemble, les bioplastiques offrent une solution prometteuse pour la protection de l'environnement.

Le troisième chapitre, est consacré aux travaux expérimentaux, réalisés de ce thème facteurs important influant sur le rendement de la synthèse de bioplastique, pour optimisation de rendement, pour obtenir les meilleures conditions pour la synthèse de bioplastiques par le logiciel statgraphics.

Le quatrième chapitre présente les résultats d'une étude des principaux facteurs affectant la production de plastique pour obtenir des rendements de haute qualité.

Chapitre I

Généralités sur les algues

.1. Introduction

L'environnement marin est un écosystème rendu unique en raison de la diversité désorganisâmes qu'il abrite. Parmi ces organismes, les algues font preuve d'une grande diversité de formes, de couleurs et d'architectures [10].

La plupart des algues se développent en milieu aquatique d'eau douce, saline ou saumâtre, sur des rochers humides, ou sur un sol mouillé mais certaines sont terrestres et sont capables de se développer sur le sol ou sur le tronc des arbres [11].

Ce chapitre contient huit parties. La première section comprend des informations de sur les algues, la deuxième partie de leur classification, la troisième partie leur mode de reproduction, la quatrième partie décrit leurs domaines d'utilisation et la dernière section comprend l'effet des algues sur l'environnement et comment ils vivent en Algérie.

.2.Généralités sur les algues

I.2.1. Définition

Les algues regroupant un ensemble de végétaux photosynthétiques très divers et dont l'appareil végétatif relativement simple est appelé «thalle». Celui-ci contient une structure a sa base rhizoïdes, crampons, disques..... permettant l'ancrage de l'algue sur un support:une roche algues épillets , ou une plante algues épiphytes , ou un animal algues Pib ou parfois même le sable [10].

Les algues regroupent un ensemble de végétaux photosynthétiques très divers et dont l'appareil végétatif relativement simple est appelé « thalle », elles ont des dimensions et des formes très changeable. Certaines sont microscopiques et d'autres mesurent plusieurs mètres de longueur, mais elles ont toutes des caractères communs [12].

La couleur de l'algue dépend principalement de la présence des pigments photosynthétiques [13].

2.2. Structure des algues

2.2.1. Macro algues

Las macro algues sont au nombre de 25 000 espèces dont seulement 50 sont exploitées a ce jour. Elles possèdent généralement un appareil végétatif clairement distinguable à l'œil nu et sont fixées sur un substrat rocheux a travers des crampons qui sont souvent recouverts de sécrétions riches en polysaccharides. Ces macros algues peuvent, elles mêmes, constituer

un substrat pour de nombreuses communautés animales. La partie foliacée du thalle des macros algues appelée fronde peut être sous forme de filaments, cordons ou lanières [14].

2.2.2. *Micro algues*

Ont généralement d'une taille de l'ordre du micron et donc invisibles à l'œil nu [15]. Elles sont des microorganismes aquatiques unicellulaires eucaryotes [16].



Figure I.1: photo présentée la forme de microalgue sous microscope [11].

I.3. classifications des algues

I.3.1. Bases de la classification

La classification des algues se fait selon des caractéristiques spécifiques telles que les composantes de la paroi cellulaire, les pigments présents la couleur le cycle de vie et le type de composés utilisés pour l'entreposage de la nourriture [17].

La classification des algues repose sur plusieurs critères, il y a des critères biochimiques comme: la nature des pigments photosynthétiques, la nature des polysaccharides réserve. Autres critères cytologiques comme :structure de noyau, mode de reproduction, complexité structurale, présence et structure de flagelles [18].

3.2. Les grands groupes des algues

En général, les algues regroupent quatre groupes algues rouges, algues vertes, algues bleues, algues brunes qui sont différenciées par rapport à la couleur, chaque groupe contient des classes, et chaque classe contient des centaines d'espèces [19].

3.2.1. *Les algues rouges (Rhodophycées)*

Les rhodophycées ou algues rouges forment un groupe très diversifié. Ces algues doivent leur couleur à la présence de plastes roses dans les quels un pigment rouge, la phycoérythrine est associé à plusieurs autres pigment dont les chlorophylles, la plupart de ces

algues rouges sont pluricellulaires et marines, mais il existe quelques formes unicellulaires et quelques unes vivent également en eau douce. Les algues rouge sont divisées en deux groups : celui des Bangiophycées qualifiées de primitives et celui des floridéophycées plus complexes . Elles se distinguent généralement par leur cycle de reproduction particulièrement complexe. [10]



Figure I.2: les Algues marines rouges [12].

3.2.2. *Les algues vertes (Chlorophycée)*

Elles sont de formes très variées, uni ou pluricellulaires. Leurs plastes sont colorés en vert par les chlorophylles a et b, auxquelles sont associés des carotènes et des xanthophylles. La photosynthèse permet la formation d'amidon, comme pour les plantes supérieures, la plupart des algues vertes vivent en eau douce ou en milieux marins, mais certains espèces peuvent également se développer sur terre Elles jouent un rôle important dans l'oxygénation des eaux, favorisant ainsi la vie animal [10].



Figure I.3: Les algues marines vertes [13].

3.2.3 Les algues bleues (cyanobactéries ou cyanophytes)

C'est un group primitif d'algues et les plus anciennes plantes à chlorophylle. Elles n'ont pas une variable structure cellulaire, on dénombre 150 genres est 2000 espèces. Ces végétaux, ont longtemps été inclus dans les algues et nommés algues bleues en raison, en particulier, leur habitat aquatique et leur coloration bleu vert. Il est actuellement admis que leur ultra structure de type procaryote, indique une parenté certaine avec les bactéries, justifiant le terme de cyanobactéries qui leur est désormais appliqué [20].

Les cyanobactéries correspondant à organismes unicellulaires ou pluricellulaires formés de cellules ou filaments microscopiques, mais qui se développent souvent, simultanément pour constituer des colonies, Ces colonies de taille, et de forme, de couleur très variable [20].



Figure I.4: Les algues marines bleues [14].

3.2.4. Les algues brunes (*phéophycées*)

La couleur brune de ces algues résulte de la dominance du pigment xanthophylle, la fucoxanthine, qui masque les autres pigments chlorophylléa et ainsi que le bêta carotène . Toutes possèdent une structure pluricellulaire, mais leurs dimensions varient depuis les éléments microscopiques jusqu'aux très grands spécimens .La grande majorité des algues brunes sont marines [10].



Figure I.5: Les algues marines brunes [15].

I.4.Reproduction des algues

Dans de très nombreux cas, la reproduction des algues s'effectue par multiplication végétative. Il s'agit d'une multiplication asexuée qui consiste soit en la division d'une cellule isolée cas des algues bleues , soit en une fragmentation de thalle aboutissant la formation de plusieurs organismes identiques. Elle est souvent réalisée par la formation de cellules spécialisées : les spores [21].

Les algues eucaryotes réalisent en plus une reproduction sexuée au cours de laquelle l'union de deux cellules reproductrices, ou gamètes produit zygote un œuf .La reproduction des algues se déroule ainsi selon une alternance de phases de reproduction sexuée, assurée par des thalles producteurs de gamètes gamétophytes et de phases de reproduction asexuée assurée par les thalles sporophytes [21].

I.5. Utilisations des algues

Les algues marines ouvrent de nombreuses perspectives pour la recherche et pour de nombreux secteurs économiques, au nombre de cinq : la santé, l'alimentation, les biocarburants et surtout de troisième génération l'environnement et l'industrie .A cela il faut rajouter d'autres activités comme la cosmétique [22].

5.1. Utilisations médicales

Au cours des trois dernières décennies les organismes marins ont ainsi été le centre d'une attention considérable en tant que sources potentielles de nouvelles molécules. Dans ce contexte, les études réalisées ont montré que les algues renferment une grande quantité de molécules d'intérêt médical, dont beaucoup sont connues pour leur application dans la conception de médicaments et biomatériaux. L'agar les carraghénanes et encore les alginates, sont quelques unes des molécules les plus utilisées dans des domaines médicaux très divers comme les anticoagulants, la conception de pansements absorbants, etc. Ces composés sont issus presque exclusivement d'algues brunes, d'algues rouges et de micro algues [23].

5.2. Alimentation humaine

Beaucoup d'algues sont utilisées dans l'alimentation humaine telles quelles comme le cas des algues microscopiques : spiruline, diatomée et chlorelle. Pour le cas de la spiruline citée a titre indicatif, en raison de sa valeur nutritionnelle très élevée cette algue bleue est considérée comme l'une des seules sources de protéines non animales. D'autres types de macro algues peuvent être intégrés dans certains ingrédients alimentaires, comme les pates [22].

Environ 75% de la production d'algues produites mondialement passant de 2 millions de tonnes produites en 1970 a 20 millions en 2010 , cette production est majoritairement destinée a l'alimentation humaine directe [24].

Aujourd'hui, 14 macros algues et micro algues alimentaires sont autorisées à la vente dans certains pays [25].



Figure I.6: Exemples de produits alimentaires à basé d'algue [16].

5.3. Cosmétique

L'industrie cosmétique a axé sur les substances bioactives dérivées de substances naturelles des produits tels que les plantes, les métabolites microbiens, les champignons, et algues marines [26].

Aujourd'hui en cosmétique, les algues sont partout, elles sont incorporées dans des produits de maquillage, rouges à lèvres, savons, shampoings, mousses à raser, crèmes hydratantes, etc. L'utilisation des algues vertes dans ce secteur n'est pas encore très développée. Cependant, au vu de leurs propriétés, il est facile d'imaginer l'application potentielle dans les produits de soins personnels [27].



Figure I.7: de produits Cosmétique à basé d'algue [17].

5.4. Environnement

L'utilisation des micro algues dans le secteur de l'environnement s'intègre dans une optique de dépollution avec pour idée de transformer nos déchets en produits, comme par exemple le traitement des eaux usées chargées en nitrates, phosphates, l'épuration de défluent gazeux contenant du [28].

5.5. Energie

Leurs performances biologiques et la variété des espèces prédisposent les micro algues à se positionner dans la course aux énergies renouvelables. En effet, les bioénergies, ou les combustibles pouvant être produits à partir des micro algues couvrent une large gamme allant des composés gazeux comme l'hydrogène et le méthane aux alcools, et aux hydrocarbures liquides conventionnels [28].

I.6. Algues en algérien

De nombreux pays tirent profit à partir de la mer et de ses macro algues rouges, brunes et vertes. Chacun de ces groupes offre des bénéfices non négligeables, allant de l'alimentation humaine et la fabrication des produits cosmétiques en passant par des produits pharmaceutiques [10].

L'Algérie est un pays s'ouvrant sur la mer méditerranéenne sur une longueur de 2100KM.

Des projets en vue d'une exploitation efficace des ressources marines sont plus que souhaitables. Avec les 497 taxons inventoriés en Algérie (Séridi, 2007), il n'est pas étonnant de retrouver des espèces qui pourraient être d'un apport bénéfique. Si on considère uniquement les algues brunes (phéophycées) qui sont utilisées dans de nombreux pays et dans divers domaines, nous remarquons que 17 espèces sont retrouvées dans diverses localités d'Algérie dont 9 sont endémiques.

En Algérie, les algues sont très peu connues dans quasiment tous les domaines. Leur intérêt commence à se manifester par le nombre de travaux que l'on recense et qui relatent les multiples perspectives qu'elles offrent pour la recherche et le domaine industriel, parmi ces travaux on peut citer ceux de Boudouresque et Séridi, 1989, Ould Ahmed, 1994, Kadari-méziane, 1994, Allouache et Mebtouche, 1998, Chioukh et Moussaoui, 2005 et Séridi, 2007. Sur toutes les côtes Algériennes d'Ouest en est, plus de 468 taxons ont été inventoriés à partir de la compilation des travaux anciens et récents [10].

Actuellement, on commence à découvrir donc leurs vertus et l'enjeu que cette ressource naturelle présente pour le développement du pays. L'investissement dans le développement du pays passe tout d'abord par la connaissance via l'inventaire de ces ressources algales des côtes Algérienne. Leur utilisation dans les divers secteurs va pouvoir valoriser ces ressources naturelles qui sont très prisées à travers le monde. En 2009, la production mondiale des macro algues a atteint plus de 15 millions de tonnes Anonym2, 2012 , avec un taux de croissance estimé à 5,7 % par an Anonyme, 2018 [10].

I.7. Compositions chimiques des algues

Les algues sont significativement différentes des plantes terrestres selon leur composition chimique, physiologique ainsi que leurs caractéristique morphologiques Les algues se composent généralement [29] :

- ❖ De glucides, qui sont essentiellement sous forme de polysaccharides (agars et carraghénanes chez les algues rouges, alginates chez les algues brunes, et Ulvanes chez les algues vertes). on trouve également le glucose, la cellulose l'hémicellulose et la pectine en faible proportions.
- ❖ De protéine dont la teneur varie en fonction de l'espèce, des saisons et des conditions environnementales.
- ❖ D'une faible quantité de lipides, environ 0,9 à 5,2% du poids sec. Ainsi que des composés phénoliques,
- ❖ De forte teneur en minéraux : Potassium, Chlore, Calcium, Magnésium, Soufre, Phosphore, Iode, Fer, Cuivre, Manganèse et de nombreux autres oligo-éléments.
- ❖ Des vitamines (A, B1, B2, B6, B12, C, E, K)
- ❖ des pigments : caroténoïdes, chlorophylles a et b,.....

I.8. Statistiques sur les algues

Les algues forment un gisement important pour l'industrie grâce à la diversité et la richesse de ses composants (grande teneur en lipides, en acides gras et en protéines). Elles sont destinées à la production d'une énergie renouvelable (biocarburant) dans l'industrie alimentaire, pharmaceutique et celle de la cosmétologie . La valorisation des algues, nécessite avant toute, l'identification de l'espèce d'algue, la connaissance de sa composition, le gisement potentiel et le domaine d'application de cette ressource. Or, en Algérie, les recherches sur les algues ne sont qu'à leurs premiers pas. Même si des programmes de recherche et

développement sur les algues ont été menés depuis quelques années, la valorisation industrielle de cette ressource demeure inexistante. L'Algérie n'est pas aussi riche en ressources algales que son voisin marocain. Ce dernier est ouvert sur l'Océan atlantique, ce qui lui permet de posséder un grand littoral et un gisement très important d'algues. Néanmoins, l'industrie des algues dans les pays asiatiques semble être à son maximum. En effet, selon la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture), la Chine a produit, à elle seule en 2013, 13,5 millions de tonnes d'algues pour divers usages. 80% de l'alimentation de la population sont basés sur les algues dans les pays asiatiques, d'où provient 99% de la production mondiale d'algues, soit 25 millions de tonnes récoltées chaque année pour un marché estimé à plus de 6 milliards de \$. Ainsi, les cinq premiers pays, producteurs et consommateurs d'algues sont [29].

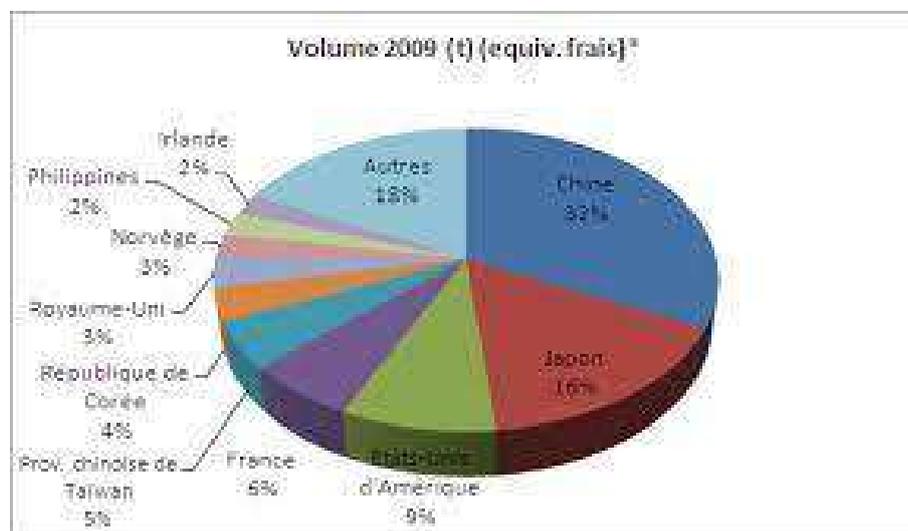


Figure I.7: Répartition de la consommation mondiale d'algue entre les principaux pays [18].

En ce qui concerne les pays occidentaux industrialisés (Europe et Amérique du Nord), la consommation d'algues se fait au travers des phycocolloïdes (40% de la production) utilisés en tant qu'additifs alimentaires (gélifiants, épaississants, stabilisants, etc.). Dans les domaines de la santé, de la cosmétologie et de l'agriculture (10% de la production). La communauté scientifique à intensifier ces dernières années, des travaux de recherche sur les ressources algales afin d'approfondir leurs connaissances sur la biologie et la biochimie de cette espèce (Figure II.7). Qui demeurent nettement insuffisantes pour permettre une organisation rationnelle de l'exploitation [29].

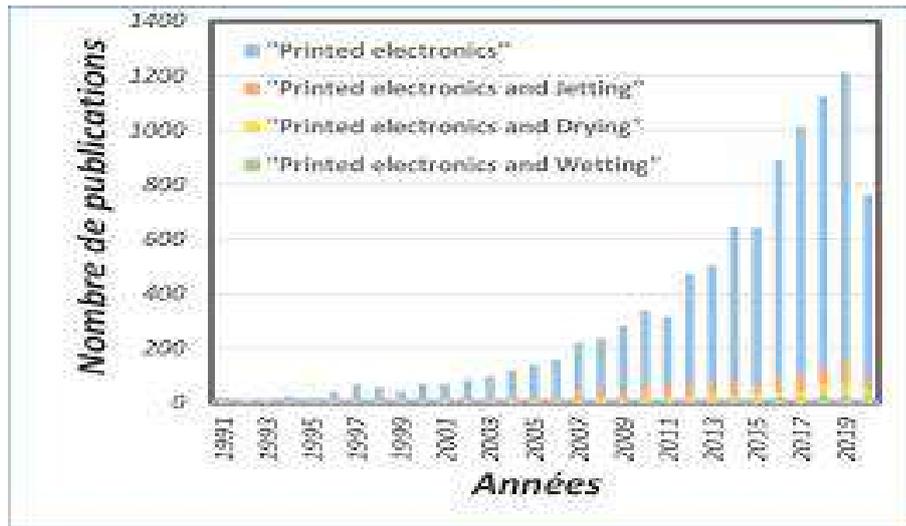


Figure I.8: Nombre de publications en fonction des années [19].

I.9.Conclusion

Dans ce premier chapitre, on a essayé de donner une idée générale sur les algues, et nous avons également détaillé leurs biologies : taxonomie et écologie, aussi leurs utilisation dans plusieurs domaines. On a attaché aussi leurs compositions chimiques, leur reproduction.

On a attaché aussi leur reproduction .Il est difficile aujourd'hui d'attribuer une part de marché à chaque secteur d'application potentiel des micros algues particulier parce que tous ces secteur en devenir sont dans l'attente d'une production de biomasse stable, de qualité et à moindre cout, non atteinte à ce jour. Les utilisations les plus avancées aujourd'hui sont dans des marchés de riche quelques kilos à quelques tonnes par an à fort valeur ajoutée comme la cosmétique , pharmaceutique ou la nutraceutique, aussi bien animal qu' humaine .

Chapitre II

Synthèse bibliographique

II.1.Introduction

Les bioplastiques peuvent être définis comme les matériaux qui sont bio sources et ou biodégradables [30].

Les bioplastiques sont des nouveaux matériaux, d'un grand intérêt du 21^{ème} siècle, leurs productions et leurs consommations sont en développement à travers le monde. Ces matériaux nécessitent d'être soigneusement évalués pour la gestion des déchets et la durabilité. Généralement, les bioplastiques sont fabriqués à partir de ressources renouvelables telles que le maïs, les sucres, les pommes de terre, etc.

Il convient de rappeler que les plastiques bio sources ne sont pas toujours biodégradables, et les plastiques biodégradables ne sont pas toujours bio sources [30].

II.2.Historique de la bioplastique

L'histoire de bioplastique a été décrite comme suite [31] :

En 1941 : Henry Ford, a fabriqué les plastiques à partir de fèves de soja durant la seconde guerre mondiale qui a joué un rôle important dans le développement des bioplastiques.

En 1992 : une société Metabole, biosciences a fourni des solutions aux besoins des mondes pour les matières plastiques, les produits chimiques et de l'énergie.

En 2000 : la société Metabolix a lancé les programmes de recherche pour le développement des cultures industrielles d'ingénierie pour la production de bioplastiques.

En 2005 : Toyota a commencé à réaliser une usine pilote dans la ville de Toyota Hirosé au Japon pour tester la facilité de production de bioplastique.

En 2006 : London NEC corporation a mis au point un matériau bioplastique renforcé par les fibres, pour réduire l'impact environnemental des téléphones mobiles.

En 2010 : Cardia Bioplastique CBMM fabrication Malaisie a développé la fabrication de produits bioplastiques.

II.3. Classification des bioplastique

Les bioplastiques peuvent être classifiés selon leurs compositions chimiques, leurs méthodes de synthèse, leurs procédés de fabrication, leurs importances économiques ou leurs applications [32].

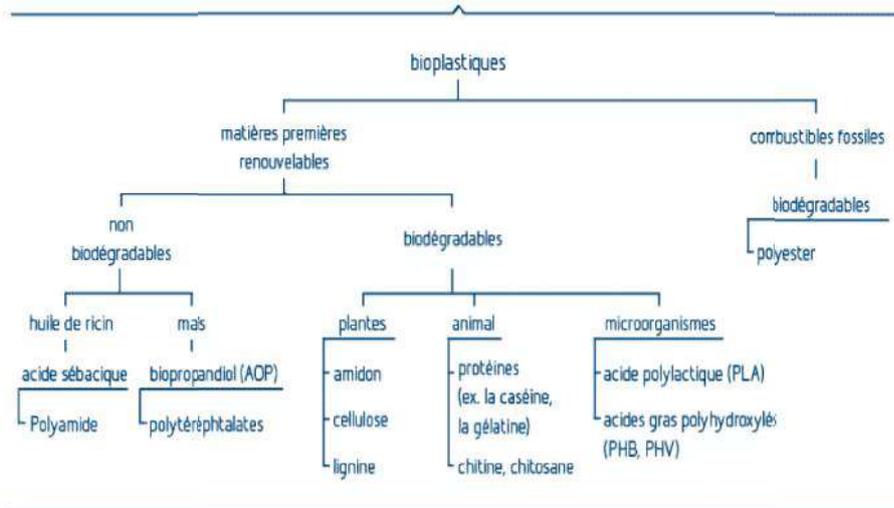


Figure II.1: Différents classes de bioplastiques biodégradables [20].

3.1. Bioplastiques naturels issus directement de la biomasse

Les bioplastiques naturels issus directement de la biomasse constituent les parois cellulaires des végétaux comme la cellulose et la lignine. On peut citer le cas de l'amidon.

Ces polymères sont extraits directement à partir des plantes. Des monomères simples peuvent être également obtenus à partir des plantes après transformation chimiques et /ou enzymatiques par polymérisation de ces monomères [33].

3.2. Bioplastiques issus des microorganismes par fermentation microbienne

Ce groupe de bioplastiques est constitué de la famille des polyhydroxyalcanoates PHA dont le polyhydroxybutyrate PHB et le polyhydroxyvalérate PHBV qui sont les plus communs. Ces polyester proviennent du mécanisme de survie de certains microorganismes qui les conservent et les accumulent comme source d'énergie et de carbone [32].

3.3. Bioplastiques obtenus par synthèse à partir de monomères renouvelables

Ces bios polymères sont transformés par synthèse chimique à partir des monomères issus de matières premières agricoles. On les appelle également bio polyesters car ils ont de nombreuses caractéristiques communes avec les polyesters courants [34].

Le principal groupe de bio polyesters inclut les polyacides PLA. Produits par synthèse chimique de l'acide lactique qui est extrait des produits agricoles ou bien de déchets de l'industrie alimentaire [34].

3.4. Bioplastiques pétrochimiques biodégradables

De nombreux bioplastiques biodégradables peuvent être obtenus à partir de ressources fossiles. Les premiers développements de ces matériaux datent du début des années 70. Il s'agissait de développer des polymères combinant les bonnes propriétés d'usage des polymères conventionnels et la propriété d'être dégradée par les microorganismes [35].

II.4. Type de bioplastique

4.1. Plastiques à base d'amidon

Une classe importante de matières plastiques est représentée par des matières plastiques à base d'amidon à partir du début des années 1990. Les développements de recherche et de technologie ont permis de compléter des polymères naturels comme l'amidon de maïs, pomme de terre, etc. avec des macromolécules afin d'obtenir des matériaux innovants thermoplastiques et biodégradables à l'échelle industrielle [36].

Les plastiques d'amidon peuvent être transformés en produits finis sur des machines à résines thermoplastiques standard légèrement modifiées. Les technologies de conversion utilisées comprennent le soufflage, l'extrusion, le thermoformage, le moulage par injection le moussage et le revêtement par extrusion. La majorité des matières plastiques d'amidon natifs et de ses dérivés [37].

4.2. Plastiques à base de protéine

Les bioplastiques peuvent être fabriqués à partir de protéines provenant de différentes sources. Par exemple, le gluten de blé et la caséine présentent des propriétés prometteuses en tant que matières premières pour différents polymères biodégradables [38].

De plus la protéine de soja est considérée comme une autre source de bioplastique les protéines de soja sont utilisées dans la production de plastique non bioplastique depuis plus de 100 ans par exemple, les panneaux de carrosserie d'une automobile Ford d'origine étaient en plastique à base de soja [39].

L'utilisation de plastiques à base de protéines de soja présente des difficultés en raison de leur sensibilité à l'eau et leur coût relativement élevé. Par conséquent, la production de mélanges de protéines de soja avec certains polyesters biodégradables déjà disponibles améliore la sensibilité et le coût de l'eau [40].

4.3. Plastiques à base de cellulose

La cellulose a longtemps été utilisée dans plusieurs industries, notamment dans les pâtes et papiers et dans le secteur textile [41].

Un des premiers thermoplastiques semi synthétiques a été élaboré en 1862 à partir de celle-ci, soit le nitrate de cellulose [41].

La cellulose offre encore aujourd'hui de nouvelles possibilités comme thermoplastiques. En effet, la chimie organique de la cellulose ouvre la voie à une gamme variée de produits, par estérification ou étherification [42].

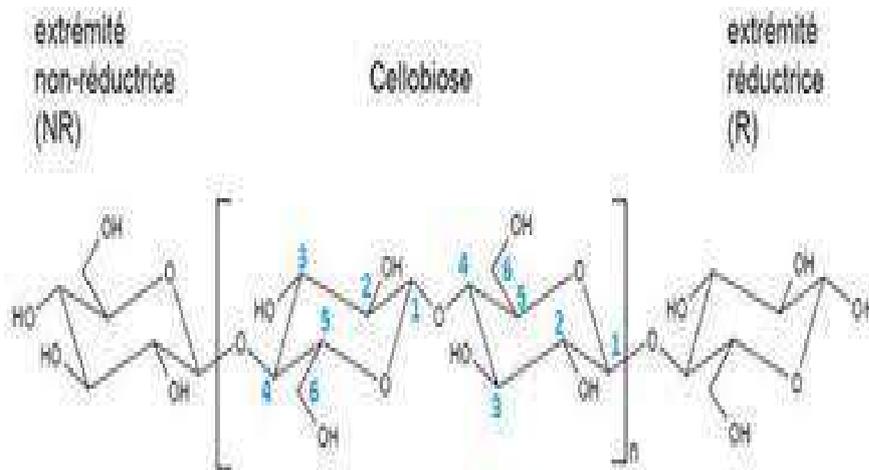


Figure II.2: structure moléculaire de la cellulose [21].

4.4. Certains polyesters aliphatiques

Les biopolyesters aliphatiques sont principalement des polyhydroxyalanoates (PHA)

Comme le poly-3-hydrox butyrate (PHB). Le polyhydroxualérate (PHV) et le polyhydroxyhexanoate (PHH)

A/ Acide polylactique (PLA)

L'acide poly lactique, désigné sous l'acronyme PLA provenant du terme anglais « polylactic acid », est une matière plastique créée par une synthèse classique, comme pour les matières plastiques synthétiques. Il s'agit en fait d'un polymère créé à partir du monomère d'acide lactique [43].

L'acide lactique est généralement produit grâce à un processus de fermentation du glucose [43].

Ce sucre, contenu dans des biomasses renouvelables, est extrait le plus souvent du maïs, de la canne à sucre, de la betterave à sucre ou du tapioca [44].

Après avoir isolé le dextrose de l'amidon, le processus de fermentation constitue la prochaine étape, plusieurs types de bactéries peuvent générer une fermentation formant l'acide lactique à partir du dextrose, mais les bactéries les plus efficaces sont du genre lactobacilles et, incidemment, sont celles le plus souvent utilisées [43].

Par la fermentation, l'acide lactique est élaboré. Ce composé constitue le monomère utilisé dans les étapes subséquentes. L'acide lactique se retrouve naturellement dans les produits alimentaires fermentés, tels le yogourt, le babeurre et la choucroute [45].

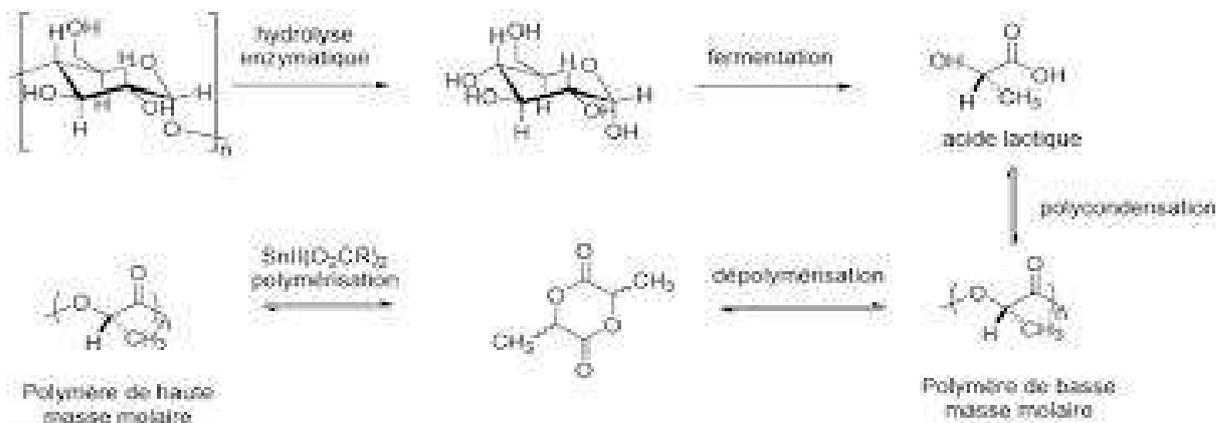


Figure II.3: élaboration du PLA par ouverture de cycle [22].

II.5. Capacités mondiale de production des bioplastiques

La figure II.4 montre les capacités de production mondiale des bioplastiques par type de matériau. Il existe des matériaux qui ont été ou sont commercialisés, y compris le nylon, le polypropylène, le polystyrène, le polycarbonate, le polychlorure de vinyle PVC et de nombreux autres plastiques traditionnels. L'Europe possède le plus grand marché mondial de bioplastiques : cependant, les capacités de production de l'Asie et de l'Amérique du sud se développent rapidement [30].

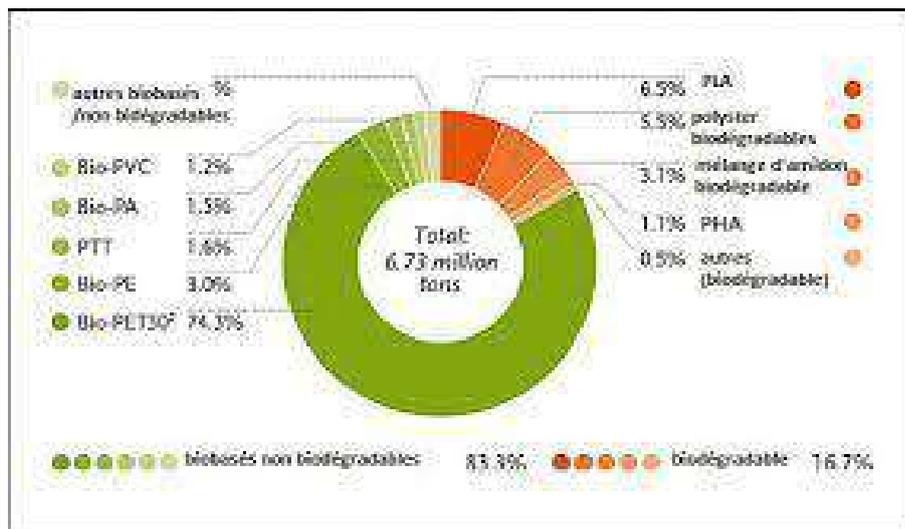


Figure II.4: capacité de production mondiale de bioplastique par types de matériau [23].

II.6. Avantages et inconvénients des bioplastiques

6.1. Avantages

Les bioplastiques présentent plusieurs avantages, parmi eux on les suivants [46] :

- Les bioplastiques sont renouvelables, composés stables et contribuent à réduire la pollution de l'environnement.
- Réduction de l'empreinte carbone.
- Les bioplastiques génèrent moins de émissions de gaz à effet de serre et ne contiennent pas de toxines.
- Les bioplastiques tels que le polyéthylène téréphtalate biosourcé bio PET sont similaires aux plastiques à base de fossiles et peuvent être recyclés de la même manière que les plastiques classiques.

- Les bioplastiques biosourcés à la fin de leur vie, lorsque le recyclage n'est plus une option, ces matériaux peuvent être brûlés pour produire des énergies renouvelables et /ou être utilisés pour fabriquer des biocarburants.

6.2. Inconvénients

Problèmes de recyclage : Par exemple, en travaillant avec les rayons infrarouges en système de séparation des déchets, les bioplastiques ne peuvent être séparés, d'où ils seront contaminés en présence des matières plastiques conventionnelles.

Réduction des matières premières : les bioplastiques produits à partir de sources renouvelables pourraient réduire les réserves de matières premières. En outre afin de réduire la consommation d'énergie lors de la production de bioplastiques et la concurrence potentielle avec les ressources agricoles pour les aliments et aussi pour fournir des sources supplémentaires de matières premières, l'exploitation des sous produits alimentaires est également la tendance actuelle [46].

II.7. Générations de bioplastiques bio sources

7.1. Première génération

Elle provient principalement de matières premières agricoles alimentaires telles que le maïs, le blé, les pommes de terre et d'autres glucides [30].

7.1.1. Les plantes amylicées

- **Les céréales**

Ces cultures sont riches en amidon et en alpha polysaccharides qui comprennent les monomères de D glucose sous deux formes : l'amylose et l'amylopectine. Parmi lesquelles nous avons : le blé, l'orge, le maïs, le manioc et le sorgho

- **Les plantes amidonnées**

Elle repose globalement sur la pomme de terre riche en amidon et qui est disponible durant toute la période de l'année [30].

7.2. Deuxième génération de plastiques bios sources

En raison des progrès réalisés en biotechnologie, la deuxième génération de plastiques bios sources s'est éloignée des ressources alimentaires. Essentiellement les polymères bios sources similaires aux polymères biodégradables sont produits par des procédés de fermentation atérienne en synthétisant à partir de ressources renouvelables, y compris la biomasse lignocellulosique comme l'amidon, la cellulose, les acides gras et les déchets organiques ménagers ou le micro algues [30].

II.8. Application des bioplastiques

Les bioplastiques montrent une grande demande sur le marché. L'industrie représente le plus grand champ d'application de secs matériaux, et parmi ces applications on a : [46].

- L'emballage
- L'automobile
- L'installation électrique et électronique
- L'industrie biomédicale
- Les textiles
- Le bâtiment et la construction

II.9. Le développement de bioplastique

La première plastique bio source connue, Galalithe a été créé par des chimistes allemands en 1897. Galalithe est un bioplastique à base de lait et se trouve principalement dans les boutons. Après la première découverte de bioplastiques par un scientifique allemand, les scientifiques commencent à créer de nombreux types de bioplastiques à partir de différentes matières premières et avec une résistance à la chaleur et des propriétés plastiques améliorées [47].

La crise pétrolière du milieu des années 70 a ravivé l'intérêt pour trouver des alternatives au produits à base de pétrole .L'essor de la génétique moléculaire et de la technologie de l'ADN recombinant a ensuite stimulé la recherche, de sorte qu'au début du 21e Siècle, structures, les méthodes de production et les applications de nombreux typas de plastiques bios sources s'étaient établies [48].

II.10. Propriétés du bioplastique

Les plastiques sont des polymères organiques avec la caractéristique unique que chaque molécule est soit une longue chaîne, soit un réseau d'unités répétitives, les propriétés des plastiques sont déterminées par la nature chimique et physique des polymères utilisés dans leur fabrication, les propriétés des polymères étant déterminées par leur structure moléculaire, leur poids moléculaire (MW), leur degré de cristallinité et leur composition chimique [49].

Ces facteurs affectent à leur tour la densité des polymères et les températures auxquelles ils subissent des transitions physiques. Les chaînes de polymères peuvent s'aligner et s'organiser dans des structures ordonnées, et la thermodynamique de cet état ordonné détermine des propriétés telles que le point de fusion, la température de transition vitreuse (Tg) et les propriétés mécaniques et électriques. Cependant, c'est la nature chimique du polymère qui détermine sa stabilité à la température, à la lumière, à l'eau et aux solvants, et donc le degré de protection qu'il fournira aux aliments lorsqu'ils sont utilisés comme matériau d'emballage [49].

Les propriétés générales les plus courantes des bioplastiques pour les matériaux d'emballage sont [50] :

- **Résistance à l'éclatement**: la résistance d'un matériau d'emballage à une rupture soudaine, notamment en raison de la pression interne.
- **Coefficient de frottement**: une mesure de la force opposée à une force appliquée parallèle à une surface, elle dépend de la force perpendiculaire entre le matériau et une autre surface du matériau.
- **Allongement**: le changement de longueur d'un matériau résultant d'une contrainte de traction.
- **Densité**: la masse d'un matériau par unité de volume.
- **Brillance**: le rapport entre le flux lumineux séculaire réfléchi par une surface et le flux réfléchi total.
- **Calibre**: une longueur unitaire, 1×10^{-4} in.

- **Brouillard**: or opacité du matériau due aux réflexions internes et superficielles de la lumière incidente.
- **Transmission lumineuse**: le flux lumineux à travers un matériau sur un intervalle de temps.
- **Module d'élasticité**: un rapport général d'une forme spécifiques de contrainte à une forme spécifique de déformation, des exemples spécifiques sont le module de Young, le module de masse et le module de cisaillement.
- **Opacité**: rapport entre la quantité de lumière incidente réfléchié par un matériau et la quantité de lumière incidente transmise à travers le matériau.
- **Taux de transmission d'oxygène OTR** : la quantité d'oxygène passant à travers un matériau dans des conditions spécifiées de temps , température, pression et humidité relative.
- **Résistance au déchirement**: la force nécessaire pour déchirer un matériau, l'initiation et la propagation de la déchirure sont généralement mesurées.
- **Résistance à la traction** : la force maximale à laquelle un échantillon de matériau peut résister sous tension.
- **Contrainte de traction**: une force d'étirement le long d'un axe.
- **15. Taux de transmission de la vapeur d'eau WVTR** : amont la quantité de vapeur d'eau qui traverse un échantillon dans une période de temps définie dans des conditions contrôlées de temps, de température et d'humidité relative .

II.11. Conclusion

Ce contexte traite de l'histoire des bioplastiques, de sa classification et de ses types, et détermine les capacités globales de sa production, en mentionnant les avantages et les inconvénients, et en se concentrant sur la façon de l'appliquer, de le développer et de ses caractéristiques.

En conclusion, les bioplastiques sont de nouveaux matériaux du 21^{esi}ècle, qui seront de la plus haute importance dans le domaine des matériaux. La production et la consommation de bioplastiques augmenteront dans le monde à l'avenir.

Chapitre III

Matériels et méthodes

III.1.Introduction

Dans ce chapitre j'ai présenté la méthode utilisée pour produire des bioplastiques à partir de deux types d'algues. Je montrerai les étapes et la méthode de fabrication.

III.2.La récolte

Les algues ont été récoltées des régions au sud d'Algérie figure III.1 , Ouargla, Ghardaïa , dans la période de février 2023.

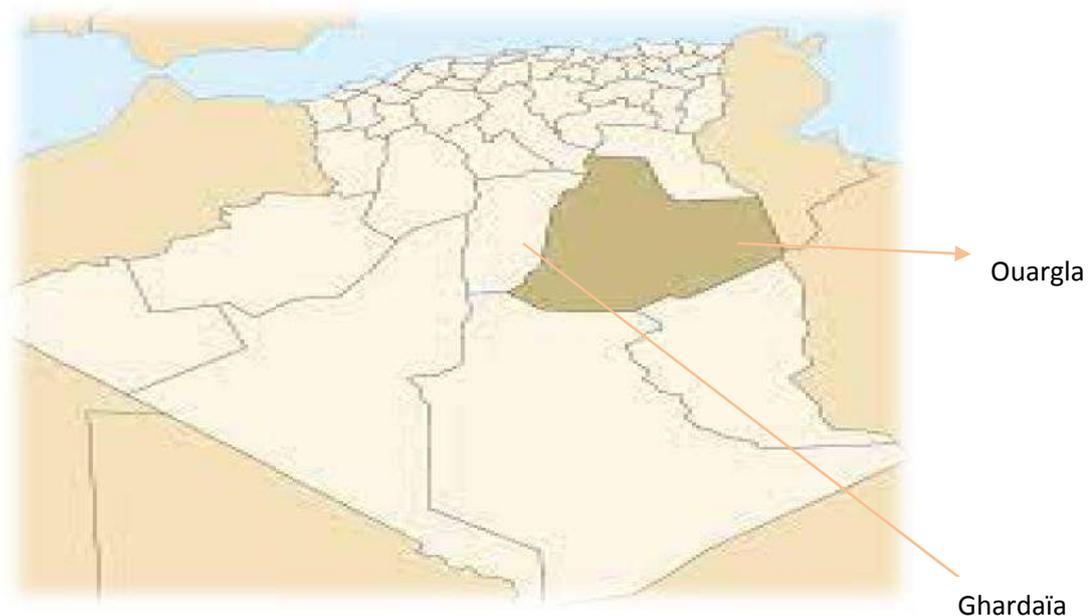


Figure III.1: Carte d'Algérie représente les régions de récolte des algues [24]

III.3.Composition chimique des algues

La composition biochimique des macros algues varie en fonction de l'espèce, de la saison, des Conditions de croissance et du stress (Kaimoussi et al, 2004; Ortiz et al, 2006 ; Julie, 2010).

Les algues sont généralement constituées de protéines, une petite quantité de matières grasses Par rapport à un pourcentage élevé de glucides, qui se présentent principalement sous forme de polysaccharides tels que l'alginate, le carraghénane et l'ulvane: polysaccharide , lipides, protéines, minéraux , vitamines .

III.4. Matériel et produits utilisés

Les produits et les matériels qui ont été utilisés sont :

- la masse d'algues
- Une balance analytique
- gélatine
- Acide acétique
- Les béchers
- glycérol
- Centrifugeuse
- Papier filtre
- Eau distillée
- Une éprouvette graduée
- Une plaque chauffante
- Un barreau magnétique

III.5. Mode opératoire

Expliquer la méthode expérimentale sur le premier type d'algues et le deuxième type, les mêmes étapes et conditions que le premier type :

De la biomasse d'algues, de la gélatine, de l'acide acétique et de la glycérine ont été ajoutés dans différentes proportions. Après cela, j'ai ajouté 100 ml d'eau distillée.

Le mélange est ensuite agité à 180 tours par minute pendant 10 minutes, ensuite j'ai chauffé le mélange sur une plaque chauffante à une température élevée de 100 degrés pendant une heure. Ensuite, je le verse sur une assiette en verre et je le répartiss uniformément, le mélange met 3 à 8 jours à sécher et j'enlève le film moulé.

- Je montrerai dans le tableau III.1, les quantités utilisées dans toutes les expériences pour le périphyton et la chlorelle.

Tableau.III.1: Les quantités utilisées pour les deux types d'algues

N° Exp	Masse	gélatiné	Acide acétique	Glycérol
1	1	2	1	1
2	3	2	1	1
3	1	6	1	1
4	3	6	1	1
5	1	2	3	1
6	3	2	3	1
7	1	6	3	1
8	3	6	3	1
9	1	2	1	3
10	3	2	1	3
11	1	6	1	3
12	3	6	1	3
13	1	2	3	3
14	3	2	3	3
15	1	6	3	3
16	3	6	3	3

III.6.Conclusion

Cette partie expérimentale résumait que les deux types d'algues étudiées produisaient des bioplastiques, mais je dois discuter dans la section suivante en termes de qualité et du type d'algues qui est le meilleur dans Production, optimisation et modélisation.

Chapitre IV

Résultats et Discussions

IV. 1.Introduction

Les algues ont fait l'objet d'études comme matière première pour une nouvelle génération de produits plastiques d'origine biologique.

L'utilisation d'algues comme éléments de base des bioplastiques peut présenter d'importants avantages environnementaux et financiers.

Grâce aux ordinateurs et aux logiciels la construction des plans d'expériences et les calculs nécessaires à leur interprétation sont devenus très simples. Ces outils favorisent également les représentations graphiques qui illustrent de manière spectaculaire les résultats et améliorent la compréhension des phénomènes.

IV.2.Définition de Logiciel statgraphics

Statgraphics est le progiciel statistique mis au point par StatGraphics Technologies pour l'analyse exploratoire des données, la modélisation statistique, la conception d'expériences, et plus d'une centaine d'autres procédures statistiques.



Figure. IV 1: Icône de Statgraphics Centurion

IV.3. Définir Le Plan d'expérience

Les plans d'expériences constituent essentiellement une stratégie de planification d'expériences à fin d'obtenir des conclusions solides et adéquates de manière efficace et économique.

La méthodologie des plans d'expérience se base sur le fait qu'une expérience convenablement organisée, conduira fréquemment à une analyse et à une interprétation statistique relativement simple des résultats.

Dans cette partie, j'aborderai la méthode utilisée pour produire des bioplastiques à partir d'algues, et j'ai travaillerons sur l'amélioration (modélisation ou optimisation) dans ce travail.

Le processus de la production de bioplastique est résumé dans cette figure IV.2

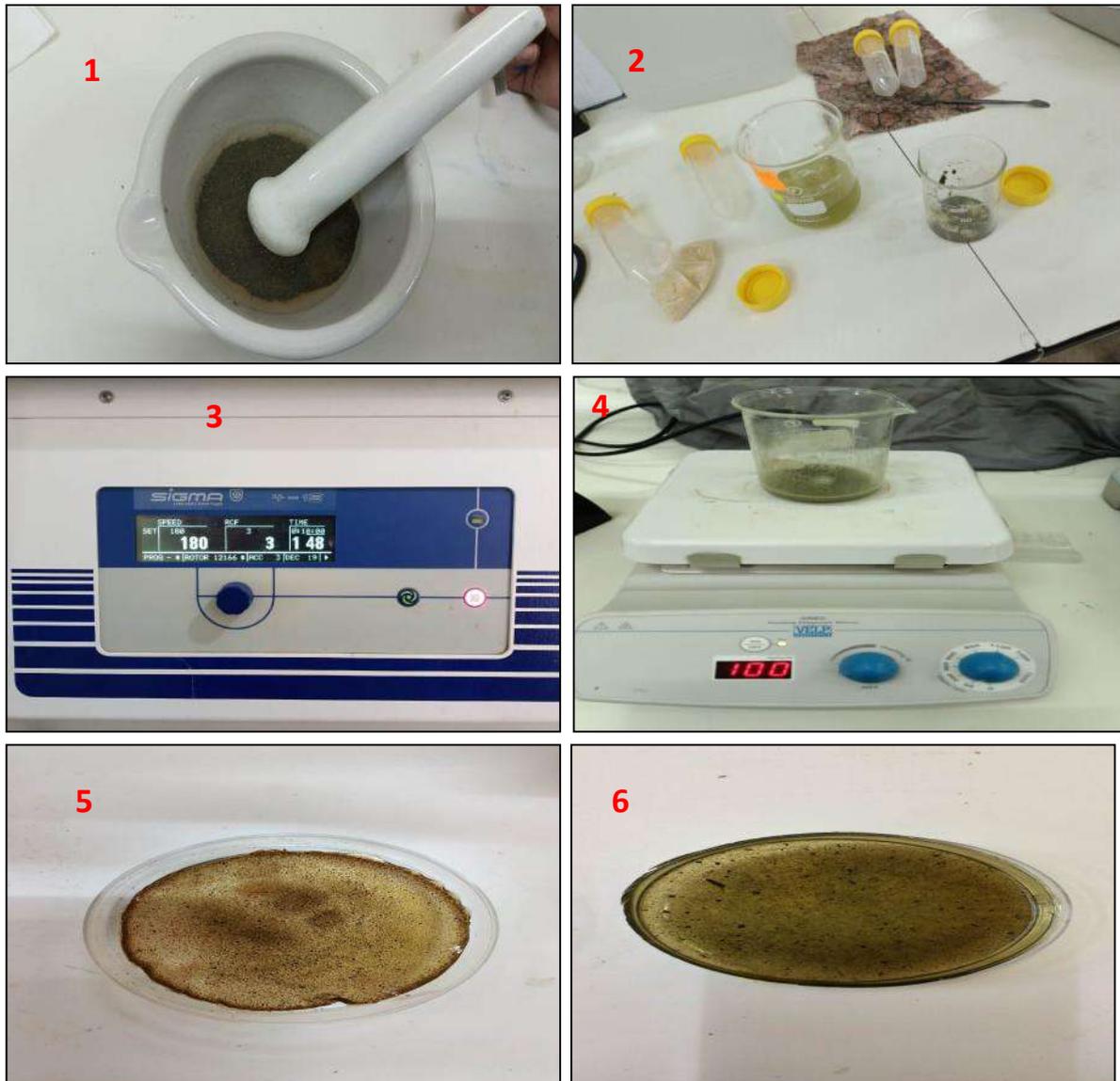


Figure. IV.2: Procédure de synthèse de bioplastiques à partir d'algues

IV.4. Conception expérimentale

Ce sont des plans factoriels où le nombre de niveaux pour chaque facteur est limité à deux (-1 et +1). Le fait de limiter les niveaux à deux et de mener une expérience factorielle complète réduit le nombre de traitements et permet d'étudier tous les facteurs et toutes leurs interactions. La figure IV.2. Montre graphiquement deux plans factoriels complets pour deux et trois facteurs.

Dans cette étude, des algues utilisées pour produire des bioplastiques ont été sélectionnées. Il existe de nombreuses espèces, mais nous n'avons choisi que deux types d'algues. Le premier type est la périphyton. Nous mettons différentes quantités des produits utilisés dans la synthèse des plastiques, et nous notons la productivité des bio-plombs qui ont été obtenus à partir du premier type.

Je décidé de prendre les variables les plus appropriées selon les derniers résultats disponibles : masse, gélatine, acide acétique, Glycérol avec la réponse Rendement. En utilisant la méthodologie de plans factoriels complets.

L'étape suivante consiste à entrer la réponse et le facteur, puis j'obtiens le tableau suivant IV.1 avec des valeurs codées

Tableau. IV.1: d'expérience avec la grandeur codée

N ° Exp	masse	gélatine	Acide acétique	Glycérol	Rendement
1	-1	-1	-1	-1	12
2	+1	-1	-1	-1	35
3	-1	+1	-1	-1	47
4	+1	+1	-1	-1	75
5	-1	-1	+1	-1	15
6	+1	-1	+1	-1	21
7	-1	+1	+1	-1	13
8	+1	+1	+1	-1	24
9	-1	-1	-1	+1	42
10	+1	-1	-1	+1	61

11	-1	+1	-1	+1	77
12	+1	+1	-1	+1	73
13	-1	-1	+1	+1	16
14	+1	-1	+1	+1	49
15	-1	+1	+1	+1	53
16	+1	+1	+1	+1	60

Ensuite, je choisis la valeur la plus grande et la plus basse pour chaque variable, comme indiqué dans le tableau suivant IV.2

Tableau. IV.2: Domaine d'étude

Facteur	Nive -1	Nive +1
Masse	1	3
Gélatine	2	6
Acide acétique	1	3
Glycérol	1	3

- Je commenterai les résultats dans un tableau IV.3 avec des signes positifs et négatifs :
- Qualité : mauvais - , très mauvais -- , bien + , très bien ++ ,excellente +++ .
- La flexibilité : inélastique - , flexible + .
- Solide : pas solide - , solide + .
- réfraction : incassable - , cassable + .
- Transparence : non transparent - , transparent + .
- Fragilité : pas fragile - , fragile + .

Tableau .IV.3: Commenter les résultats des expériences périphyton

Propriétés	Qualité	La flexibilité	Solide	Réfraction	Transparence	Fragilité
Exp1	--	-	-	+	-	+
Exp2	-	-	-	+	-	+
Exp3	+	-	+	+	-	-
Exp4	++	+	-	-	+	-
Exp5	+++	+	-	-	+	+
Exp6	-	+	-	+	-	+
Exp7	-	-	-	+	-	+
Exp8	+	+	+	-	+	-
Exp9	++	+	-	-	+	-
Exp10	+	+	+	-	-	-
Exp11	++	+	-	-	+	+
Exp12	+	+	+	-	-	-
Exp13	++	+	-	-	-	+
Exp14	++	+	-	+	+	+
Exp15	+	-	+	+	-	+
Exp16	+	+	+	-	-	-

IV. 4.1. Le modèle mathématique de ce plan d'expérience :

Le but de modéliser la réponse par un modèle mathématique est de pouvoir calculer ensuite toutes les réponses du domaine d'étude sans être obligé de faire les expériences. Ce modèle est appelé modèle postulé ou à priori.

Equation de régression en unités non codées :

$$R = 40.8333 + 3.5 * m + 6.5 * g - 9.45833 * Aa + 13.0417 * G - 3.66667 * m * g + 3.625 * m * Aa + 3.375 * m * G - 0.375 * g * Aa + 5.375 * g * G + 0.0833333 * Aa * G$$

Ou bien : $y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 - a_3 x_3 + a_4 x_4 - a_{12} x_1 x_2 + a_{13} x_1 x_3 + a_{14} x_1 x_4 - a_{23} x_2 x_3 + a_{24} x_2 x_4 + a_{34} x_3 x_4$

Tell que : $y = 40.8333 + 3.5 x_1 + 6.5 x_2 - 9.45833 x_3 + 13.0417 x_4 - 3.66667 x_1 x_2 + 3.625 x_1 x_3 + 3.375 x_1 x_4 - 0.375 x_2 x_3 + 5.375 x_2 x_4 + 0.0833333 x_3 x_4$

- Je vais expliquer les symboles comme suit :

X_1 = masse d'algues, X_2 = gélatine, X_3 = Acide acétique, X_4 = Glycérol.

m = masse d'algues, g = gélatine, Aa = Acide acétique, G = Glycérol.

a_0 : Représente le centre.

a_1 : Interaction positive car lorsque la fréquence passe de a [0, +1] elle augmentera de 3.5.

a_2 : Interaction positive car lorsque la fréquence passe de a [0, +1] elle augmentera de 6.5.

a_3 : Interaction négative car lorsque la fréquence passe de a [0, +1] elle diminuera de -9,5.

a_4 : Interaction positive car lorsque la fréquence passe de a [0, +1] elle augmentera de 13.04.

IV.5. Analyse graphique

- Le graphique de Pareto affiche chacun des effets estimés dans l'ordre décroissant d'importance. Les effets individuels de divers paramètres ainsi que leurs interactions peuvent être étudié à partir du diagramme de Pareto illustré par les figures (IV.3) en utilisant le logiciel STATGRAPHICS.

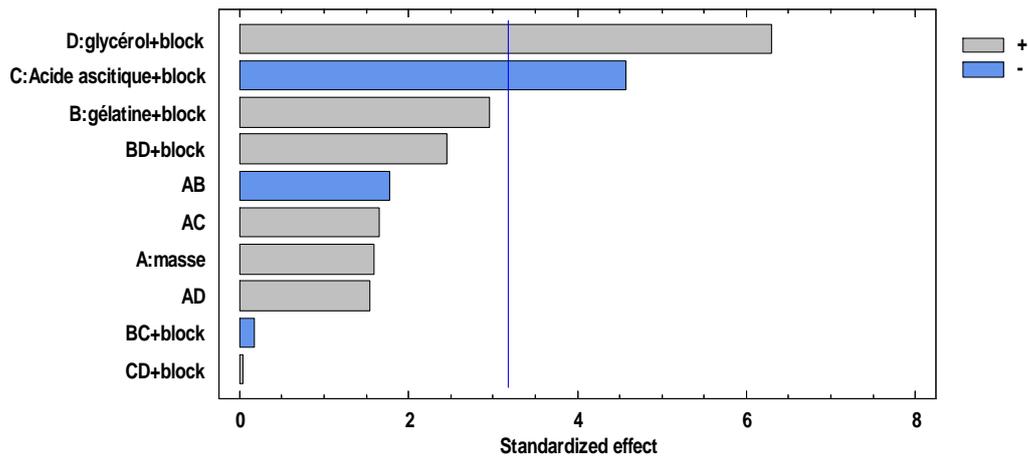


Figure IV. 3: graphique de pareto standardisé pour le périphyton

- De la Figure (IV.3), le paramètre le plus significatif est clairement le glycérol (D) et acide acétique (C) et gélatine (B). Et après le Temps de résidence (BD) et AB et (AC) et on a éliminé les interactions (BC) et (CD), alors elles ne sont pas significatives.
- Le facteur D et C et (B) présentent les facteurs les plus influents sur la réponse, mais ils sont de sens opposés.
- L'effet du facteur D est positif, cela signifie que la réponse augmente quand le facteur passe du niveau bas au niveau haut.
- L'effet du facteur C est négatif, cela signifie que rendement diminue quand le facteur passe du niveau bas au niveau haut.
- L'effet du facteur B est positif, cela signifie que la réponse augmente quand le facteur passe du niveau bas au niveau haut.
- Les interactions BC et (CD) est négligeable et l'interaction d'ordre 2 (BD), AB, AC, (AD), sont importantes.

➤ La figure IV.4 montre un histogramme du tracé des principaux effets pour le périphyton que je vais interpréter

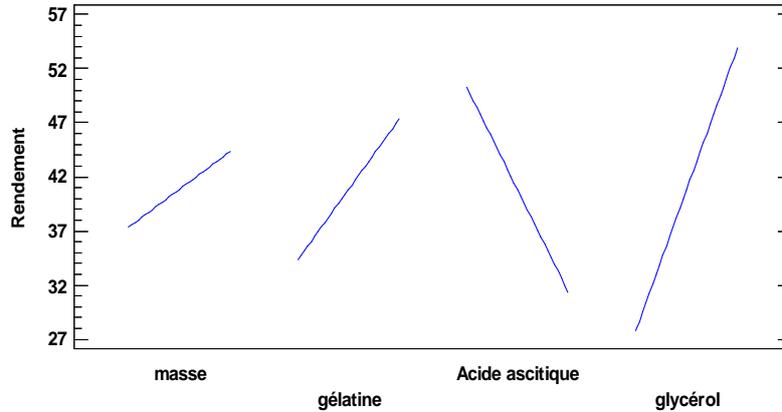


Figure IV. 4: graphique de Main Effets plot pour la périphyton

- On remarque sur la figure IV.4 que l'interaction de acide acétique diminue, c'est-à-dire une interaction négative lorsque la fréquence passe de a0 à +1 elle va diminuer d'une valeur de -9.5. Et la réaction de masse et gélatine et Glycérol augmente, ce qui signifie qu'il s'agit d'une réaction positive, lorsque le changement de renom en masse de a0 à +1, il augmentera de 4, et gélatine augmentera a0 à +1 de 6, Quant au glycérol, lorsqu'il passera de a0 à +1, il augmentera de 14.

➤ On calcule a0 :

$$\begin{aligned}
 a_{0 \text{ masse}} &= (37 + 45) / 2 = 41 & , 45 - 41 = 4 & , a_0 = 4 \\
 a_{0 \text{ gélatine}} &= (35 + 47) / 2 = 41 & , 47 - 41 = 6 & , a_0 = 6 \\
 a_{0 \text{ acide acétique}} &= (51 + 32) / 2 = 41.5 & , 32 - 41.5 = -9.5 & , a_0 = -9.5 \\
 a_{0 \text{ Glycérol}} &= (27 + 55) / 2 = 41 & , 55 - 41 = 14 & , a_0 = 14
 \end{aligned}$$

➤ La figure IV.5 montre l'effet d'interaction. Je vais vous expliquer

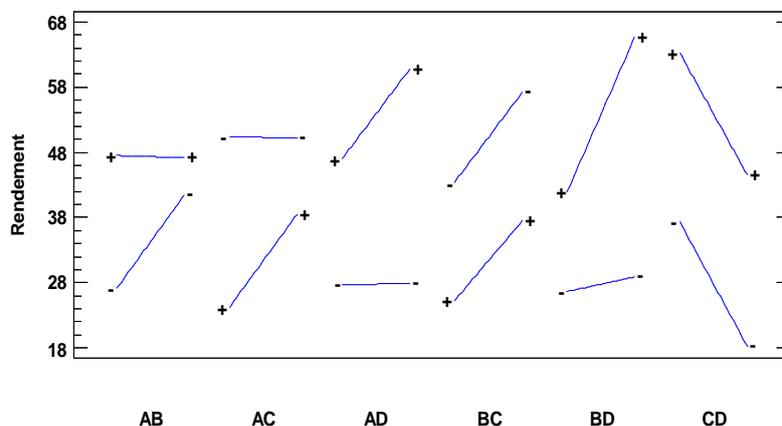
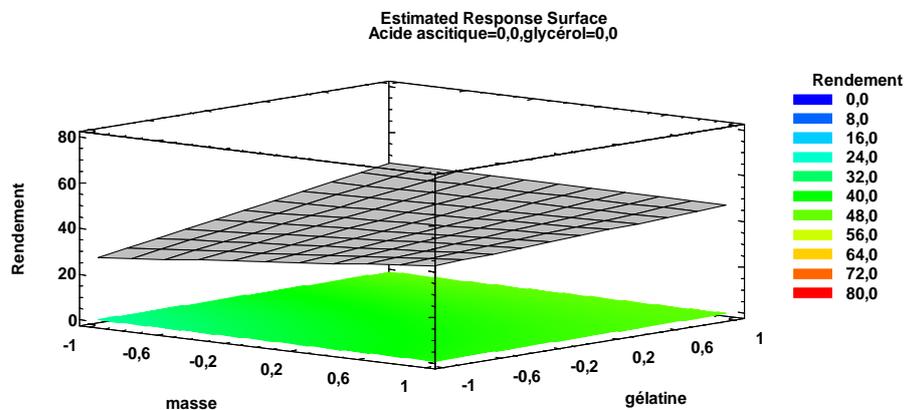


Figure IV.5: Effet de l'interaction.

- L'effet d'un facteur dépendant de la valeur prise par un autre facteur est appelé Interaction. Cette interaction se traduit sur un diagramme (Figure. IV.5) par le fait que les deux Droites ne sont pas parallèles. Plus les droites s'écartent de la parallèle, plus le degré D'interaction est élevé.
 - On remarque sur la figure que l'interaction AB et (AC) et (AD) et (BD) est une interaction forte et BC , CD est une interaction faible.
- Je vais montrer dans la figure IV.6 sur le diagramme de réponse de la surface du périphyton où se trouve la zone de réponse la plus forte.

**Figure. IV.6:** diagramme répons surface pour le périphyton

- Les diagrammes de surface de réponse IV.6 indiquent que les valeurs optimales d'Y1 se trouvent à la zone verte
- Dans la figure IV.6 le taux de biodégradabilité le plus élevée se trouve dans la moitié du graphique.

IV.6. Deuxième expérience

Dans cette expérience, j'ai appliqué les mêmes facteurs à un autre type d'algues, la chlorelle, dans les mêmes conditions, comme indiqué dans le tableau IV.4 et ces résultats ont été obtenus.

Tableau. IV 4: d'expérience avec les grandeurs codées

N ° Exp	masse	gélatine	Acide acétique	Glycérol	Rendement
1	-1	-1	-1	-1	45
2	+1	-1	-1	-1	36
3	-1	+1	-1	-1	69
4	+1	+1	-1	-1	59
5	-1	-1	+1	-1	12
6	+1	-1	+1	-1	15
7	-1	+1	+1	-1	23
8	+1	+1	+1	-1	25
9	-1	-1	-1	+1	86
10	+1	-1	-1	+1	43
11	-1	+1	-1	+1	65
12	+1	+1	-1	+1	35
13	-1	-1	+1	+1	28
14	+1	-1	+1	+1	60
15	-1	+1	+1	+1	52
16	+1	+1	+1	+1	55

Ensuite j'ai choisi la valeur la plus grande et la plus basse pour chaque variable, comme indiqué dans le tableau suivant IV.5

Tableau. IV.5: Domaine d'étude

Facteur	Nive -1	Nive +1
Masse	1	3
Gélatine	2	6
Acide acétique	1	3
Glycérol	1	3

- Je commenterai les résultats dans un tableau IV.6 avec des signes positifs et négatifs
- Qualité : mauvais - , très mauvais -- , bien + , très bien ++ ,excellente +++ .
- La flexibilité : inélastique - , flexible + .
- Solide : pas solide - , solide + .
- réfraction : incassable - , cassable + .
- Transparence : non transparent - , transparent + .
- Fragilité : pas fragile - , fragile + .

Tableau. IV.6: Commenter les résultats des expériences chlorella

Propriétés	Qualité	La flexibilité	Solide	Réfraction	Transparence	Fragilité
Exp1	+	+	-	-	+	-
Exp2	-	+	+	+	-	+
Exp3	+	-	+	+	+	-
Exp4	+	+	+	-	-	-
Exp5	+++	-	-	-	+	-
Exp6	--	-	-	+	-	+
Exp7	-	-	-	+	-	+
Exp8	+	+	+	-	-	-
Exp9	--	-	-	-	-	+
Exp10	+	+	+	+	-	-

Exp11	++	-	+	+	+	-
Exp12	+	+	-	-	-	+
Exp13	+	+	+	+	-	-
Exp14	+	+	+	-	+	+
Exp15	-	+	+	-	-	+
Exp16	+	-	+	+	-	-

IV .6.1. Le modèle mathématique de ce plan d’expérience

Equation de régression en unités non codées :

$$R = 43.9583 - 8.1875 * m - 1.3125 * g - 10.2083 * Aa + 9.04167 * G - 1.41667 * m * g + 13.1875 * m * Aa + 3.4375 * masse * G + 6.3125 * gélatine * Aa + 0.0625 * gélatine * G + 5.95833 * Aa * G$$

Ou bien : $y = a_0 - a_1 x_1 - a_2 x_2 - a_3 x_3 + a_4 x_4 - a_{12} x_1 x_2 + a_{13} x_1 x_3 + a_{14} x_1 x_4 + a_{23} x_2 x_3 + a_{24} x_2 x_4 + a_{34} x_3 x_4$.

Tell que : $y = 43.9583 - 8.1875 x_1 - 1.3125 x_2 - 10.2083 x_3 + 9.04167 x_4 - 1.41667 x_1 x_2 + 13.1875 x_1 x_3 + 3.4375 x_1 x_4 + 6.3125 x_2 x_3 + 0.0625 x_2 x_4 + 5.95833 x_3 x_4$.

- Je vais expliquer les symboles comme suit :

X_1 = masse d’algues, X_2 = gélatine, X_3 = Acide acétique, X_4 = Glycérol.

m = masse d’algues, g = gélatine, Aa = Acide acétique, G = Glycérol.

a_0 : Représente le centre.

a_1 : Interaction négative car lorsque la fréquence passe de a [0, +1] elle diminuera de -8,18.

a_2 : Interaction négative car lorsque la fréquence passe de a [0, +1] elle diminuera de -1.31.

a_3 : Interaction négative car lorsque la fréquence passe de a [0, +1] elle diminuera de -10.2.

a_4 : Interaction positive car lorsque la fréquence passe de a [0, +1] elle augmentera de 9.04.

IV.7. Analyse graphique

➤ La figure (IV.7) montre le diagramme de Pareto standardisé pour la chlorelle. Je vais vous expliquer ce que cela signifie.

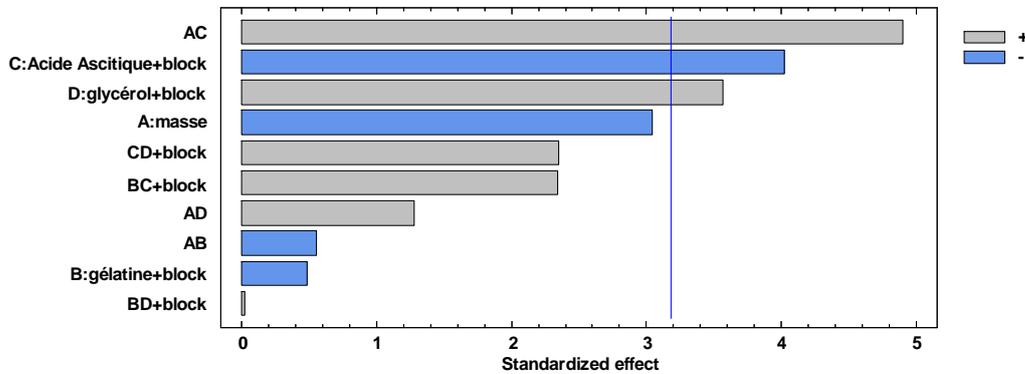


Figure. IV. 7: graphique de pareto standardisé pour le chlorella

- De la Figure (IV.7) le paramètre le plus significatif est clairement le acide acétique (C) et glycérol (D) et masse (A). Et après le Temps de résidence (AC) et CD et (BC) et on a éliminé les interactions (AB) et (BD), alors elles ne sont pas significatives.
- Le facteur C et D et (A) présentent les facteurs les plus influents sur la réponse, mais ils sont de sens opposés.
- L'effet du facteur C est négatif, cela signifie que rendement diminue quand le facteur passe du niveau bas au niveau haut.
- L'effet du facteur D est positif, cela signifie que la réponse augmente quand le facteur passe du niveau bas au niveau haut.
- L'effet du facteur A est négatif, cela signifie que rendement diminue quand le facteur passe du niveau bas au niveau haut.
- L'effet du facteur B est négatif, cela signifie que rendement diminue quand le facteur passe du niveau bas au niveau haut.
- Les interactions AB et (BD) est négligeable et l'interaction d'ordre 2 (AC), CD , BC , (AD), sont importantes.

➤ La figure IV. 8 montre le graphique des principaux effets de la chlorelle

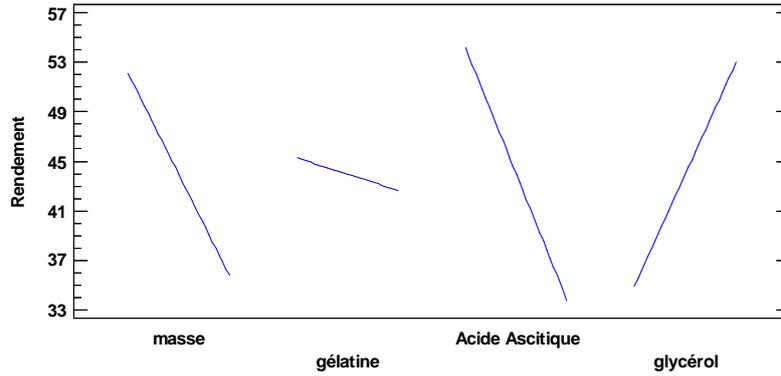


Figure. IV.8: graphique de Main Effets plot pour la chlorelle

- On remarque sur la figure IV. 8 que l’interaction de glycérol augmente, c'est-à-dire une interaction positive lorsque la fréquence passe de a_0 à +1 elle va augmenter d’une valeur de 9. Et la réaction de masse et gélatine et acide acétique diminue, ce qui signifie qu’il s’agit d’une réaction négative, lorsque le changement de renom en masse de a_0 à +1, il diminue de -8.5, et gélatine diminue a_0 à +1 de -1, Quant au acide acétique, lorsqu’il passera de a_0 à +1, il diminue de -10.

On calcule a_0 :

$$a_{0 \text{ masse}} = 52 + 35 / 2 = 43.5, \quad 35 - 43.5 = -8.5, \quad a_0 = -8.5$$

$$a_{0 \text{ gélatine}} = (45 + 43) / 2 = 44, \quad 43 - 44 = -1, \quad a_0 = -1$$

$$a_{0 \text{ acide acétique}} = (54 + 34) / 2 = 44, \quad 34 - 44 = -10, \quad a_0 = -10$$

$$a_{0 \text{ Glycérol}} = 35 + 53 / 2 = 44, \quad 53 - 44 = 9, \quad a_0 = 9$$

➤ La figure montre IV.9) Effet d'interaction de la chlorelle Je vais vous expliquer ceci

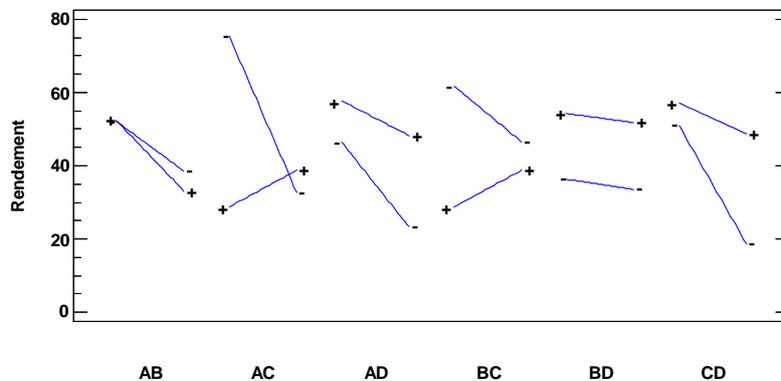


Figure. IV.9: Effet de l’interaction pour la chlorelle

- L'effet d'un facteur dépendant de la valeur prise par un autre facteur est appelé Interaction. Cette interaction se traduit sur un diagramme Figure IV.9) par le fait que les deux Droites ne sont pas parallèles. Plus les droites s'écartent de la parallèle, plus le degré D'interaction est élevé.
- On remarque sur la figure que l'interaction AB et (AC) et (BC) et (CD) est une interaction forte et BD , AD est une interaction faible.
- Je montrerai dans la figure IV.10 sur le diagramme de réponse de surface pour la chlorelle où la valeur de réponse la plus élevée est

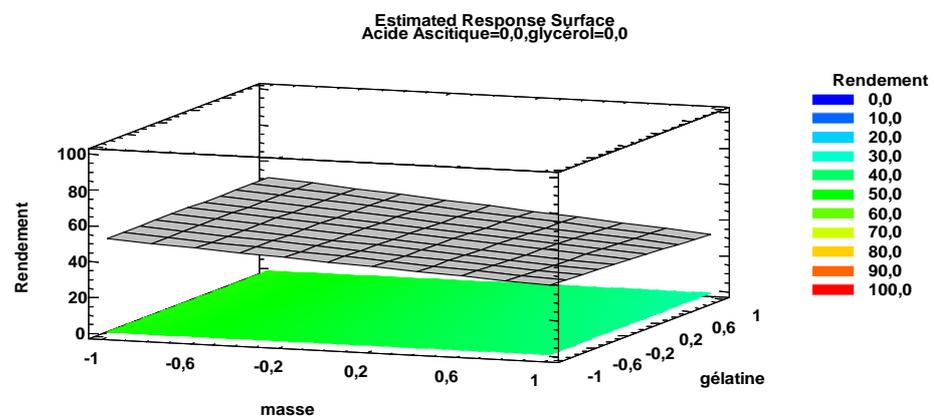


Figure. IV.10: diagramme répons surface pour la chlorelle

- Les diagrammes de surface de réponse IV.10 indiquent que les valeurs optimales d'Y1 se trouvent à la zone verte
- Dans la figure IV.10 le taux de biodégradabilité le plus élevée se trouve dans la moitié du graphique.

IV.8. Résultats

Après avoir terminé les essais en laboratoire d'extraction de bioplastique à l'aide de deux types d'algues.

Je comparerai certaines expériences entre périphyton et chlorelle:

- Dans la cinquième expérience, nous remarquons que nous avons mis les mêmes conditions, et c'était un excellent résultat pour les deux types, mais dans la chlorelle, nous avons remarqué la transparence de la couleur par rapport à périphyton elle était plus fragile et opaque.

- Dans la onzième expérience, la qualité était très bonne dans les deux, mais dans la chlorelle, elle était de couleur transparente et non cassante par rapport à périphyton elle n'était pas emballée, fragile et flexible.
- Dans la deuxième expérience, la qualité était mauvaise dans les deux types, mais dans la chlorella, nous remarquons qu'elle est flexible et rigide par rapport à la périphyton inflexible et non rigide.
- Dans la sixième expérience, la qualité était très mauvaise dans la chlorella, flexible par rapport à la périphyton inélastique.

Après les avoir comparés, nous avons finalement conclu que les meilleures conditions pour obtenir une très bonne qualité sont les conditions de la cinquième et onzième expérience

L'expérience utilisant la biomasse d'algues pour former un plastique a donné de bons résultats, et nous avons conclu que l'acide acétique est considéré comme un plastifiant dans cette expérience, ce qui a contribué à la flexibilité du plastique

Après avoir comparé deux types d'algues, nous avons finalement conclu que la qualité des bioplastiques dans la chlorella est meilleure que celle de la périphyton.

8.1. Modélisation

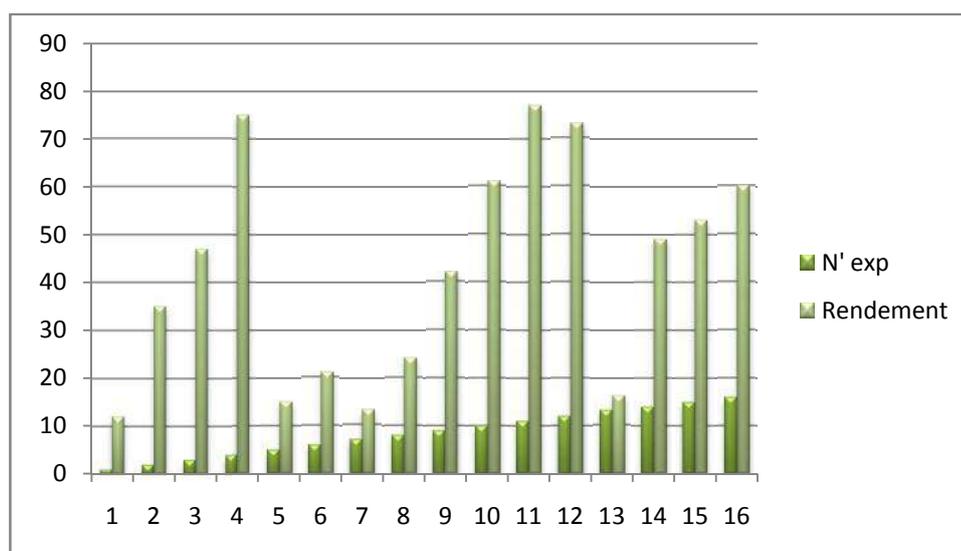
La méthodologie de surface de réponse est un ensemble de techniques mathématiques et statistiques pour la construction de modèles mathématiques empiriques. L'exploitation de ces modèles peut répondre à plusieurs objectifs : Objectif de prédiction, modèle mathématique obtenu peut être utilisé pour prédire une réponse à un point quelconque dans les limites des domaines expérimentaux. La précision des réponses obtenues dépend du degré de capacité de prédiction du modèle.

- Les bios polymères d'alginate brun présentés dans le tableau (IV.7) Solide, cassant et brun.

Tableau. IV.7: Rendement des bioplastiques obtenus à partir de périphyton

N ° Exp	Rendement %
1	12 %
2	35 %
3	47 %
4	75 %
5	15 %
6	21 %
7	13 %
8	24 %
9	42 %
10	61 %
11	77 %
12	73 %
13	16 %
14	49 %
15	53 %
16	60 %

➤ Pour clarifier le tableau, je l'ai traduit en graphiques à barres, comme le montre la figure (IV.11)

**Figure. IV.11.** Le graphique montre le rendement par périphyton

- Bio polymères d'alginate vert présentés dans le tableau (IV.8) Flexible, cassant, doux et quelque peu transparent.

Tableau .IV.8: Rendement des bioplastiques obtenus à partir de chlorella

N ° Exp	Rendement %
1	45 %
2	36 %
3	69 %
4	59 %
5	12 %
6	15 %
7	23 %
8	25 %
9	86 %
10	43 %
11	65 %
12	35 %
13	28 %
14	60 %
15	52 %
16	55 %

- Pour rendre le tableau plus clair, je l'ai traduit en graphiques à barres, comme le montre la figure (IV.12).

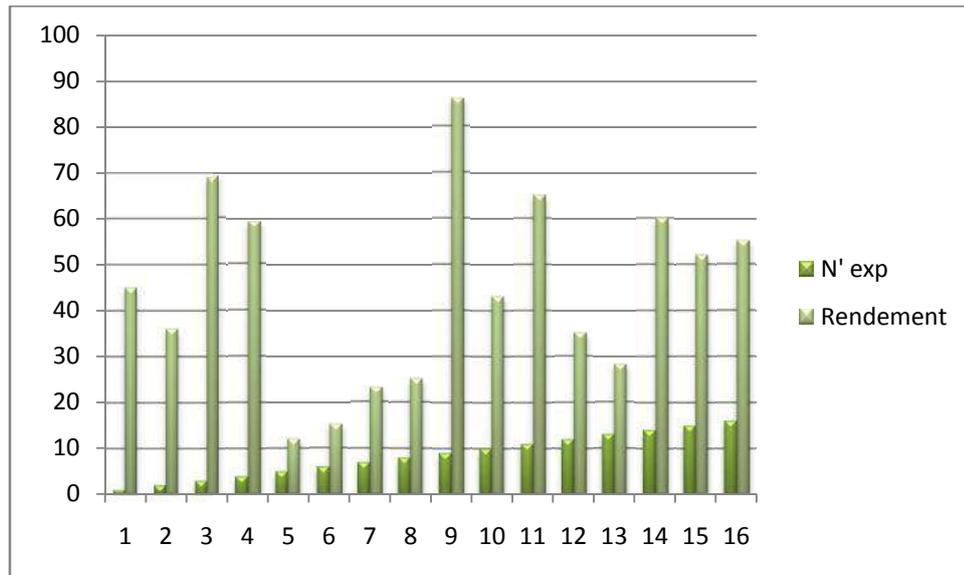


Figure. IV.12: Le graphique montre la productivité de la chlorella.

- j'ai finalement conclu que la qualité et la quantité de plastique dans la chlorella sont meilleures que dans le péripton.
- J'ai conclu que le rendement en bioplastique dans chlorella est meilleur par rapport à péripton grâce aux résultats des deux expériences
- A partir de ces résultats que j'ai obtenus, j'ai pouvons confirmer que les bioplastiques produits par l'algue Chlorella sont importants par rapport à la synthèse des bioplastiques produits par l'algue péripton. j'ai eu les mêmes expériences, mais la quantité de plastique extraite était moindre par rapport à la chlorella.

IV.9. Optimisation des résultats

Dans notre expérience, j'ai étudié comment fabriquer et améliorer la production de bioplastique à l'aide d'algues et dans certaines conditions opératoires pour obtenir un bioplastique de haute qualité et un rendement optimal. On peut dire qu'après avoir appliqué les expériences, j'ai pu atteindre l'objectif en utilisant une méthodologie plane factorielle complète.

- Le diagramme d'optimisation illustré dans les tableaux (IV.9) est appliqué afin de déterminer la combinaison des facteurs expérimentaux qui optimise de façon simultanée les deux réponses.
- Elle le fait en maximisant une fonction de désirabilité La sortie montre également la fonction de désirabilité évaluée à chaque point de la conception.

- J'ai conclu que la valeur de réponse la plus élevée à périphyton était de 77 et la valeur la plus basse était de 13.
- L'amélioration de la réponse optimale était périphyton avec une valeur de 72.4.

Tableaux .IV.9 : d'optimisation des réponses pour périphyton.

	Observé	Observé
Réponse	Minimum	Maximum
R	13.0	77.0

	Opportunité	Opportunité	But	Poids	Poids	Poids
Réponse	Faible	Haut		D'abord	Seconde	Impact
R	13.0	77.0		1.0		3.0

Facteur	Faible	Haut	Optimum
M	-1.0	1.0	1.0
G	-1.0	1.0	1.0
Aa	-1.0	1.0	-1.0
G	-1.0	1.0	1.0

Réponse	Optimum
R	72.4

- Le schéma d'optimisation présenté dans les tableaux IV.10) a été appliqué pour déterminer l'ensemble des facteurs expérimentaux qui améliorent la réponse.
- Pour ce faire, il maximise la fonction de désirabilité optimale, et le résultat montre la désirabilité évaluée à chaque point de la conception.
- On note que la valeur de réponse la plus élevée au chlorella était de 86 et la valeur la plus faible était de 12.
- L'amélioration de la réponse optimale était chlorella avec une valeur 64.475.
- Parmi les points de conception, la désirabilité maximale est atteinte à l'exécution chlorella.

Tableaux .IV.10: d'optimisation des réponses pour chlorella.

	Observé	Observé
Réponse	Minimum	Maximum
R	12.0	86.0

	Opportunité	Opportunité	But	Poids	Poids	Impact
Réponse	Faible	Haut		D'abord	Seconde	
R	12.0	86.0		1.0		3.0

Facteur	Faible	Haut	Optimum
M	-1.0	1.0	-1.0
G	-1.0	1.0	-1.0
Aa	-1.0	1.0	-1.0
G	-1.0	1.0	1.0

Réponse	Optimum
R	64.875

IV.10. Conclusion

Le procédé synthèse de bio polymères, à partir d'algues, reste encore confidentiel .Ainsi nous avons expérimenté la production d'un bio polymère à partir des macromolécules extraites par actions cumulées des traitements thermique et mécaniques.

Dans cette étude, j'ai appliqué avec succès le plan factoriel complet pour évaluer les réponses.

Etant donné que cette étude est préliminaire, il est recommandé de mener plus de méthodes et de planifier à l'avenir pour obtenir de meilleures performances.

Conclusion
générale

Conclusion Générale

Les déchets représentent un grand danger pour l'environnement, qui provient de nombreuses sources qui prennent des formes différentes qu'elle soit liquides, solides, boues et gazeuses. Le type le plus dangereux de pollution environnementale est la pollution plastique, car il s'agit d'une pollution continue et permanente dans tous les systèmes environnementaux. C'est pourquoi les plastiques dégradables ont été développés pour protéger l'environnement. Les plastiques synthétisés biologiquement également appelés bioplastiques ou plastiques bio sources sont des plastiques produits à partir d'origines naturelles, telles que des plantes, des animaux ou des micro-organismes, déchets organique.

Dans ce travail, je sommes fixé comme objectifs de fabriquer du bioplastique biodégradable à base d'algues, Nous avons essayé d'améliorer les plastiques biodégradables de Les algues sont très abondantes dans notre monde. En changeant les conditions Procès (masse de gélatine, acide ascitique et glycérol).

L'utilisation de la conception d'expériences a joué un rôle important dans, l'amélioration de la qualité du bioplastique, cependant, créer un excellent modèle est, Nécessaire pour atteindre l'objectif. Été appliqué dans ce thèse utilisant la conception Plan factoriel complet, Les bioplastiques pourraient éventuellement être utilisés dans les emballages alimentaires et de boissons. J'ai concluons que nous pouvons produire, le plastique biodégradable de haute qualité qui a de nombreuses utilisations est extrêmement bénéfique pour les algues, afin de protéger l'environnement de la pollution.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

- [1]: Richard J. Radmer. Algal diversity and commercial algal products. (1996). 263-270.
- [2]: John W. Blunt. a Brent R. Copp, b Robert A. Keyzers, c Murray H. G. Munroa and Michele R. Prinsep. Marine natural products. (2012), 29, 144–222.
- [3]: Marijana Kosani , a, Branislav Rankovi , a and Tatjana Stanojkovi b , Biological activities of two macroalgae from adriatic coast of mantenegro, (2015), 22(4): 390–397.
- [4]: Zarate-Ramirez, L.S.. A. Romero, I. Martinez, C. Bengoeche, P. Partal. A. Guerrero, Effect of aldehydes on thermomechanical properties of gluten-based bioplastics. Food and Bioproducts Processing, 2014. 92: p.20–29.
- [5]: Barker, T., In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment, Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2010, USA: Cambridge University Press.
- [6]: El Kadi, S.. Bioplastic production form inexpensive sources bacterial biosynthesis. cultivation system. production and biodegradability. 2010, USA: VDM Publishing House.
- [7]: K.H.M. Cardozo, T. Guaratini, M.P. Barros, V.R. Falcão, A.P. Tonon, N.P. Lopes, S. Campos. M.A. Torres, A.O. Souza, P. Colepicolo, E. Pinto, “Metabolites from algae with economical impact” Comparative Biochemistry and Physiology Part, (2007).60-78.
- [8]: Tarlan, F.B. Dilek, U. Yetis “ Effectiveness of algae in the treatment of a wood-based pulp and paper industry wastewater”, (2002), 1-5.
- [9]: Shanmugam M, Mody KH, Ramavat BK. Sai Krishna Murthy, Siddhamta AK, Screening of codiaceae algae (chlorophita) of the indian coast for blood anticoagulant activity, Indian journal of marine sciences, (2002), PP:33-38.
- [10]: BOUSMAHA Youcef , KEBRIT Issame , Bioplastiques fabriqués à partir des algues , Thèse , Université ABOUBERK BELKAID TLEMCEN , 2021.
- [11]: Devant le Jury, Contribution à l'étude de quelques paramètres biochimiques et écotoxicologiques d'une Algue brune : *Cystoseira stricta* , Thèse, Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem , 2018 , PP:03 .
- [12]: Amina SALHI, Chafika BOUSSAHA , Valorisation de la biomasse algale du l'Algérie: potentialités pharmacologiques , Thèse , Université kasdi Merbah Ouargla , 2019 , PP:04.
- [13]: CHERIFI Abdelkader, MEKHISSI Mohamed El Mekki , Contribution à l'évaluation de la pollution marine par les métaux lourds chez les algues (cas de Bouzadjer) Wilaya de Ain Temouchent , Thèse , Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib , 2022, PP:11.

- [14]: Amel Zehlila, "Caractérisation structurale et fonctionnelle des métabolites de l'algue verte *Ulva Rigida* au moyen d'une approche protéomique", Thèse de Doctorat, Université Tunis El Manar, (2017), PP : 06.
- [15]: Diadié Diouf, Production d'aliments enrichis en acides gras polyinsaturés à partir de microalgues pour les besoins aquacoles, Université du Québec, Rimouski, (2009), PP:03.
- [16]: Mme Hela Ben Amor Ben Ayed, " Etude et optimisation de la bioaccumulation de magnésium dans les microalgues « *Chlorella vulgaris* »", Thèse de Doctorat, Université de Paris-Saclay et l'université de Sfax, (2015), PP : 06.
- [17]: Memory Tekere, Biologie Module 1, Diversité des algues et des plantes, Université Virtuelle Africaine, (2006), PP : 28.
- [18] : Sylvaine Rodriguez, Jean-Paul Vergon et all, Guide pratique de détermination des algues macroscopiques d'eau douce et de quelques organismes hétérotrophes, (2014), PP : 11.
- [19]: Sandrine Garon-Lardiere, " Etude structurale des polysaccharides pariétaux de l'algue rouge *Asparagopsis armata* (Bonnemaisoniales)", Thèse de Doctorat, Université De Bretagne Occidentale, (2004), PP : 04-06.
- [20]: Mme BOUCHOUKH Imane, Cours de Botanique 2ème année LMD, Université Constantine1, (2016/2017), PP : 42.
- [21]: Amandine Ollier, " Utilisation des algues dans les compléments alimentaires : usages et justifications scientifiques ", Thèse de Doctorat, Université de Grenoble Alpes, (2017), PP : 34.
- [22]: N. ElMtili, F.Z. Fakihi Kachkach et M. El Harchi, " Les algues marines : nouvelle potentialité économique pour le Maroc. Quelle stratégie biotechnologique ? ", Cahiers UAE, 8-9, (2013), 1- 7.
- [23]: Simon Pillard, " Mise au point sur les algues vertes : risques environnementaux et valorisations ", Thèse de Doctorat, Université de Picardie Jules Verne, (2016), PP : 55-70.
- [24]: Hortense FALLER, " Les applications et la toxicité des algues marines ", Thèse de Doctorat, Université de Limoges, (2011), PP : 12.
- [25]: Hind Zitouni, " Valorisation nutritionnelle d'algues marines du littoral Algérien chez le ruminant via des méthodes chimiques, biologiques et moléculaires ", Thèse de Doctorat, Université des Frères Mentouri Constantine, (2015), PP : 13-18.
- [26]: Jean-Yves Berthona, Rachida Nachat-Kappesa, Mathieu Beya, Jean-Paul Cadoreta, Isabelle Renimela and Edith Filaireb,c,d, Marine algae as attractive source to skin care, (2017), 51, NO. 6, 555–567.

- [27]: Kim S-K, Ravichandran YD, Khan SB, Kim YT, Prospective of the cosmeceuticals derived from marine organisms. *Biotechnol Bioprocess Eng*, 2008;13(5):511-23.
- [28]: Adebitech, Romainville, Algues, filières du futur : Livre Turquoise., (2010), PP : II-6
- [29]: TALBINE Youghourta , MAZOUZ Hamza , Etude des propriétés des composites à base d'algue et d'une matrice biodégradable , Thèse , Université A. MIRA – BEJAIA , 2017-2018 , PP:19 20 21 22.
- [30]: BOUDJELLA Souad , LAHRECH Nour El Houda, Valorisation du déchet de pomme de terre pour la préparation de films plastiques biodégradables à base d'amidon , Thèse , Université de BLIDA 1, 2017 , PP:3.
- [31]: Rajendram, N.etal .*Journal of pharmacy research* 2012,5(3), 1476, 1479.(Seaweedscambe a new source for bioplastics).
- [32]: Lapointe, R. Bioplastiques biodégradables, compostables et biosourcés pour les emballages alimentaires, distinctions subtiles mais significatives (Doctoral dissertation Université Sherbrooke.). (2012). PP: 13 27.
- [33]: Rabetafika, H. N., Paquot, M ; Dubois, P. Les polymères issus du végétal : matériaux à propriétés spécifiques pour des applications ciblées en industrie plastique. *Biotechnologie, agronomie, société et environnement*, 10 (3),(2006).page 186.
- [34]: Véronique. Van Hoof ; Theo Geerken .Bioplastiques : définitions, normes, possibilités d'application, impact sur l'environnement,(2012).page 21.
- [35]: Feuilloley P ; Cesar G ; benguigui l ; Grohens Y ; Pillin H ; Bewa S ; Jjamal M. Degradation of polyethyleneused for agricultural purposes, *J . Polym. Environ ..13 : 349-355*, (2005) . Page 24.
- [36]: razza, f ., &innocenti , f .d.Bioplastics from renewable resources : the benefits of biodegradability.asia – pacific journal of chemical engineering ,(2012).P P:7.
- [37]: sajid a lavi , PhD, sabuthomas, PhD, k . p. samdeep ,phD , nandakumarkalarikkal , PhD, jinivarghese , and srinivaseeraoyaragalla . polymers for packaging applications. International standard book.(2015) .number -13 :978-1-4822-2455-9 (ebook-pdf).
- [38]: Brian, E., &Osswald, T. A. (2011)."The History of Tomorrow's Materials: Protein-Based Biopolymers. *Plastic Engineering*, 32(1).
- [39]: Ralston &Osswald , "The History of Tomorrow's Materials: Protein-Based Biopolymers,(2011).(2008, February),pp: 1-9.
- [40]: Zhang, J., Linyong., Z., Jane, J.-l., &Mungara, P. "Morphology and Properties of Soy Protein and Polylactide Blends. *Journal of Biomacromolecules*,(2006, April 19)..pp: 1551-1561.

- [41]: Belgacem, M. N. et Gandini, A. Surface Modification of Cellulose Fibres. In Belgacem, M. N. et Gandini, A., Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources (chap. 18,(2008). p. 385-400). Oxford, Elsevier.
- [42]:Heinze, T. et Petzold, K. Cellulose Chemistry: Novel Products and Synthesis Paths. In Belgacem, M. N. et Gandini, A., Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources (chap. 16,(2008). p. 343-368). Oxford, Elsevier.
- [43]: Sin, L. T., Rahmat, A. R et Rahman, W. A. W. A. Polylactic Acid : PLA Biopolymer Technology and Applications. Oxford, Elsevier Science &Technology,(2012). p327. (Collection PDL Handbook Series).
- [44]: Groot, W., Krieken, J. V., Sliekersl, O. et De Vos, S. Production and Purification of Lactic Acid and Lactide. In Auras, R., Lim, L. T., Selke, S. et Tsuji, H., Poly(Lactic Acid): Synthesis, Structure, Properties, Processing and Applications (chap. 1,(2011). p. 3-18). Hoboken, John Wiley & Sons.
- [45]: Stevens, E. Green Plastics: An Introduction to the New Science of Biodegradable Plastics. New Jersey, Princeton University Press,(2002). p243.
- [46]:Maamri Salima , Haga Aicha ,Etude structural de bioplastique fabriqué à partir de pomme de terre FTIR RDX , Thèse , Université Echahid Hamma Lakhdar EL OUED , 2022 , PP:15 16 .
- [47]: Jouhara, H., Czajczynsa, D., Ghazal, H., Anguliano, L., Reynolds, A., & spencer, N. Municipal waste management systems for domestic use.Journal of Energy, (2017, November 5) , 139(1, pp:485-506.
- [48]:Lackner, M. Bioplastics - Biobased plastics as renewable and/or biodegradable alternatives to petroplastics.(2015).
- [49]: Kurt, C., & Bittner, J. Sodium Hydroxide. In C. Kurt, J. Bittner, & Wiley-VCH (Ed.), Ullmann'sEncyclopedia of Industrial Chemistry, (7th Edition ed.,(2002, July 15). Vol. 40).
- [50]: Orezza, A., Zavaleta, E., Pajares-Medina, N., Adolfo, S., et Linares, L. L. Physicochimique et Caractéristiques mécaniques des films biodégradables à base d'amidon de pomme de terre, Asian Journal of Scientific Recherche,(2018), PP:56-61.
- [51]:SEABIOPLAS, Les algues, une source durable de bioplastique ,commission européenne, 30 septembre 2015.
- [52]: Jacques Goupy, Lee Creighton , Introduction Aux Plans D'expériences, 3éme édition , 9/11/2006.
- [53]: Statpoint Technologies ,Inc. solusoft 2023

[54]: Zoubir Haizia , - Benchiekh Nouria , Optimisation de la production du bioplastique par la méthodologie du surface du réponse , thèse , Université KASDI-MERBAH Ouargla , 2020 , pp:35 .

[55]: chiellimi et al, Procédé de préparation d'une poudre d'algues à teneur réduite en protéines et composition bioplastique formulée à partir d'une telle poudre , 2013

Site web:

[11]: <https://www.santescience.fr/chlorella/> consulter le:20/02/2023

[12]: <https://www.albayan.ae/health/2021-01-02-1.4055376> consulter le:20/02/2023

[13]: <https://mawdoo3.com/> consulter le: 25/02/2023

[14]:https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B7%D8%AD%D8%A7%D9%84%D8%A8_%D8%B2%D8%B1%D9%82%D8%A7%D8%A1 consulter le:25/02/2023

[15]: https://www.herbal-encyclopedia.com/2010/08/blog-post_11.html consulter le: 25/02/2023

[16]: <https://jardinage.lemonde.fr/dossier-1670-nori-algue-rouge.html> consulter le : 27/02/2023

[17]: <https://www.mangeons-local.bzh/begood-alg/> consulter le: 29/02/2023

[18]:https://www.bdi.fr/wpcontent/uploads/2013/01/etude_de_marche_document_de_synthese_vff.pdf consulter le:29/02/2023

[19]: https://www.researchgate.net/figure/Evolution-du-nombre-de-publications-par-annee-en-fonction-des-mots-clefs-Printed_fig9_354463939 consulter le:30/02/2023

[20]: <https://treffert.eu/competences-matieres-plastiques/bioplastique/> consulter le: 24/03/2023

[21]: https://www.researchgate.net/figure/Structure-chimique-de-la-cellulose_fig1_342876508 consulter le:24/03/2023

[22]: <https://ramenetessciences.wordpress.com/2017/05/03/le-poly lactide-pla/> consulter le:31/03/2023

[23]: <https://di.univ-blida.dz/jspui/bitstream/123456789/5256/1/FINAL.pdf1.pdf> consulter le:12/04/2023

[24]: <https://www.marefa.org> consulter le: 20//05/2023