

République Algérienne Démocratique et Populaire

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral

المدسة الوطنية العليا للعلوم البحر وتهيئة الساحل



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR D'ETAT EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : BIOTECHNOLOGIE MARINE.

Thème

**Production du bioplastique à partir d'une microalgue :
caractérisation et exploration**

Réalisé par :

- ALBANE Manel
- LAKEHAL Bouchra Khouloud

Soutenu le 03/07/2025 devant le jury suivant :

M. FIRAD Benyahia	MCB, ENSSMAL	Président
M. AIT SAIDI Adel	MCB, ENSSMAL	Examinateur
M. BOUGHRIRA Abdelhak	MAA, ENSSMAL	Promoteur
M. KADA Mohamed	MAA, ENSSMAL	Co-promoteur

2024/2025

Résumé

Ce travail a pour objectif d'explorer la production de bioplastiques à partir de la microalgue *Arthrospira platensis* (spiruline). La biomasse algale a présenté 0.065 mg/ml de poly-3-hydroxybutyrate (PHB), et une biodégradabilité évaluée à 63.41% de masse initiale. L'élongation moyenne obtenue est de l'ordre de de 61.21%. La signature FTIR a montré les groupes fonctionnels O-H, C=O, et C-H, typique de composé organique.

Mots-clés : Bioplastique, microalgue, Spiruline, PHB, Biodégradabilité, Élongation, FTIR.

Abstract

The aim of this work is to explore the production of bioplastics from the microalgae *Arthrospira platensis* (spirulina). The algal biomass contained 0.065 mg/ml of poly-3-hydroxybutyrate (PHB) and had a biodegradability of 63.41% of the initial mass. The average elongation obtained was approximately 61.21%. The FTIR signature showed the functional groups O-H, C=O, and C-H, typical of organic compounds.

Keywords : Bioplastic, microalgae, Spirulina, PHB, Biodegradability, Elongation, FTIR.

المخلص

يهدف هذا العمل إلى استكشاف إنتاج البلاستيك الحي من الطحالب الدقيقة *Arthrospira platensis* (سبيرولينا) احتوت الكتلة الحية للطحالب على 0.065 مجم/مل من بولي 3 هيدروكسي بوتيرات (PHB)، وقابلية للتحلل البيولوجي تقدر بـ: 63.41% من الكتلة الأولية. وبلغ متوسط الاستطالة 61.21%. أظهرت توقيع FTIR المجموعات الوظيفية O-H و C=O و C-H، وهي مجموعات نموذجية للمركبات العضوية.

الكلمات المفتاحية: البلاستيك الحي، الطحالب الدقيقة، سبيرولينا، PHB، القابلية للتحلل البيولوجي، الاستطالة، FTIR

Remerciement

Avant tout, nous rendons grâce à **Allah** ﷻ, le Très- Miséricordieux, Le Sage, Lui seul connaît le secret des cœurs et la vérité des intentions. C'est par Sa volonté et Sa guidance que ce travail a pu voir le jour. Alhamdulillah pour chaque pas, chaque souffle, chaque réussite.

Ensuite, nous souhaitons nous remercier nous-mêmes, pour la persévérance, la motivation et les efforts constants que nous avons fournis ensemble tout au long de la réalisation de ce travail. Ce mémoire représente pour nous bien plus qu'un projet académique : c'est l'aboutissement d'un parcours riche en apprentissages, en défis, et en croissance personnelle.

Nous remercions monsieur **FIRAD Benyahia** pour avoir accepté de présider ce jury. Nos remerciements vont également à monsieur **AIT SAIDI Adel** d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à **Monsieur KADA Mohammed**, notre encadrant, pour sa disponibilité, sa rigueur scientifique et ses conseils précieux. Son accompagnement bienveillant et constant a été un pilier essentiel dans l'élaboration de ce travail.

Nos remerciements vont également à **Monsieur BOUGHRIRA Abdelhak**, notre co-encadrant, pour ses orientations éclairées, son suivi attentif et son soutien technique tout au long de ce projet.

Nous remercions chaleureusement **Madame AMROUCHE Linda**, enseignante exceptionnelle, pour son soutien indéfectible, sa disponibilité et sa confiance en nous. Son accompagnement bienveillant a été une véritable source d'encouragement.

Nous adressons également nos sincères remerciements aux ingénieurs et techniciens du laboratoire: **Messieurs Ali et Nouredine**, pour leur assistance, leur patience et leur aide technique précieuse, sans lesquels la partie expérimentale n'aurait pu être menée à bien.

Nos remerciements les plus sincères vont également à **Messieurs Mustapha, Mohammed et Hassen** pour leur gentillesse, disponibilité et efficacité. Grâce à eux, nous avons pu mener nos séances de travail dans de bonnes conditions.

Nos familles respectives méritent également toute notre reconnaissance pour leur amour, leur compréhension et leur soutien inconditionnel tout au long de ce parcours.

Enfin, un grand merci à notre groupe d'amies : **Rania, Siham, Ibtissem, Aya, kawther, Ines, Ilhem, Ibtihel, Yasmine et Noha** pour leur présence, leurs encouragements et tous ces moments de rires, de soutien et de complicité qui ont rendu cette aventure encore plus belle et mémorable.

Dédicaces

À moi-même,

À cette petite flamme que j'ai toujours protégée au fond de moi, cette volonté farouche de réussir, non pas pour la gloire, mais pour offrir un sourire de fierté à celle qui m'a donné la vie. À cette enfant que j'étais, les yeux brillants de rêves, le cœur lourd de peurs, mais l'âme tenace : tu y es arrivée. Et tu n'as jamais oublié pourquoi tu avais commencé.

À ma mère,

Ton amour a été mon sol, ton regard ma boussole. Chaque page de ce mémoire est un pas vers ce moment que j'ai tant imaginé : te voir fière, te voir heureuse. Je n'ai jamais cessé de vouloir te rendre fière, c'est ma mission, mon moteur, mon horizon.

À mon père,

Merci pour ta présence, et pour tout ce que tu m'as donné, sans jamais rien attendre en retour.

À mon frère Lamine,

Celui qui ne se doute même pas à quel point il est mon héros silencieux, tu es mon idéal sans le savoir, mon exemple sans le vouloir. Ta pudeur, ta force tranquille, ton regard sur le monde ont construit en moi des certitudes, des repères. Ce travail porte ton empreinte.,

À ma sœur Farah,

Ma lumière douce, toi dont le regard vaut mille discours, ton courage dans le silence, ta force malgré les obstacles, ton sourire malgré l'injustice... Tu n'as pas pu suivre le chemin des études, mais tu es, pour moi, la plus brillante des étoiles. Ce diplôme, je le lève très haut pour toi.

À ma sœur Rania,

Tu es mon souffle quand je suis à bout, ma main quand je tremble, mon rire quand tout s'effondre, tu as porté mes peines comme si elles étaient tiennes, tu m'as portée quand moi-même je ne savais plus comment avancer. Tu es mon âme, mon refuge, mon tout. Ce travail, c'est aussi le tien.

À la mémoire de ma chère Khalto,

Ton absence est une plaie ouverte, mais ton souvenir est un parfum qui ne s'efface pas. Je t'imagine, là-haut, racontant à tout le monde avec cette fierté débordante. Tu aurais crié plus fort que tous, applaudi plus longtemps que tous. Ce moment, je l'offre à ton éternité.

À mes deux oncles adorés,

Votre départ m'a volé des bras, mais pas l'amour. Ce que vous m'avez transmis, vos mots, vos gestes, vos regards bienveillants... sont toujours là, entre mes lignes, dans mes forces. Vous me manquez, chaque jour. Ce travail vous appartient aussi.

Et enfin, **À tous les étudiants palestiniens**, à ceux dont les rêves ont été brisés par les bombes, à ceux qui étudiaient sous les cendres, les coupures d'électricité, la peur et les larmes. À ceux qui voulaient simplement apprendre... mais à qui la guerre a volé le droit de rêver. Je vous porte dans mon cœur, et dans cette réussite il y a un hommage silencieux, mais puissant, à votre courage. Que le savoir triomphe toujours de la barbarie. Que la lumière de vos esprits ne s'éteigne jamais.

Dédicaces

À mon père

Papa, ce travail, cette étape importante de ma vie, je te la dédie de tout mon cœur. Tu as toujours été plus qu'un simple père pour moi : un pilier, un refuge, une force calme qui ne m'a jamais abandonnée.

Je me rappelle ces matins où, sans dire un mot, tu te levais tôt pour m'emmener à l'école, avec cette patience et cette tendresse que seuls les vrais héros ont.

Et ces soirs où, fatigué ou non, sous la pluie ou le froid, tu étais là, à m'attendre, fidèle comme personne.

Tu as cru en moi quand moi-même je n'y croyais plus.

Tu ne m'as jamais submergée de paroles, mais toujours soutenue par tes gestes pleins d'amour et de confiance.

Tu m'as appris à être rigoureuse sans me faire peur, courageuse sans bruit, patiente sans pression.

Si je suis là aujourd'hui, c'est autant grâce à toi qu'à moi.

Cette réussite, elle porte la marque de ton amour discret mais immense.

Je ne trouverai jamais assez de mots pour te dire merci.

Mais si ces quelques lignes peuvent te faire sentir un peu de ce que je ressens, alors elles auront fait leur travail.

Merci pour ta force, ta foi en moi, et ton amour sans limite.

À ma mère,

Maman, merci d'avoir toujours été là, même quand les mots manquaient.

J'ai senti ta présence, ta préoccupation, ta façon unique d'être à mes côtés, même dans le silence.

Ce mémoire, c'est aussi le fruit de tout ce que tu as fait pour moi, souvent dans l'ombre, toujours avec constance.

À mes frères,

Ahmed, mon grand frère, merci pour ta patience, surtout quand tu m'aidais en maths quand j'étais petite.

Alim, merci d'avoir su me faire sourire quand le stress prenait le dessus.

Vous avez été un vrai soutien, et je vous en suis profondément reconnaissante.

À mes cousines, Maroua et Chaïma

Merci pour votre douceur, vos encouragements, et cette énergie qui a rendu ce chemin plus léger.

Votre présence a été un vrai cadeau.

À ma meilleure amie, Israa

Depuis la première année de primaire, tu es là.

Toujours fidèle, toujours sincère.

Tu as traversé toutes ces années à mes côtés sans jamais lâcher ma main.

Merci d'avoir été là, du début à la fin, avec ce cœur fidèle et constant.

Bouchra

TABLE DE MATIERES

Introduction.....	1
Chapitre 1 : Généralités.....	3
1. Plastiques.....	3
1.1. Définition de plastiques.....	3
1.2. Histoire du plastique.....	3
1.3. Les différents types de familles du plastique.....	4
2. Bioplastiques.....	5
2.1. Historique du bioplastique.....	6
2.2. Différents types de bioplastique	6
2.3. Les polyhydroxyalcanoates (PHAs).....	7
2.4. Le Poly-3-hydroxybutyrate (PHB).....	8
2.5. Applications de bioplastiques.....	8
2.6. Avantage et inconvénients des bioplastique.....	9
3. Spiruline.....	10
3.1. Systématique.....	10
3.2. La morphologie.....	11
3.3. La composition biochimique de la spiruline.....	12
3.4. La reproduction.....	13
3.5. Culture de la spiruline.....	14
Chapitre 2 : matériels et méthodes	16
1. Acquisition de spiruline en poudre.....	16
2. Extraction et quantification du poly-3-hydroxybutyrate(PHB)	16
2.1. Extraction du PHB.....	16
2.2. Dosage par spectrophotométrie UV du PHB.....	19
3. Fabrication du bioplastique.....	20
4. Caractérisation du bioplastique.....	23
4.1. Test de biodégradabilité.....	23
4.2. Test d'élongation	24
4.3. Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier FTIR.....	24
Chapitre 3 : Résultats et discussions.....	26

Introduction

1. Quantification du poly-3-hydroxybutyrate (PHB).....	25
2. Caractéristiques visuelles du bioplastique	26
3. Test de biodégradabilité.....	27
4. Test d'élongation	27
5. Caractérisation par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR).....	29
Conclusion.....	32
Références bibliographiques.....	33

LISTE DES ABRÉVIATIONS

Bio-PE : Polyéthylène biosourcé

Bio-PET : Polyéthylène téréphtalate biosourcé

Bio-PP : Polypropylène biosourcé

CA : Acétate de cellulose

PA : Polyamide

PBAT : Adipate-co-téréphtalate de polybutylène

PBS : Succinate de polybutylène

PBSA : Polybutylène succinate adipate

PE : Polyéthylène

PEF : polyéthylène furanoate

PET : Polyéthylène téréphtalate

PHA : Polyhydroxyalcanoates

PHB : Polyhydroxybutyrate

PLA : Acide polylactique

PP : Polypropylène

PVC : Polychlorure de vinyle

TPE élastomère thermoplastique

TPS : Amidon thermoplastique

TPU : polyuréthane thermoplastique

3HB : 3-Hydroxybutyrate

4HB : 4-Hydroxybutyrate

3HV : 3-Hydroxyvalérate

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Application des bioplastiques (**Lackner et al, 2023**) 9

Tableau 2: Classification de *l'Arthrospira platensis*, connue sous le nom de Spiruline (**AlFadhly et al., 2022**)..... 10

Tableau 3: Standards préparés pour la courbe d'étalonnage 19

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Le plastique sous divers formes (**Jean-Pierre, 2008**). 3

Figure 2: Classification des polymères biodégradables (**Gerard, 2013**)..... 6

Figure 3: Structures chimiques de Poly-3-hydroxybutyrate (PHB) en comparaison avec des polymères à base de pétrole : le polyéthylène téréphtalate (PET), polychlorure de vinyle (PVC) et polypropylène (PP) (**Mcadam et al, 2020**). 8

Figure 4: *Arthrospira platensis* observée sous microscope à l’agrandissement de x40..... 11

Figure 5: Schéma représentant le cycle de reproduction de la spiruline (**Proy, 2019**) 14

Figure 6: Dépôt de poudre de spiruline et homogénéisation. 16

Figure 7: Agitation par vortex de la suspension de spiruline. 17

Figure 8: Hydrolyse acide de la spiruline par ajout de HCl (2N)..... 17

Figure 9: Chauffage des tubes au bain-marie à 100 °C pendant..... 18

Figure 10: Centrifugation à 6000 rpm pendant 20 minutes..... 18

Figure 11: Spectrophotomètre UV-Visible..... 20

Figure 12: Pesée des composants de la formulation..... 20

Figure 13: Préparation du glycérol 2 %..... 21

Figure 14: Mélange des composants de la formulation du bioplastique 21

Figure 15: Etape de moulage du bioplastique..... 22

Figure 16: Séchage du bioplastique dans l’étuve..... 22

Figure 17: Plastique commercial..... 23

Figure 18: Enfouissement du bioplastique et plastique commercial dans le sol 23

Figure 19: Spectromètre infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) Jasco FT/IR-4X 25

Figure 20: Courbe d’étalonnage du PHB à 235 nm..... 25

Figure 21: Bioplastique à base de spiruline..... 26

Figure 22: Plastique témoin..... 26

Figure 23: Évolution de la biodégradation du bioplastique à base de spiruline et du plastique témoin au cours du temps 27

Figure 24: longueur initiale du bioplastique avant l’application de la contrainte de traction..... 28

Figure 25: longueur finale du bioplastique après l’application de la contrainte de traction..... 28

Figure 26: Spectres FTIR du bioplastique à base *Arthrospira platensis* et du plastique témoin 29

Figure 27: Spectre FTIR du polypropylène (PP) (**Gonzalez-Canche, 2018**)..... 30

Introduction

Depuis plusieurs décennies, l'utilisation massive des plastiques conventionnels à base de pétrole a entraîné une crise environnementale majeure. Chaque année, des millions de tonnes de déchets plastiques sont générés à l'échelle mondiale, avec une part importante finissant dans les océans, les sols ou les décharges, où ils peuvent persister pendant plusieurs centaines d'années (**Geyer, Jambeck, & Law, 2017**). Cette pollution plastique, en constante augmentation, représente une menace grave pour la biodiversité, les écosystèmes terrestres et marins, ainsi que pour la santé humaine (**Thompson et al, 2009**).

Devant l'ampleur de cette crise environnementale, il devient indispensable de revoir nos modes de production et de consommation en matière de matériaux. C'est dans ce contexte que les bioplastiques apparaissent comme une alternative durable et prometteuse. Issus de ressources renouvelables, biodégradables dans des conditions spécifiques, ils permettent de réduire à la fois l'empreinte carbone et l'accumulation des déchets non dégradables (**Shen, Haufe, & Patel, 2009**).

Parmi les sources innovantes explorées pour la production de bioplastique, la spiruline, une microalgue riche en composés organiques, se distingue par son potentiel élevé. En plus de sa culture peu exigeante en ressources naturelles, elle constitue une biomasse intéressante pour l'extraction de polymères comme le polyhydroxybutyrate (PHB), capable de remplacer certains plastiques synthétiques (**Abdo & Ali, 2019**).

Ce mémoire s'inscrit en premier lieu, dans une démarche d'exploration de possibilité de produire un bioplastique à base de spiruline, comme alternative innovante et respectueuse de l'environnement aux plastiques traditionnels. En second lieu, réaliser une caractérisation afin de faire apparaître les performances de ce bioplastique, qui sont en majeure partie similaires aux synthétiques.

Il convient également de noter que la sélection de la spiruline *Arthrospira platensis* n'a pas été faite au hasard. Dans la phase préliminaire de ce projet, une diversité de microalgues a été ciblée, mais cela n'a pas été réalisé en raison des conditions de travail et de la disponibilité des espèces désirées.

Ce travail s'articule autour de deux volets complémentaires. Le premier consiste en l'extraction du poly-3-hydroxybutyrate (PHB) à partir de biomasse de spiruline, dans le but de valoriser ce polymère d'origine microbienne.

Introduction

Le second volet porte sur la formulation et la production d'un bioplastique à base du PHB extrait, suivie par une série de tests visant à caractériser ses propriétés physico-chimiques et mécaniques. Cette démarche permet d'évaluer le potentiel de la spiruline comme source locale et renouvelable pour la fabrication de matériaux biodégradables.

Chapitre 1 : Généralités

plastiques comme le polyéthylène (PE), le chlorure de polyvinyle (PVC), le polystyrène (PS) et de nombreux autres. Dès les années cinquante, ces plastiques se généralisent dans les produits de consommation (**Freinkel, 2011**).

1.3. Les différents types de familles du plastique

Les principales familles de plastiques, illustrées ci-dessous sont classées selon leur comportement thermique et leur structure moléculaire (**Ellen MacArthur Foundation, 2016**).

1.3.1. Les thermoplastiques

Le polyéthylène (PE) et le chlorure de polyvinyle (PVC) sont parmi les thermoplastiques les plus couramment utilisés. Sous l'effet de la chaleur, ces matériaux ramollissent et deviennent malléables, permettant de leur donner une nouvelle forme (**Crawford & Throne, 2002**).

Une fois refroidis, ils conservent cette forme. Ce processus étant réversible, il peut être répété plusieurs fois, ce qui rend les thermoplastiques facilement recyclables. Toutefois, malgré cette aptitude au recyclage, ils ne sont pas biodégradables et peuvent persister dans l'environnement pendant plusieurs centaines d'années (**Andrady, 2011**).

1.3.2. Les thermodurcissables

Ces plastiques prennent une forme définitive au premier refroidissent ; ils deviennent durs et ne peuvent plus être ramollis une fois moulés (**Rosato & Rosato, 2004**). Le processus de fabrication est difficile à appliquer, cependant il génère des matériaux très solides et résistants aux attaques chimiques et à la chaleur. Les aminoplastes représentent les plastiques thermodurcissables les plus utilisés. (**Strong, 2006**).

Les thermodurcissables présentent une large utilisation dans divers domaines en vue de nombreuses caractéristiques (**Urbyn, 2023**) à savoir :

- leur légèreté, qui facilite le transport et la manipulation ;
- leur résistance, permettant de supporter des charges importantes et d'assurer une bonne durabilité ;
- leur polyvalence, offrant une grande variété de couleurs, formes et textures ;
- et enfin, leur étanchéité, particulièrement utile pour la fabrication d'emballages alimentaires, de bouteilles d'eau et d'autres produits imperméables.

1.4. Inconvénients et impacts du plastique

Bien que le plastique présente de nombreuses qualités, il présente également plusieurs inconvénients non négligeables comme la non-biodégradabilité qui pose un problème majeur. En effet, la majorité des plastiques ne se dégradent pas naturellement et peuvent persister dans l'environnement pendant des centaines, voire des milliers d'années (**Andrady, 2011**).

À cela s'ajoute un problème de recyclage, car tous les plastiques ne sont pas aussi facilement recyclables, ce qui favorise leur accumulation dans les décharges. De plus, la production de plastique repose largement sur l'utilisation de combustibles fossiles, qui sont des ressources non renouvelables, dont l'exploitation excessive entraîne un appauvrissement progressif (**Hopewell, Dvorak, & Kosior, 2009**).

Certains plastiques peuvent aussi libérer des produits chimiques nocifs, notamment sous l'effet de la chaleur ou lors de leur dégradation, posant ainsi un risque pour la santé humaine (**Lithner, Larsson, & Dave, 2011**).

Le plastique exerce un fort impact environnemental ; sa mauvaise gestion conduit à une pollution généralisée, aussi bien terrestre que marine. Il contribue aux émissions de gaz à effet de serre, à la dégradation des sols, à la consommation excessive des ressources naturelles, et menace la faune, notamment lorsque des animaux ingèrent accidentellement des déchets plastiques (**UNEP, 2021**).

2. Bioplastiques

Face aux limites des plastiques conventionnels, les bioplastiques apparaissent comme une alternative prometteuse. Ces matériaux, emblématiques du 21^{ème} siècle, peuvent être qualifiés de biosourcés lorsqu'ils sont fabriqués à partir de ressources renouvelables telles que l'amidon de maïs, les sucres ou les pommes de terre, et/ou de biodégradables lorsqu'ils peuvent être décomposés par l'action de micro-organismes en dioxyde de carbone, eau et biomasse dans des conditions appropriées (**Tonuk et al., 2016**).

Il est bon de savoir que par bioplastique, certains désignent des plastiques qui sont soit biodégradables soit biosourcés (**Tokiwa et al., 2009**). Toutefois, il est important de préciser que tous les plastiques biosourcés ne sont pas nécessairement biodégradables, et inversement, tous les plastiques biodégradables ne sont pas toujours issus de ressources renouvelables (**Ashter et al., 2016**).

2.1. Historique du bioplastique

L'histoire des bioplastiques compte plusieurs étapes marquantes, dont une innovation pionnière remontant à 1941. Cette année-là, Henry Ford utilisa des fèves de soja pour créer un plastique alternatif, posant ainsi les bases du développement des bioplastiques (Chadou, 2023).

En 2000, la société Metabolix lança des programmes de recherche axés sur les cultures industrielles destinées à la production de ces matériaux. En 2006, la société NEC développa un bioplastique renforcé par des fibres, visant à réduire l'impact environnemental des téléphones mobiles. Enfin, en 2010, l'entreprise malaisienne Cardia Bioplastics mit en place la fabrication de produits bioplastiques à l'échelle industrielle (Chadou, 2023).

2.2. Différents types de bioplastique

Il existe deux groupes de bioplastique : les biosourcés non biodégradables et les biodégradables (référence).

2.2.1. Plastiques biosourcés non biodégradable

Ils englobent les plastiques traditionnels tels que bio-polyéthylène (Bio-PE), polyamide (PA), polyuréthane thermoplastique (TPU), élastomère thermoplastique (TPE). De nouvelles matières sont en développement tel que les Bio PP et le polyéthylène furanoate (PEF).

2.2.2. Plastiques biodégradables

Les quatre catégories composant ce groupe sont illustrées dans la figure ci-dessous (Avérous, 2004).

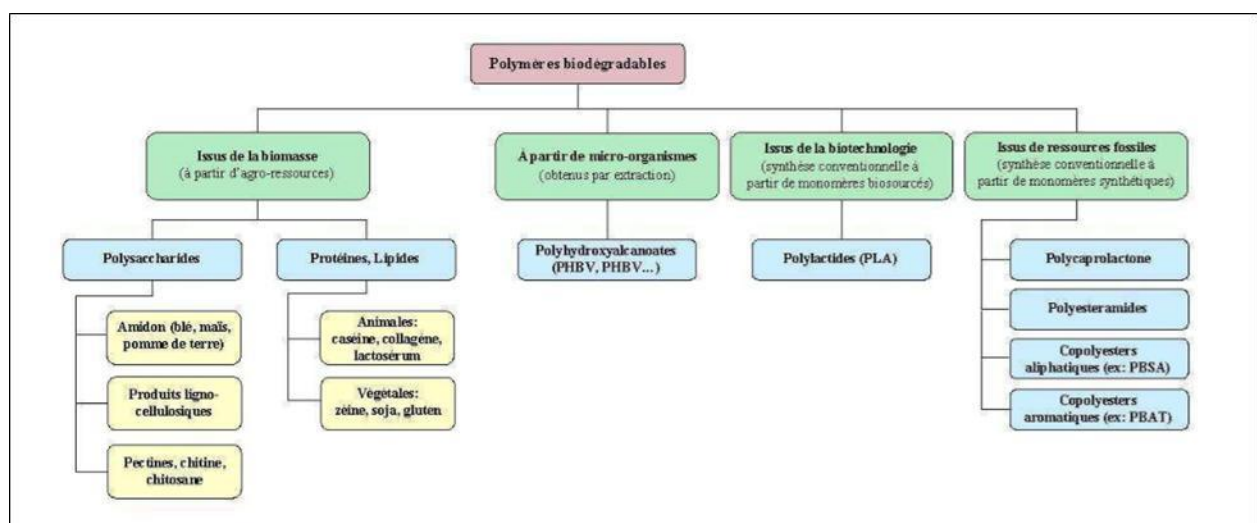


Figure 2: Classification des polymères biodégradables (Gerard, 2013).

La première catégorie englobe les polymères dérivés de la biomasse, c'est-à-dire fabriqués à partir d'agro-ressources. Cela inclut certains polysaccharides tels que l'amidon et ses dérivés, la cellulose, la chitine, le chitosane, la lignine ainsi que des protéines de types animales ou végétales.

La seconde est issue de ressources fossiles, produits par synthèse traditionnelle. Elle est représentée par des polyesters tels que le poly β -caprolactone et les polyesteramides ainsi que les copolyesters aliphatiques.

La troisième comprend les polymères produits grâce à la biotechnologie, c'est-à-dire synthétisés conventionnellement à partir de monomères provenant de ressources renouvelables, tel le polylactide.

La quatrième contient tous polymères générés par des micro-organismes et extraits comme les polyhydroxyalcanoates, Polybutylène succinate adipate (PBSA) ou aromatiques comme Adipate-co-téréphtalate de polybutylène (PBAT).

2.3. Les polyhydroxyalcanoates (PHAs)

Les polyhydroxyalcanoates (PHAs) constituent une famille de polyesters microbiens qui englobent une vaste famille de polymères thermoplastiques. Ils sont générés par divers microorganismes procaryotes, dans des conditions de nutrition déséquilibrées, comme matériel de stockage de carbone et d'énergie (Steinbuchel, 2001 ; Mcadam, 2020).

Les unités monomériques du PHA se classent en deux types en fonction du nombre d'atomes de carbone : les PHAs à courte chaîne et les PHAs à moyenne chaîne. La dimension de l'unité monomère joue un rôle déterminant dans les caractéristiques du polymère obtenu. Il est donc essentiel d'avoir une connaissance préalable de la structure chimique du monomère pour cibler des caractéristiques spécifiques du matériau pour différentes utilisations (Getino, Martín, & Chamizo-Ampudia, 2024).

Parmi les unités monomériques des scl-PHAs, on peut mentionner : le 3-hydroxybutyrate (3HB), le 4-hydroxybutyrate (4HB) et le 3-hydroxyvalérate (3HV) (Mitra, Xiang, & Han, 2021)

Ils possèdent des caractéristiques similaires au Polypropylène (PP) et peut être moulé par injection pour créer des produits tels que des bouteilles, des contenants, etc., à une température variant entre 160°C et 190°C. En dessous de 160°C, la viscosité est trop importante et au-dessus de 190°C, le PHA a tendance à se décomposer thermiquement (Green, 2013 ; Jomin, 2020).

2.4. Le Poly-3-hydroxybutyrate (PHB)

Le Poly-3-hydroxybutyrate a été le premier polyhydroxyalcanoate à être isolé et caractérisé. Il présente une structure de chaîne linéaire qui lui confère une cristallinité, désignée par le degré d'ordre structural d'un solide. Variant de 55–80%, elle influence fortement ses propriétés physiques telles que la dureté, la densité, la transparence et la diffusion de la lumière (Sudesh, 2000 ; Yuan et Xu, 2020). Il est présent sous forme de polymère vierge ou comme élément de copolymères et de mélanges.

La présence d'un groupe méthyle (CH₃) et d'un groupe fonctionnel ester (–COOR) dans sa structure chimique (Figure 3) lui confère ses propriétés thermoplastiques, hydrophobes et très cristallines (Mcadam et al., 2020).

En comparaison aux polymères synthétiques, le PHB présente une perméabilité de la barrière supérieure à celle du polyéthylène (PE) et du polypropylène (PP). Elle se révèle également plus rigide et moins flexible que le PP (Figure 3), et des propriétés meilleures que celles des polyéthylènes téréphtalate (PET) et polychlorures de vinyle (PVC) (Mcadam et al., 2020).

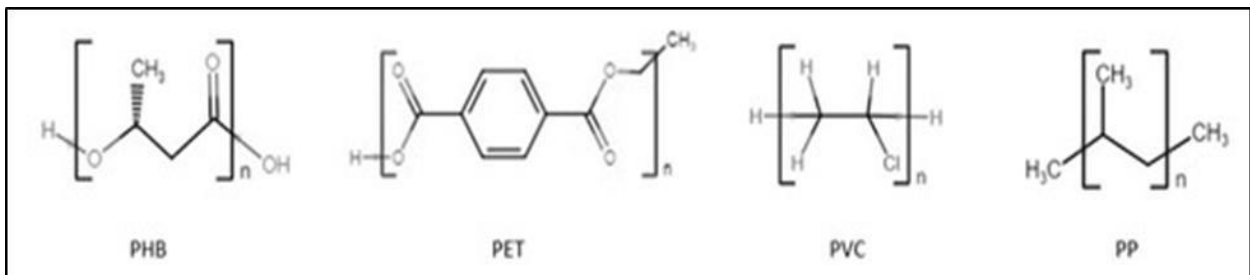


Figure 3: Structures chimiques de Poly-3-hydroxybutyrate (PHB) en comparaison avec des polymères à base de pétrole : le polyéthylène téréphtalate (PET), polychlorure de vinyle (PVC) et polypropylène (PP) (Mcadam et al, 2020).

2.5. Applications de bioplastiques

Les bioplastiques trouvent des applications dans plusieurs secteurs. Le **tableau 1** résume leurs différentes utilisations (Lackner et al, 2023).

Tableau 1: Application des bioplastiques (Lackner et al, 2023)

Bioplastique	Applications
Acide polylactique (PLA)	Emballage
Polyhydroxyalcanoates (PHA)	Emballage, usage biomédical
Succinate de polybutylène (PBS)	Emballage, vaisselle jetable
Adipate-co-téréphtalate de polybutylène (PBAT)	Emballage, articles jetables pour la restauration
Amidon thermoplastique (TPS)	Films thermoplastiques
Polypropylène biosourcé (Bio-PP)	Pièces automobiles, dispositifs électroniques, emballage
Polyéthylène biosourcé (Bio-PE)	Emballage, films
Polyéthylène téréphtalate biosourcé (Bio-PET)	Emballage, bouteilles, films
Acétate de cellulose (CA)	Montures de lunettes
Furanoate d'éthylène (PEF)	Bouteilles, films

2.6. Avantage et inconvénients des bioplastique

Les bioplastiques présentent de nombreux avantages qui en font une alternative intéressante aux plastiques traditionnels. Ils sont issus de ressources renouvelables, et contribuent à la réduction de la pollution environnementale (**Maamri & Haga, 2022**). Leur utilisation permet également de diminuer l'empreinte carbone, car ils génèrent moins d'émissions de gaz à effet de serre et ne contiennent pas de substances toxiques.

Certains types, comme le polyéthylène téréphtalate biosourcé (bio-PET), possèdent des propriétés similaires à celles des plastiques issus de ressources fossiles, ce qui permet de les recycler de la même manière (**Maamri & Haga, 2022**).

Un inconvénient majeur des bioplastiques réside dans leur coût de production élevé (**Arikan et al., 2015**). En effet, leur fabrication nécessite actuellement un investissement financier environ deux fois supérieur à celui requis pour les plastiques conventionnels, en raison du prix des matières premières renouvelables. Cette contrainte économique représente l'un des principaux obstacles à leur compétitivité sur le marché des matériaux plastiques (**Arikan et al., 2015**).

3. Spiruline

La spiruline, connue sous le nom de *Arthrospira platensis*, est une algue unicellulaire microscopique, planctonique et de couleur bleu-vert. Elle se développe en eaux douces et présente une structure spiralée pouvant atteindre 1 mm de longueur. Pour se développer naturellement, elle nécessite une eau saumâtre et alcaline, des excréments d'animaux et un climat tempéré chaud (Branger et al.,2003).

Les spirulines sont considérées comme l'une des formes les plus photosynthétiques les plus primitives apparue sur terre. Il s'agit en réalité d'une bactérie appartenant au genre *Arthrospira*, une cyanobactérie filamenteuse généralement enroulée en spirales, ce qui lui vaut son nom commercial (Girardin-Andréani, 2005). Dans les années 1970, fut observée la première production industrielle de spiruline (Proy, 2019).

3.1. Systématique

Le tableau ci-dessous présente la systématique d'*Arthrospira platensis*, anciennement appelée *Spirulina platensis*.

Tableau 2: Classification de l'*Arthrospira platensis*, connue sous le nom de Spiruline (AlFadhly et al., 2022).

Nom commun	Classes taxonomiques
Bacteria	Domaine
Eubacterla	Règne
Cyanobacteria	Phylum
Cyanophyceae	Classes
Oscillatorioophycideae	Sous classe
Oscillatoriales	Ordre
Oscillatorlaceae	Famille
<i>Arthrospira</i>	Genre
<i>A. platensis</i>	Espèce

Il existe plusieurs espèces qui ne diffèrent que par leur localisation géographique : *Spirulina platensis* la principale espèce africaine, *S.geitleries* l'espèce mexicaine (Arrignon, 2002) et également connue sous le nom de *Spirulina maxima* (Vonshak, 1997), *S.lonar* du lac Lonar en Inde, *S.orovilca* du lac Orovilca, *S.paracas* des bassins d'eau près de Paracas, et *S.ventanilla* du Pérou. En outre, il y a *Spirulina crater* du Mexique et *Spirulina tamanrasset* d'Algérie.

3.2. La morphologie

La spiruline se présente sous la forme de filaments (Figure 4), constitués de cellules transparentes empilées de bout à bout. Ce filament appelé trichome est mobile, non ramifié et prend une forme hélicoïdale uniquement en milieu liquide. Le nom spiruline dérive de la configuration physique spiralée et hélicoïdale de ses filaments ; en latin, *spira* signifie enroulement. Le filament a une longueur moyenne d'environ 250 μm , un diamètre de 10 à 12 μm et s'enroule en 6 ou 7 spires (Abert vian, 2021).

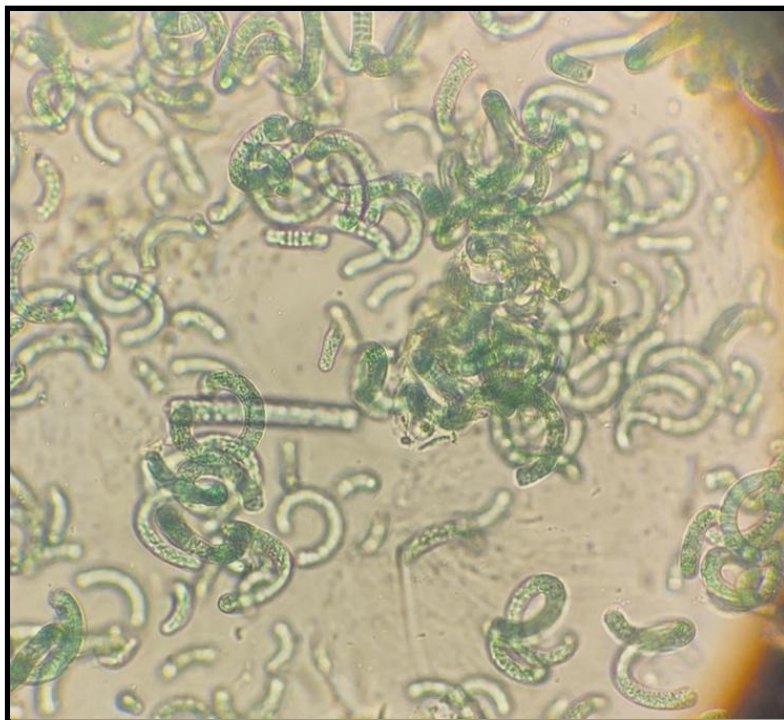


Figure 4: *Arthrospira platensis* observée sous microscope à l'agrandissement de x40

3.3. La composition biochimique de la spiruline

La composition de la spiruline diffère en fonction de plusieurs facteurs à savoir : les conditions de culture, le moment de la récolte, l'origine géographique, le mode de récolte, le séchage, la couvaison et le conditionnement, ainsi que le taux d'ensoleillement (**Louvel, 2019**).

Elle peut également être affectée par l'enrichissement volontaire du milieu de culture par certains industriels, dans le but d'obtenir une spiruline plus riche en fer, en zinc ou en acides gras (**Louvel, 2019**).

3.3.1. Le contenu en protéines

La spiruline contient une quantité extrêmement élevée en protéines représentant 10 à 11% de la masse humide soit 60% à 70% de son poids sec selon l'espèce choisie (**Clément, 1975**). On retrouve aussi tous les acides aminés essentiels qui ne peuvent être produit par le corps humain et qui doivent donc être apportés exclusivement par l'alimentation (**Proy, 2019**).

3.3.2. Contenu en lipides

On signale une concentration élevée en acides gras essentiels, tels que les oméga-3 et les oméga-6. Elle contient environ 5-10 % de lipides par rapport à son poids à l'état sec. Ces lipides sont principalement des acides gras indispensables à l'homme, ce qui leur confère un intérêt particulier (**Gutiérrez et al., 2015**).

Donc, cette microalgue est reconnue comme la source végétale la plus abondante en acide gamma-linolénique, un acide qui constitue 20% de son total d'acides gras et qui est difficile à trouver en grande quantité dans les aliments (**Gutiérrez et al., 2015**).

3.3.3. Contenu en minéraux

La spiruline contient tous les minéraux indispensables, qui constituent approximativement 7% de sa masse à l'état sec (**Proy, 2019**). La spiruline contient naturellement une abondance de minéraux cruciaux, particulièrement indispensables en cas de malnutrition (**Hug et von der Weid, 2011**).

L'assemblage de minéraux est directement affecté par les conditions de culture comme le pH, la salinité et la température, ainsi que par les minéraux présents dans l'environnement de culture (**Proy, 2019**).

3.3.4. Les glucides

Représentant environ 15 à 25% de la matière sèche de la spiruline, les glucides jouent un rôle essentiel en tant que source d'énergie, favorisant le bon fonctionnement du cerveau et des muscles (**Babadzhanov et al, 2004**).

3.3.5. Les polyesters

Les polyhydroxyalcanoates (PHA) produits par la spiruline (**Tokiwa et al., 2009**), dont le plus connu est le polyhydroxybutyrate (PHB), sont considérés comme des biopolymères intéressants qui interagissent avec les cellules et les tissus sans provoquer de réponses immunitaires indésirables (**Williams, 2008**). Du plus, il est biodégradable en conditions aérobies et anaérobies, sans formation de sous-produits toxiques (**Tokiwa et al, 2009**).

Ces caractéristiques en font un matériau de choix pour le développement de plastiques durables et potentiellement utilisables dans les domaines alimentaire, pharmaceutique et médical (**Sharma et Mallick, 2005**), ainsi que l'emballage et l'agriculture (**Calabia & Tokiwa, 2004**).

3.3.6. Les vitamines

Les vitamines sont des composés organiques qui agissent en petites quantités et ayant un rôle dans le développement, le fonctionnement et l'entretien de l'organisme. (**Louvel, 2019**). La spiruline constitue une bonne source de vitamines, notamment celles du groupe B comme la vitamine B12 (**Bard, 2018**).

3.3.7. Les pigments

La Spiruline se démarque par sa richesse en pigments ce qui lui confère sa couleur bleu-vert distincte, La principale substance colorante de la spiruline qui lui confère sa couleur bleue est la phycocyanine, constituée jusqu'à 47% du poids sec de la spiruline (**Proy, 2019**). Outre la phycocyanine, la spiruline contient d'autres pigments tels que la chlorophylle et les caroténoïdes (**Spinola et al, 2024**).

3.4. La reproduction

La reproduction est effectuée de manière asexuée, principalement par scission simple, par bourgeonnement ou par fragmentation aléatoire du filament. Son cycle de vie, illustré dans la **figure 5**, comprend trois étapes essentielles :

- Tout d'abord, le filament mature forme des cellules spécialisées appelées nécriides, reconnaissables à leurs formes biconcaves et comparables à des disques de séparation.

- À partir de ces nécriidies, le trichome se fragmente et donne naissance à deux nouveaux filaments courts appelés hormogonies.
- Ces derniers poursuivent ensuite leur développement par simple division cellulaire, chaque cellule se divisant en deux, jusqu'à atteindre la maturité, donnant une forme caractéristique typique de la spiruline (**Proy, 2019**).

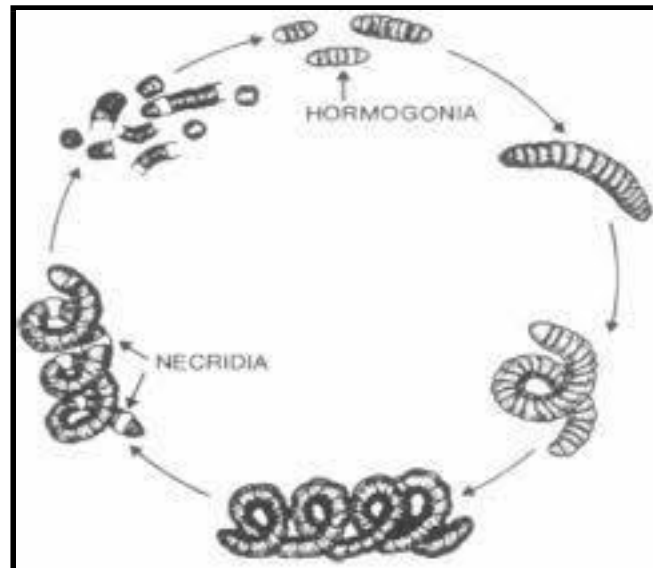


Figure 5: Schéma représentant le cycle de reproduction de la spiruline (**Proy, 2019**).

3.5. Culture de la spiruline

La spiruline est une microalgue qui croît dans des milieux assez particuliers : les eaux chaudes et saumâtres riche en sels et carbonates (**Benkhedda Belhaouari et al, 2024**).

Une eau à température entre 25°C et 38°C, peu profonde et non stagnante, du soleil et de la lumière, des minéraux et oligo-éléments représentent les conditions requises pour la culture de spiruline. De plus, la spiruline capte le CO₂ de l'air ambiant dissout dans l'eau comme source de carbone. Aucun pesticide ni insecticide n'est nécessaire et la culture de la spiruline requiert très peu d'eau (**Daude, 2021**).

La culture de la spiruline présente de nombreux atouts d'un point de vue écologique et agronomique. Elle se caractérise par une croissance rapide, mesurable en quelques heures, et une faible sensibilité aux variations saisonnières, ce qui permet une production continue tout au long de l'année (**Louvel, 2019**). De plus, son milieu de culture est facilement reproductible en bassins, ce qui facilite le contrôle des conditions de croissance (**Daude, 2021**).

Chapitre 1 : Généralités

Enfin, la culture de spiruline exerce une faible pression environnementale : elle ne contribue ni à la déforestation, ni à l'érosion des sols ou à la désertification, et ne compromet pas la biodiversité. De surcroît, elle requiert peu d'intrants chimiques et énergétiques, ce qui en fait une alternative durable pour la production de protéines d'intérêt nutritionnel (**Louvel, 2019**).

Chapitre 2 : Matériels et méthodes

Chapitre 2 : matériels et méthodes

Deux volets complémentaires ont été abordés dans ce travail :

- L'extraction du poly-3-hydroxybutyrate (PHB) à partir de biomasse en poudre de spiruline, dans le but de valoriser ce polymère d'origine microbienne.
- Formulation et production de bioplastique à base du PHB extrait, suivie d'une caractérisation de ses propriétés physico-chimiques et mécaniques.

1. Acquisition de spiruline en poudre

La matière première utilisée provient de la société SARL K Marine, située à Khraïcia (Alger). Elle est spécialisée dans la culture d'*Arthrospira platensis*. Cette spiruline a été livrée, fin mars 2025, sous forme de poudre sèche, conditionnée et prête à l'emploi pour les expériences d'extraction menées en laboratoire de chimie et pollution (LCP 2), au niveau de l'ENSSMAL.

2. Extraction et quantification du poly-3-hydroxybutyrate(PHB)

Les méthodes d'extraction et de quantification du poly-3-hydroxybutyrate utilisé dans cette étude ont été adaptées à partir de celles décrites par **Abdo et Ali (2019)**.

2.1. Extraction du PHB

Un tube à hémolyse propre a servi à préparer une solution de spiruline, en dispersant un gramme de biomasse algale sèche dans 20 ml d'eau distillée, avec une première homogénéisation de la poudre suivie d'une agitation vigoureuse sur vortex, pour obtenir une solution uniforme (**Figure 6 et 7**).



Figure 6: Dépôt de poudre de spiruline et homogénéisation.

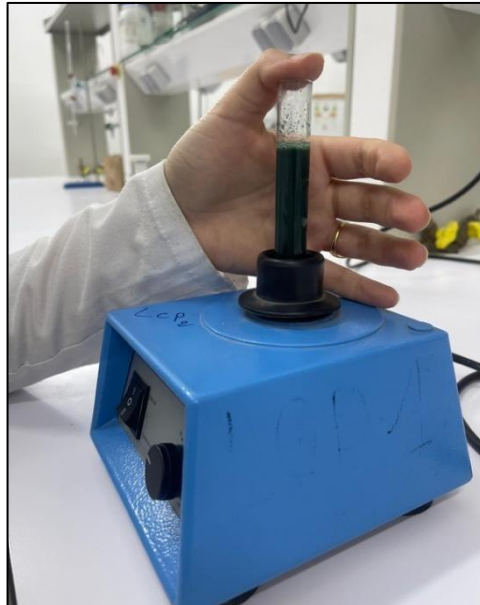


Figure 7: Agitation par vortex de la suspension de spiruline.

Des volumes de 2 ml de cette suspension de spiruline ont été ensuite transférés dans 07 tubes à hémolyse, puis mélangés à 2 ml d'acide chlorhydrique (HCl) à 2 N, afin de réaliser une hydrolyse acide.



Figure 8: Hydrolyse acide de la spiruline par ajout de HCl (2N)

Chapitre 2 : Matériels et méthodes

Les tubes ont été incubés dans un bain-marie à 100 °C pendant deux heures (**Figure 9**). Après refroidissement, Ils ont été soumis à une centrifugation à 6000 tours par minute pendant 20 minutes. (**Figure 10**).



Figure 9: Chauffage des tubes au bain-marie à 100 °C pendant

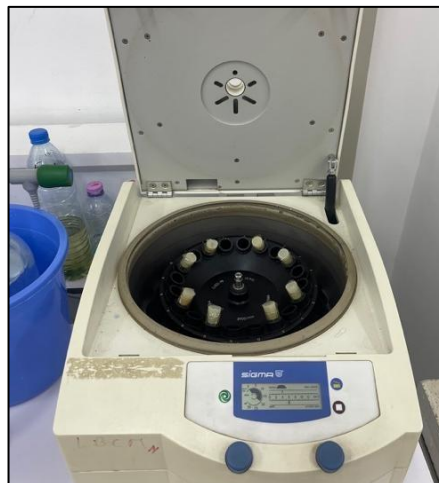


Figure 10: Centrifugation à 6000 rpm pendant 20 minutes

Chapitre 2 : Matériels et méthodes

Le culot obtenu a été extrait avec 5 mL de chloroforme, puis incubé toute la nuit à 28 °C pour permettre l'extraction des granules de PHB.

Le jour suivant, les tubes ont de nouveau été soumis à une centrifugation à 2000 tours par minute pendant une durée de 20 minutes. La fraction organique (chloroforme) renfermant le PHB a été minutieusement extraite, suivie d'une seconde extraction effectuée avec 1 mL de chloroforme neuf. Les extraits ont été mélangés et déshydratés à une température de 40 °C jusqu'à l'élimination totale du solvant, ce qui a permis d'obtenir un résidu sec de PHB.

On a ajouté 5 mL d'acide sulfurique concentré (H_2SO_4) à ce résidu. Le mélange a été porté à ébullition dans un bain-marie à 100 °C pendant 20 minutes, ce qui a permis de transformer le PHB en acide crotonique. La solution obtenue a donc été analysée par spectrophotométrie UV.

2.2. Dosage par spectrophotométrie UV du PHB

Afin de mesurer la concentration en polyhydroxybutyrate (PHB), une courbe d'étalonnage a été élaborée en utilisant l'acide crotonique, un dérivé typique de la décomposition du PHB dans un environnement acide.

Une solution mère a été préparée en dissolvant une quantité précise d'acide crotonique dans de l'acide sulfurique concentré (1 mg/mL). Plusieurs solutions filles ont été obtenues par dilution à partir de cette solution mère (**Tableau 3**).

Tableau 3: Standards préparés pour la courbe d'étalonnage.

N	Volume de SM	V de l'acide sulfurique	C finale $\mu\text{g/ml}$
1	0 mL	5 mL	0
2	0,1 mL	4,9 mL	20
3	0,2 mL	4,8 mL	40
4	0,3 mL	4,7 mL	60
5	0,4 mL	4,6 mL	80
6	0,5 mL	4,5 mL	100

Ensuite, leur absorbance a été déterminée à 235 nm en utilisant un spectrophotomètre UV-Visible **figure (11)**.



Figure 11: Spectrophotomètre UV-Visible

3. Fabrication du bioplastique

Cette recherche se base sur le processus de production de bioplastique issu de la technique suggérée par **Abdo et Ali (2019)**.

Le bioplastique a été élaboré en utilisant une biomasse de microalgue, *Arthrospira platensis*, combinée à des éléments naturels ayant des caractéristiques plastifiantes et gélifiantes. La composition du mélange comprend 2,25 g de biomasse algale, 2,25 g de gélatine, ainsi que 75 ml d'une solution de glycérol à 2 % (**Figure 12 et 13**).



Figure 12: Pesée des composants de la formulation

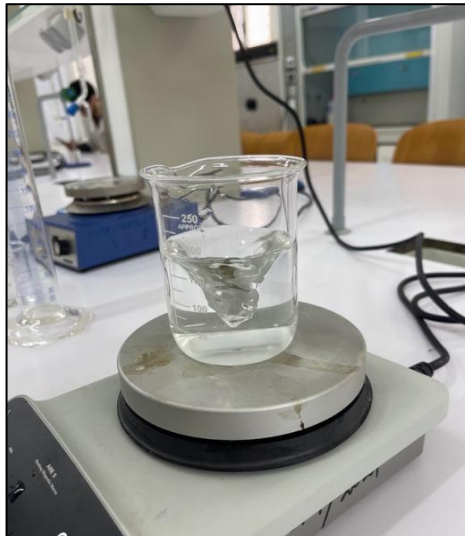


Figure 13: Préparation du glycérol 2 %

Ces composants ont été minutieusement intégrés dans le bécher, ensuite le mélange a été porté à ébullition, tout en étant continuellement remué pour assurer une parfaite homogénéité de la solution (**Figure 14**).

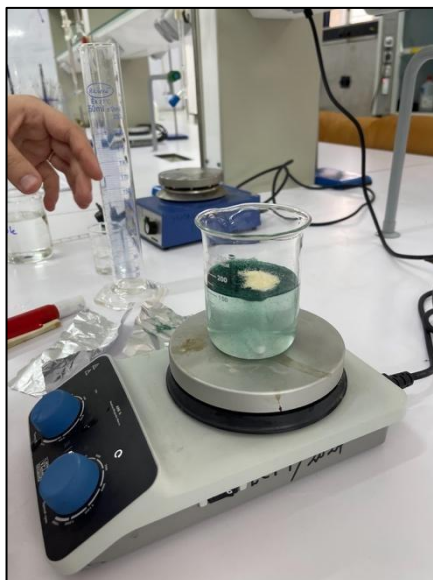


Figure 14: Mélange des composants de la formulation du bioplastique

Suite à une heure de chauffage, le mélange a été déversé dans un moule en silicone propre et sec, puis réparti uniformément pour créer une pellicule fine (**Figure 15**).

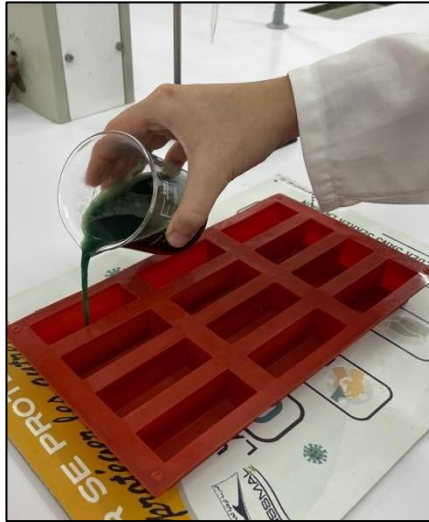


Figure 15: Etape de moulage du bioplastique

Le séchage s'est effectué dans une étuve à 25°C pendant 3 jours. Une fois le film complètement sec, celui-ci a été délicatement décollé du support afin d'être caractérisé (**Figure 16**).



Figure 16: Séchage du bioplastique dans l'étuve

Pour des raisons de comparaison, un plastique commercial (de référence) a été élaboré en suivant un protocole identique, à l'exclusion de la biomasse algale (**Figure 17**).



Figure 17: Plastique commercial.

4. Caractérisation du bioplastique

4.1. Test de biodégradabilité

Pour évaluer la capacité du bioplastique à se dégrader, environ 200g de sol ont été employés et placés dans un récipient propre. Nous avons enfoui l'échantillon et l'avons laissé pendant 8 jours (**Figure 18**).



Figure 18: Enfouissement du bioplastique et plastique commercial dans le sol

Chapitre 2 : Matériels et méthodes

Les masses résiduelles ont été mesurées quotidiennement. Le poids initial (W_0) et le poids final (W_1) ont été mesurés, puis utilisés pour calculer le pourcentage de perte de masse selon l'équation suivante (El Semary et al., 2022) :

$$Perte\ de\ masse\ (\%) = \frac{W_0 - W_1}{W_0} * 100$$

4.2. Test d'élongation

L'élongation est un test permettant d'évaluer la capacité d'un matériau à se déformer sous l'action d'une contrainte de traction, en mesurant notamment sa capacité à s'étirer avant de se rompre, ce qui permet d'avoir une idée de sa ductilité et de sa mouvançe.

On a appliqué la contrainte de traction manuellement en augmentant progressivement la tension jusqu'à ce que les échantillons soient rompus. Une fois la rupture terminée, la longueur finale a été calculée à l'aide d'une règle, depuis le point de départ jusqu'au point de rupture.

Les mesures de longueur initiale (L_0) et finale (L_1) ont été effectuées, puis elles ont servi à calculer le pourcentage d'élongation de la manière suivante (Kuhn and Medlin, 2000) :

$$Elongation\ (\%) = \frac{L_1 - L_0}{L_0} * 100$$

4.3. Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier FTIR

Pour analyser la structure chimique du matériau élaboré, une étude par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) a été conduite sur le bioplastique à base de spiruline, ainsi que sur un plastique commercial servant de modèle comparatif (Figure 19).

Cette méthode non destructive offre la possibilité d'obtenir le spectre d'absorption infrarouge d'un échantillon solide, dévoilant de cette façon la nature des groupements fonctionnels présents. Cette méthode a permis d'identifier les groupes fonctionnels typiques des polymères, de repérer d'éventuelles impuretés et de comparer les ressemblances ou disparités structurelles entre le bioplastique élaboré et les plastiques traditionnels.



Figure 19: Spectromètre infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) Jasco FT/IR-4X

Chapitre 3 : Résultats et discussions

Chapitre 3 : Résultats et discussions

1. Quantification du poly-3-hydroxybutyrate (PHB)

La **figure 20** illustre la courbe d'étalonnage élaborée pour mesurer la concentration de polyhydroxybutyrate extrait de la biomasse d'*Arthrospira platensis*.

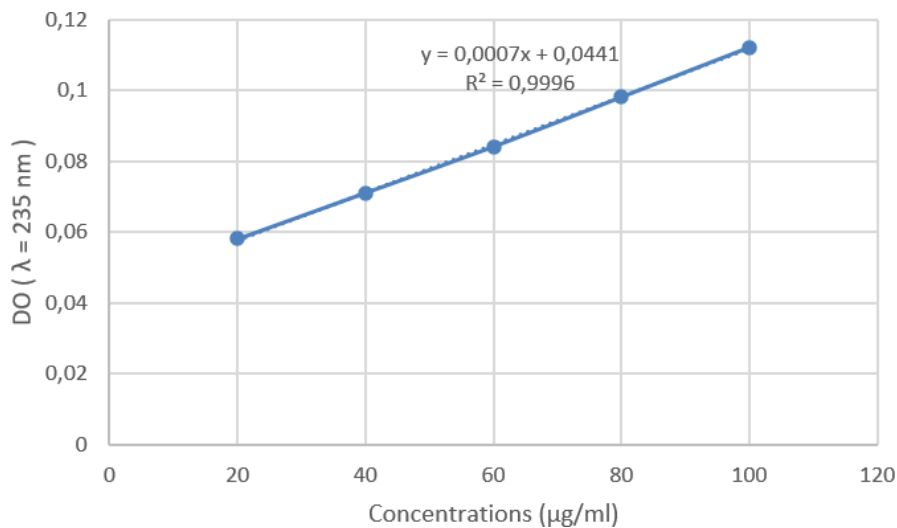


Figure 20: Courbe d'étalonnage du PHB à 235 nm

Dans cette étude, le niveau de polyhydroxybutyrate obtenu est de 0,065 mg/ml, une valeur qui se trouve dans la fourchette mentionnée par diverses recherches semblables. Effectivement, **Abdo et Ali (2019)** ont signalé une concentration de 0,07 mg/ml.

Selon **Arias et al. (2018)**, une concentration de 104 mg/L (0,104 mg/ml) a été rapportée grâce à des cultures de cyanobactéries optimisées, y compris *Spirulina*. **Morsy et al. (2025)**, pour leur part, ont réussi à obtenir 20 mg de PHB par gramme de biomasse sèche, ce qui équivaut à une concentration similaire lorsque le polymère est extrait dans un volume réduit de solvant. Selon **Dianursanti et al. (2019)**, ils ont réussi à extraire jusqu'à 1,47 mg/ml de PHB, en utilisant de l'hypochlorite de sodium (NaClO), sous des conditions d'extraction concentrées.

La valeur déterminée dans cette étude concorde avec les données antérieurement publiées, indiquant que la spiruline employée détient un potentiel prometteur pour la fabrication de bioplastiques.

Il serait possible d'améliorer davantage ce rendement en perfectionnant les conditions de culture (carbone, lumière, stress azoté) ou en affinant la méthode d'extraction employée (**Abdo et Ali, 2019**).

2. Caractéristiques visuelles du bioplastique

Les deux types de bioplastiques fabriqués dans ce travail ont montré les caractéristiques suivantes :

- **Bioplastique à base d'*Arthrospira platensis***

Ce film se caractérise par une teinte verte, un aspect uniforme et une excellente souplesse. Après séchage, un parfum herbacé distinctif de la spiruline peut être détecté. L'apparence générale est mate, avec une surface uniforme (**Figure 21**).

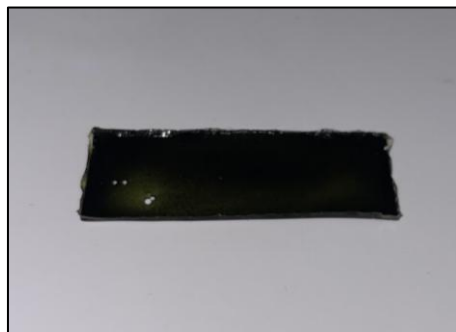


Figure 21: Bioplastique à base de spiruline

- **Bioplastique témoin (sans spiruline)**

Ce deuxième film présente une transparence, offrant un niveau de brillance supérieur au bioplastique à base de spiruline. La texture est aussi uniforme, mais la souplesse peut légèrement fluctuer en fonction de l'épaisseur. Ce bioplastique n'a pas d'odeur distincte. Ce bioplastique n'a pas d'odeur distincte (**Figure 22**).



Figure 22: Plastique témoin

3. Test de biodégradabilité

Les résultats de biodégradabilité montrés dans la **figure 23** indiquent que le bioplastique a subi une réduction de masse de 63,41 % après 8 jours d'enfouissement dans le sol (passant de 0,41 g à 0,15 g). En ce qui concerne le plastique commercial, il a démontré une décomposition considérablement plus lente, avec seulement 24,14 % de diminution de masse (passant de 0,58 g à 0,44 g).

Les observations valident la biodégradabilité accrue du bioplastique, associée à sa composition de polymères naturels tels que le polyhydroxybutyrate, qui se décomposent aisément grâce aux micro-organismes du sol (**Khanna & Srivastava, 2005 ; Sudesh et Iwata, 2008**). Cependant, les plastiques commerciaux montrent une forte résistance à la décomposition biologique (**Shah et al., 2008**).

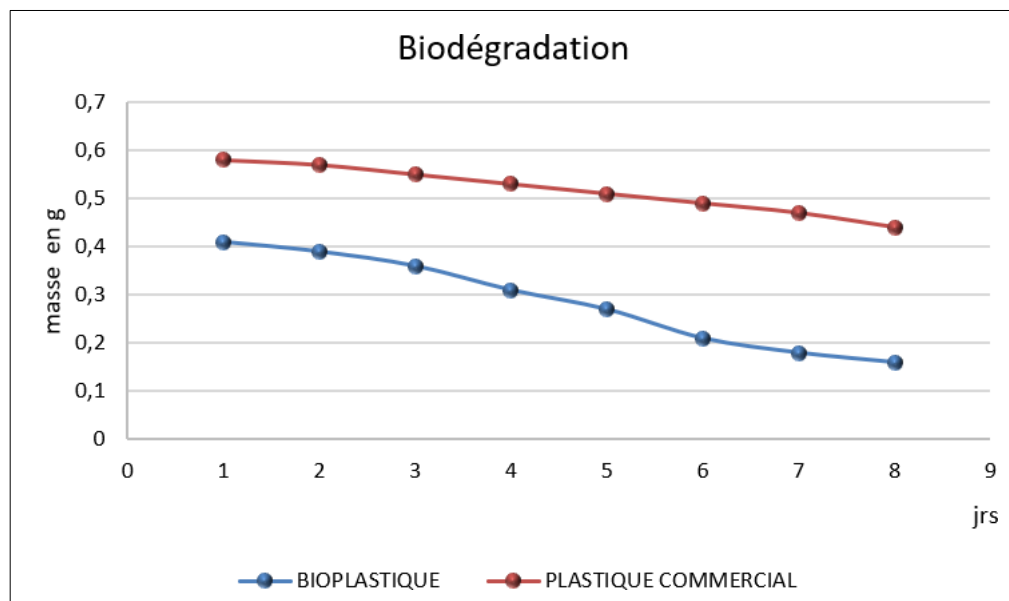


Figure 23: Évolution de la biodégradation du bioplastique à base de spiruline et du plastique témoin au cours du temps

4. Test d'élongation

L'essai d'étirement a été réalisé pour déterminer la ductilité et la flexibilité du bioplastique élaboré à partir de spiruline. La longueur initiale de l'échantillon était de 5,5 cm avant l'application de la contrainte (**Figure 24**). Suite à l'exercice d'une force de traction graduelle jusqu'à la rupture sur divers échantillons, les longueurs finales observées se chiffrent à 8,9 cm,

Chapitre 3 : Résultats et discussions

8,7 cm et 9 cm. Les pourcentages d'élongation correspondants étaient de 61,82 %, 58,18 % et 63,64 % (Figure 25).

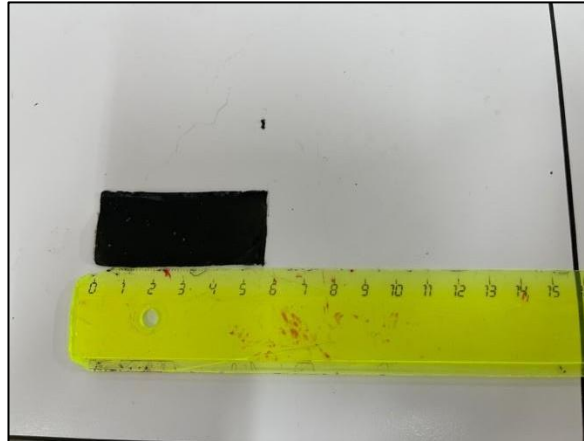


Figure 24: longueur initiale du bioplastique avant l'application de la contrainte de traction



Figure 25: longueur finale du bioplastique après l'application de la contrainte de traction

Le bioplastique présente un pourcentage moyen d'élongation de 61,21%. Avec une faible dispersion de 2,78 %, ce qui montre que les trois mesures sont assez similaires entre elles, le comportement d'élongation est donc assez uniforme parmi les échantillons.

Ce constat révèle que le bioplastique produit manifeste une excellente élasticité et une déformation significative avant cassure, ce qui atteste de l'efficacité de l'intégration du glycérol et de la gélatine en tant qu'agents liants.

Ces substances sont essentielles pour renforcer les caractéristiques mécaniques du bioplastique, notamment en favorisant le mouvement des chaînes polymères et en assurant une plus grande

Chapitre 3 : Résultats et discussions

cohésion à la matrice (Suderman et Sarbon, 2020). Selon Dianursanti et al (2018), une concentration de 30% en glycérol peut atteindre un taux d'élongation de 66 %.

Il est nettement supérieur par rapport à d'autres bioplastiques naturels. Un bioplastique constitué d'amidon de manioc plastifié avec du glycérol a démontré un taux d'élongation de 27,57%, même en présence de carbonate de calcium censé renforcer la résistance (Yunizal et al., 2019). Par ailleurs, un bioplastique fait d'amidon de taro, plastifié au glycérol et renforcé au chitosane, a affiché un taux d'élongation de 45,85% (Ginting et al., 2021).

5. Caractérisation par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)

Dans le cadre de ce travail, deux films bioplastiques ont été analysés par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) afin d'évaluer l'impact de l'incorporation de la spiruline sur la structure chimique du matériau.

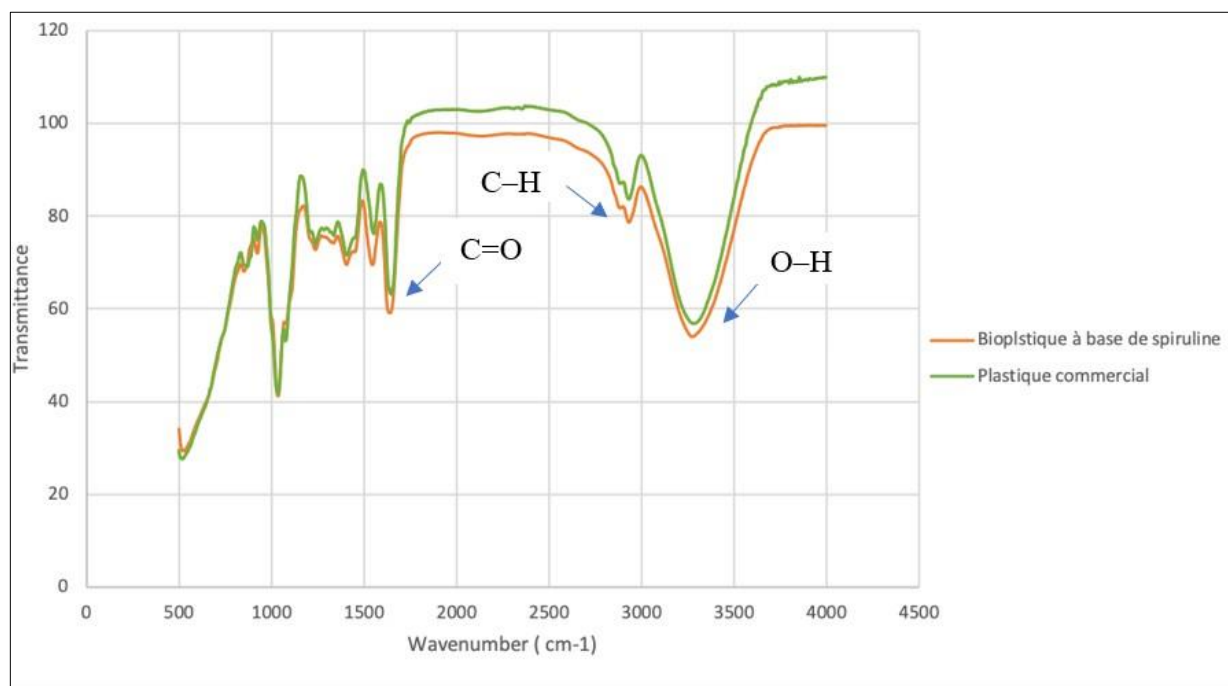


Figure 26: Spectres FTIR du bioplastique à base d'*Arthrospira platensis* et du plastique témoin

Ce spectre complexe présente une large bande intense caractéristique dans la région de 3280 à 3270 cm⁻¹, caractéristique de groupes hydroxyles. Ceci indique des composés polaires comme les protéines, polysaccharides et les acides gras de la spiruline (Ferreira et al., 2019).

Un pic net vers $2930\text{--}2880\text{ cm}^{-1}$ est observé. Il est attribué aux liaisons C-H aliphatiques (CH_2), qui reflète les chaînes lipidiques ou les résidus organiques de la biomasse (Morais et al., 2021).

Vers $1647\text{--}1633\text{ cm}^{-1}$, un pic de C=O est enregistré. Correspond aux esters carboxyliques (Abdelwahab et al., 2020) ou à la vibration d'élongation C=O (amide I), signature des liaisons peptidiques dans les protéines. (Iyer et al, 2023).

L'étude FTIR démontre que l'ajout de spiruline dans un bioplastique à base de gélatine et glycérol n'altèrent pas fondamentalement la structure chimique du matériau. Les deux formulations présentent des spectres très similaires, ce qui atteste de la compatibilité de la spiruline avec la matrice polymérique. Cette caractéristique est essentielle pour le développement de bioplastiques enrichis, permettant d'améliorer certaines propriétés fonctionnelles sans compromettre l'intégrité du matériau de base.

En comparaison avec le bioplastique à base de spiruline, le spectre d'un plastique à base de pétrole comme le polypropylène (Figure 27) est d'une allure simple avec dominance du pic C-H caractéristique des polyoléfines apolaires (Andrady & Neal, 2009).

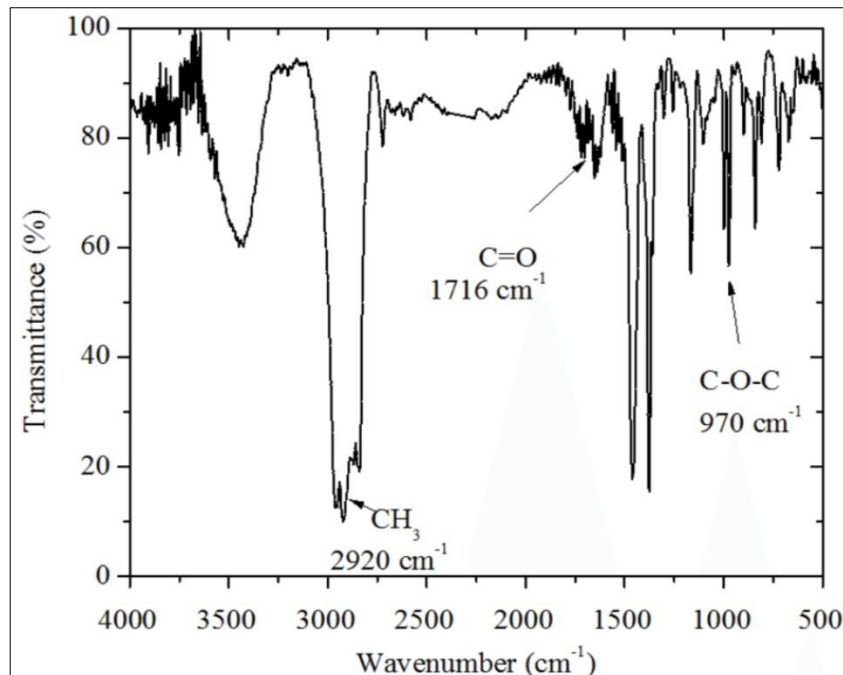


Figure 27: Spectre FTIR du polypropylène (PP) (Gonzalez-Canche, 2018)

Cette différence traduit une nature plus hydrophile lui offrant des propriétés de biodégradabilité importante (Li et al., 2021).

Conclusion

Conclusion

Ce travail a démontré avec succès le potentiel *d'Arthrospira platensis* comme ressource durable pour la production de bioplastiques, offrant une alternative écologique aux plastiques pétrosourcés. Les résultats obtenus confirment la faisabilité technique et la pertinence environnementale de cette approche.

La teneur en poly-3-hydroxybutyrate (PHB) extraite de la spiruline (0.065 mg/ml) s'aligne avec les valeurs rapportées dans la littérature, validant le potentiel de cette cyanobactérie comme source de biopolymères. Des optimisations (conditions de culture, méthodes d'extraction) pourraient encore accroître les rendements.

Le bioplastique a montré de bonnes performances lors des tests mécaniques, tels que l'essai de traction, mettant en évidence une grande élasticité qui indique une flexibilité et une résistance mécanique adéquates pour certaines utilisations. En outre, les essais de biodégradabilité ont démontré que ce bioplastique a une aptitude plus élevée à être décomposé par les micro-organismes par rapport aux plastiques conventionnels, réduisant ainsi l'impact des déchets.

L'analyse FTIR a mis en évidence une empreinte chimique unique, comprenant des groupes fonctionnels organiques (O-H, C=O, C-H), typiques des matériaux biosourcés, à la différence du spectre moins complexe des polyoléfines.

En perspective :

- Améliorer la synthèse de poly-3-hydroxybutyrate via des souches modifiées ou des conditions de stress contrôlées.
- Évaluer la résistance thermique et réaliser une analyse de cycle de vie (ACV) pour quantifier les bénéfices environnementaux.
- Fabriqué dans un environnement industriel, en employant du bioplastique dérivé de la spiruline, pour évaluer l'efficacité de ce matériau en tant que matière première.

Références bibliographiques :

- **Abdo, S. M. & Ali, G. H. (2019).** Analysis of polyhydroxybutyrate and bioplastic production from microalgae. *Bulletin of the National Research Centre*, vol. 43, n° 97, P.P. 1-10.
- **Abert vian, M. (2021).** “Spiruline - Culture, production et applications”. [En ligne] Consulté le [23/03/2025]. Disponible sur le web : <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/procedes-chimie-bio-agro-th2/filiere-de-production-produits-d-origine-vegetale-42433210/spiruline-f6295/caracteristiques-generales-de-la-spiruline-f6295niv10002.html>
- **Alexander,Steinbüchel. (2001).** Perspectives for Biotechnological Production and Utilization of Biopolymers: Metabolic Engineering of Polyhydroxyalkanoate Biosynthesis Pathways as a Successful Example.vol.1, n°1, P.P 1-24.
- **Abdelwahab, N. A. et al. (2020).** Infrared spectroscopy of algae-based composites. *Journal of Polymers and the Environment*. vol.28, n°7, P.P 1892–1903.
- **Andrady, A. L. & Neal, M. A. (2009).** Applications and societal benefits of plastics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. vol.364, n°1526, P.P 1977–1984.
- **Andrady, A. L. (2011).** Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*. vol. 62 ,n°8, P.P1596–160
- **Arias, D. M., Escalante, F. M. E., et de-Bashan, L. E. (2018).** PHB accumulation in cyanobacteria: Effect of nutrients and cultivation conditions. *Bioresource Technology*, 256, P.P 520–527.
- **Arikan,E. B., & Ozsoy, H. D. (2015).** A review : investigation of Bioplastic. *Journal of civil Engineering and Architecture*, vol. 9 , 188-192, P.191
- **Ashter, S. A. (2016).** Introduction to bioplastics Engineering. William Andrew
- **Babadzhanov, A et al. (2004).** Chemical composition of *Spirulina platensis* cultivated in Uzbekistan. *Chemistry of Natural Compounds*. Vol.40. n°3. P.P. 276–279.
- **Balaji,S., Gopi, K et Muthuvelan, B. (2013).** A review on production of poly β -hydroxybutyrates from cyanobacteria for the production of bioplastics. *Algal Research*. Vol.2. n° 3. P.P. 278–286.
- **Belhaouari, B. (2024).** *Spirulina: A Natural Nutritional Supplement*. *Journal of Aquaculture & Fisheries* .vol. 8, n°093
- **Bendacha,H .,& Louglaithi,S.(2024).** Exploring spirulina’s potential for bioplastic production. Thèse de doctorat. Biotechnologie marine; Dely Brahim: Enssmal. P. 25

Références bibliographiques

- **Branger, B et al. (2003).** La spiruline comme complément alimentaire dans la malnutrition du nourrisson au Burkina-Faso. *Archives de Pédiatrie*. Vol. 10. n°5). P.P. 424–431.
- **Brigham, C (2018).** Biopolymers: Biodegradable Alternatives to Traditional Plastics. In *Green Chemistry*. United States. P.P. 753-770.
- **Calabia, B.P et Tokiwaya, Y. (2004).** Microbial degradation of poly(n-3-hydroxybutyrate) by a new thermophilic *Streptomyces* isolate. *Biotechnology Letters*. Vol. 26. n°1. P.P.15- 19.
- **Chadou, M. (2023).** Contribution à la modélisation et l'optimisation de la synthèse des bioplastiques. Mémoire de master. Génie chimique. Ouargla: Université KASDI MERBAH. P. 14
- **Clément, G.** Spirulina a protein rich food algae, Conférence du Caire (1975). Institut Français du Pétrole, division applications, P.P.1-180.
- **Dianursanti, G., Gozan, M., & Noviasari, C. (2018).** The effect of glycerol addition as plasticizer in *Spirulina platensis* based bioplastic. *E3S Web of Conferences*, 67, Article 03048.
- **Dianursanti, D., Fauziyah, S., & Handayani, A. (2019).** Extraction and characterization of polyhydroxybutyrate (PHB) from *Spirulina platensis* using NaClO. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 509, 012027.
- **Daude, L. (2021).** L'utilisation des algues en pharmacie et parapharmacie UNIVERSITÉ CLERMONT AUVERGNE UFR DE PHARMACIE. P.P. 58-59
- **El Smary, N et al. (2022).** Applications of algae for environmental sustainability: Novel bioplastic formulation method from marine green alga. Vol. 9. n° 1047284. P. 04
- Ellen MacArthur Foundation. (2016). *The New Plastics Economy: Rethinking the Future of Plastics*
- **Ferreira, F. V. et al. (2019).** Porous nanocellulose gels and foams: Breakthrough status in the development of scaffolds for tissue engineering. *Materials Today*. vol.27, n°1, P.P 120–133.
- **Freinkel, S. (2011).** *Plastic: A Toxic Love Story*. Houghton Mifflin Harcourt
- Ganesh Kumar A., Anjana K., Hinduja M., Sujitha K., Dharani G. (2020). Review on plastic wastes in marine environment– Biodegradation and biotechnological solutions. *Marine Pollution Bulletin*, 150, 110733, P. 01
- **Getino, L., Martín, J. L., & Chamizo-Ampudia, A. (2024).** A review of polyhydroxyalkanoates: Characterization, production, and application from waste.

Références bibliographiques

Microorganismes. vol.12, n°10, P. 2028

Références bibliographiques

- **Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017).** Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*.vol.3, n° 7, e1700782
- **Ginting, M. H. S., Hasibuan, R., Lubis, M., Sirait, T. P., & Sidabudar, T. (2021).** Effect of Heating on Tensile Strength and Elongation at Break of Bioplastic from Taro Starch Filled Chitosan (*Colocasia esculenta*) with Glycerol Plasticizer. Department of Chemical Engineering, Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia. *Asian Journal of Chemistry*.
- **Girardin-Andréani C. (2005).** Spiruline : système sanguin, système immunitaire et cancer. *Phytothérapie*. P.P. 158-161.
- **Goulamabasse, T. (2018).** Spiruline : Effets thérapeutiques et lutte contre la malnutrition à Madagascar. Thèse d'exercice, Faculté de pharmacie de Lille. P.23
- **Gonzalez-Canche, N. et al (2018).** Evaluation of surface treatments on 5052-H32 aluminum alloy for enhancing the interfacial adhesion of thermoplastic-based fiber metal laminates. *International Journal of Adhesion and Adhesives*. vol. 82. P.P. 90–99
- **Gutiérrez-Salmeán G et al., (2015).** Nutritional and toxicological aspects of *Spirulina (Arthrospira)*. *Nutr. Hosp.* vol. 32. n°1. P.P. 34–40.
- **Greene, J. (2013).** PHA Biodegradable Blow-Molded Bottles: Compounding and Performance. *Plastics Engineering*. vol.69, P.P16-21.
- **Hopewell, J., Dvorak, R., & Kosior, E. (2009).** Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. vol.364, n°1526. P.P 2115–2126.
- **Hug, C., & von der Weid, D. (2011).** La spiruline dans la lutte contre la malnutrition : Bilan et perspectives. Fondation Antenna Technologies. Rue de Neuchâtel 29 - 1201 Genève (Suisse).
- **Institut Veolia. (2019).** L'HISTOIRE DES PLASTIQUES : DU CAPITOLE À LA ROCHE TARPÉIENNE. [En ligne]. Consulté le [10/05/2025]. Disponible sur le web : <https://www.institut.veolia.org/sites/g/files/dvc2551/files/document/2019/03/06%20L%20histoire%20des%20plastiques.%20Philippe%20Chalmin.pdf>
- **Jean-marie, Bard. (2018).** La spiruline, source de nutriments et aliment fonctionnel *Sciences des aliments* .vol.38, n°2, P.P 61–72
- **Khanna, S., & Srivastava, A. K. (2005).** Recent advances in microbial polyhydroxyalkanoates. *Process Biochemistry*. vol.40, n°2, P.P 607–619.
- **Kuhn, H., Medlin, D., (2000)** . Mechanical Testing of Polymers and Ceramics | Mechanical Testing and Evaluation|Handbooks ASM Digital Library.URL

Références bibliographiques

<https://dl.asminternational.org/handbooks/edited-volume/47/chapter>

[abstract/542008/Mechanical-Testing-of-Polymers-and-Ceramics](https://dl.asminternational.org/handbooks/edited-volume/47/chapter/abstract/542008/Mechanical-Testing-of-Polymers-and-Ceramics) (accessed 7.2.24).

- **Lackner, M., Mukherjee, A., Koller, M. (2023).** What are “ Bioplastics”? Defining Renewability, Biosynthesis, Biodegradability, and Biocompatibility. *Polymers*. vol.15, 4695.
- **Li, Zibiao ; Yang, Jing ; Loh, Xian Jun (2016).** Polyhydroxyalkanoates: opening doors for a sustainable future. *NPG Asia Materials*. vol.8, e265
- **Lithner, D., Larsson, Å., & Dave, G. (2011).** Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition. *Science of the Total Environment*. vol.409, n°18, P.P 3309–3324
- **Louvel, S. (2019).** La spiruline : Intérêts humanitaires et thérapeutiques. Thèse de doctorat. Sciences pharmaceutiques. Université d’Aix-Marseille – Faculté de Pharmacie. P.21
- **Maamri,S., & Haga,A. (2022).** Etude structurale de bioplastique fabriqué à partir de pomme de terre (FTIR-RDX). Mémoire de master. Sciences biologiques. EL-OUED: Université Echahid Hamma Lakhdar EL-OUED. P.12
- **Maamri,S., & Haga,A. (2022).** Etude structurale de bioplastique fabriqué à partir de pomme de terre (FTIR-RDX). Mémoire de master. Sciences biologiques. EL-OUED: Université Echahid Hamma Lakhdar EL-OUED. P.P. 15-16
- **Mallimanmadoy, E et al, (2017).** PCL and PCL-based materials in biomedical applications. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*. Vol. 28. n°18.
- **Mcadam, B et al ., (2020).** Production of Polyhydroxybutyrate (PHB) and Factors Impacting Its Chemical and Mechanical Characteristics. *Polymers*. Vol. 12. n°12. P.2908.
- **Meikle, J. L. (1995).** *American Plastic: A Cultural History*. Rutgers University Press
- **Mitra, R., Xiang, H., & Han, J. (2021).** *Current advances towards 4-hydroxybutyrate containing polyhydroxyalkanoates production for biomedical applications*. *Molecules* .vol.26 , n°23, P.7244
- **Morais, M. G. et al. (2021).** Spirulina-based bioplastics: Structural characterization and properties. *Bioresource Technology*. vol.342, n°B, .P 126024.
- **Morsy et al. (2025).** Bioplastic production from Spirulina: Impact of cultivation conditions and scale-up perspectives. *Journal of Applied Phycology*, 37, P.P.2245–2256.
- **Omar, A; E et al. (2022).** Advances in delivery methods of *Arthrospira platensis* (spirulina) for enhanced therapeutic outcomes. Vol.13. n° 21, P.P.14681-14718.

Références bibliographiques

- **PlasticsEurope, (2008).** The compelling facts about plastics, analysis of plastics production, demand and recovery for 2006 in Europe, January 2008. Belgium: PlasticsEurope
- **Proy, M. (2019).** La spiruline et son utilisation à l'officine. Thèse de doctorat. Sciences pharmaceutiques. Université de Picardie Jules verne. P.P 13-24
- **Rosato, D. V., & Rosato, D. V. (2004).** *Plastics Engineered Product Design*. Elsevier.
- **Shah, A. A., Hasan, F., Hameed, A., & Ahmed, S. (2008).** Biological degradation of plastics: A comprehensive review. *Biotechnology Advances*. vol.26, n°3), P.P 246–265.
- Shen, L., Haufe, J., & Patel, M. K. (2009). Product overview and market projection of emerging bio-based plastics. *PRO-BIP 2009*, Utrecht University
- **SHARMA L et MALLICK N. (2004).** Accumulation of poly- β -hydroxybutyrate in *Nostoc muscorum*: regulation by pH, light-dark cycles, N and P status and carbon sources. *Bioresource Technology*. Vol. 95 n°1. P.P.45–50.
- **Sguera, S. (2008).** *Spirulina platensis* et ses constituants : intérêts nutritionnels et activités thérapeutiques. Thèse de doctorat. Sciences pharmaceutiques. Nancy : Université Henri Poincaré- Nancy 1. P.44
- Shrivastava, A (2018). Introduction to Plastics Engineering. Elsevier
- **Spinola, M ; P et al. 2024.** Chemical composition, bioactivities and applications of spirulina (*Limnospira platensis*) in food, feed, and medicine. *Foods*, 13 : 3656, P. 4.
- **Strong, A. B. (2006).** *Plastics: Materials and Processing* (3rd ed.). Pearson Prentice Hall
- **Suderman, N., & Sarbon, N. M. (2020).** Optimization of chicken skin gelatin film production with different glycerol concentrations by response surface methodology (RSM) approach. *Journal of Food Science and Technology*, vol.57 ,n°2,P.P 463–472.
- **Sudesh et al. (2000).** Synthesis, structure and properties of polyhydroxyalkanoates: biological polyesters . vol 25, n°10, P.P 1503-1555
- **Thompson, R. C., Moore, C. J., vom Saal, F. S., & Swan, S. H. (2009).** Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. vol.364, n°1526, P.P 2153–2166.
- **Tokiwa, Y et., (2009)** Biodegradability of Plastics. *International Journal of Molecular Sciences*.Vol. 10. n°9. P.P. 3722–3742.
- **Tonuk, D., Shove, E., et Suchman, L. (2016).** Making bioplastics: An investigation of material-product relationships. Thèse de Doctorat. Département de sociologie. Angleterre: Lancaster University: P.8

Références bibliographiques

- **United Nations Environment Programme (UNEP). (2021).** *From Pollution to Solution: A Global Assessment of Marine Litter and Plastic Pollution*. Nairobi: UNEP.
- **Vian, A ; M. (2021).** Spiruline - Culture, production et applications. [En ligne]. Consulté le [23/03/2025]. Disponible sur : <https://www.techniques-ingenieur.fr/...>
- **Williams, D. F. (2008).** On the mechanisms of biocompatibility. *Biomaterials*. vol.29, n°20, P.P 2941–2953.
- **Wu, M et al. (2018)** Enhancement of transparent hydrogel sankan production in *Sphingomonas sanxaniigenens* NX02 via rational and random gene manipulation. *Carbohydrate Polymers*, 189 : P.P 210-217.
- **Yunizal, L et al. (2019).** The Effect of Calcium Carbonate Addition to Mechanical Properties of Bioplastic Made from Cassava Starch with Glycerol as Plasticizer. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. vol.546, n°5, P. 052082.
- **Zhen Yuan et Xiang-Rong Xu.(2023).** Chapter Six - Surface characteristics and biotoxicity of airborne microplastics. P.P 117-164

Annexes

BUSINESS MODEL CANVAS

Production du bioplastique à base de spiruline

Introduction

La pollution plastique est un problème environnemental majeur en Algérie. Chaque année, le pays consomme environ un million de tonnes de plastique, dont 60 % sont destinés à l'emballage. Ces déchets, souvent mal collectés ou abandonnés dans la nature, ont des conséquences directes sur les écosystèmes et la santé publique. Cette situation reflète une urgence environnementale croissante et met en évidence la nécessité de développer des alternatives locales, durables et respectueuses de l'environnement.

Face à cette situation, notre projet propose une alternative innovante et locale: un bioplastique fabriqué à partir de spiruline, une ressource naturelle cultivable en Algérie. Ce matériau, biodégradable, issu de sources renouvelables, et ne dépend pas du pétrole, offre une solution innovante pour remplacer les plastiques traditionnels, notamment dans le domaine de l'emballage.

Ce projet s'inscrit dans une démarche de développement durable, en lien avec les priorités nationales de transition écologique, et vise à encourager la fabrication de produits plus sains, issus de matières premières locales.

Premier axe: Présentation du projet

1. L'idée du projet

Notre projet s'inscrit dans le secteur industriel et biotechnologique. Il vise à produire une matière première innovante : un bioplastique biodégradable à base de spiruline, destiné aux entreprises algériennes des secteurs de l'emballage, agroalimentaire, cosmétique et pharmaceutique.

L'idée est née de la double problématique : la pollution massive par les plastiques pétro-sourcés et l'absence d'alternatives locales en matière de bioplastiques.

Nous avons développé un bioplastique brut, donc ce dernier est vendu tel quel, sans moulage, pour permettre aux entreprises clientes de l'adapter à leurs propres besoins.

Nous avons choisi le nom **AL Bioplast** pour notre startup, notre activité est enregistrée au Centre National du Commerce CNRC sous le code 104203. Ce code atteste de son activité : Fabrication de matières plastiques de base et de résines synthétiques.

AL Bioplast est une SARL, ce qui nous permet de combiner une structure légale stable avec une certaine souplesse de gestion adaptée aux jeunes entreprises innovantes.

Le logo



2. Les valeurs proposés

- Alternative biodégradable et non toxique pour l'environnement et la santé humaine.
- Production 100 % algérienne.
- Matière première adaptable, dont le produit est fourni sous forme brute que les clients peuvent modeler selon leurs propres besoins.
- Valorisation d'une ressource sous-exploitée.
- Adaptée aux normes futures, anticipe les futures régulations environnementales.

3. Équipe de travail

- **ALBANE Manel et LAKEHAL Bouchra Khouloud**, des ingénieures en biotechnologie marine, passionnées par l'innovation et la valorisation des ressources naturelles. Elles occupent ensemble le rôle de cheffes de projet

4. Objectif du projet

AL Bioplast s'engage à proposer une solution innovante et durable face à la problématique de la pollution plastique en Algérie. Afin d'assurer le développement progressif et structuré du projet, elle s'est fixé une série d'objectifs clairs à court, moyen et long terme, tant sur le plan technique qu'économique et environnemental.

- **Objectifs à court terme (0 – 1 an)**

Dans cette première phase, AL Bioplast vise à lancer officiellement son activité de production de bioplastique à base de spiruline. L'objectif principal

est de stabiliser le processus de fabrication à petite échelle et de proposer une matière première de qualité. Nous concentrons nos efforts sur la création de partenariats avec des entreprises intéressées par des solutions durables, tout en assurant les premières ventes pour générer un revenu de démarrage.

Parallèlement, nous travaillons sur la visibilité de notre marque à travers des supports de communication professionnels et une présence active dans les événements liés à l'innovation et à l'environnement.

- **Objectifs à moyen terme (1 – 3 ans)**

À moyen terme, AL Bioplast ambitionne de passer d'une production artisanale à une capacité semi-industrielle, grâce à l'installation d'une ligne de production optimisée. Cette étape permettra d'augmenter le volume de production, de répondre à la demande croissante et de réduire les coûts par unité. Nous visons également à élargir notre clientèle à d'autres secteurs comme l'agroalimentaire, la cosmétique ou les objets jetables. Sur le plan financier, l'objectif est d'atteindre une rentabilité stable, avec un chiffre d'affaires croissant permettant de couvrir l'ensemble des charges et de renforcer la viabilité du projet. Nous comptons également obtenir des certifications environnementales et techniques, renforçant ainsi la crédibilité de nos produits sur le marché national.

- **Objectifs à long terme (3 – 5 ans et plus)**

Sur le long terme, AL Bioplast souhaite devenir un acteur incontournable de la filière bioplastique en Algérie et au-delà. Nous prévoyons d'étendre notre unité de production à une échelle industrielle, capable de fournir plusieurs tonnes de matière première par mois. La diversification de notre gamme de bioplastiques fait également partie de nos priorités, afin de répondre aux besoins spécifiques de différents secteurs industriels. Nous aspirons à développer notre présence à l'international, en ciblant des marchés voisins comme la Tunisie, le Maroc ou d'autres pays africains sensibles aux enjeux écologiques. Enfin, notre ambition est de générer un chiffre d'affaires durable,

tout en maintenant notre engagement envers l'innovation, la qualité, et la transition écologique. À travers cette vision, AL Bioplast entend s'imposer comme une référence nationale dans le domaine des biomatériaux.

5. Calendrier de réalisation du projet

	Mois				
	1	2	3	4	5
Études préliminaires : analyse du marché, faisabilité technique, choix du local et business model			x		
Commande des équipements de laboratoire		x			
Préparation du siège de production				x	x
Installation des équipement	x	x			
Préparation du prototype			x	x	x

Deuxième axe: Les aspects innovants

Natures et domaines d'innovation:

- **Valorisation de ressources locales algériennes:** AL Bioplast innove en utilisant une ressource naturelle peu exploitée industriellement en Algérie, la spiruline, pour produire un bioplastique. Cette approche valorise une microalgue locale et durable, riche en polymères naturels, offrant une alternative verte au plastique classique.
- **Positionnement sur le marché du bioplastique brut:** alors que la majorité des projets se concentrent sur des produits finis (sacs, couverts, emballages), AL Bioplast se spécialise dans la **matière première**, permettant aux entreprises de créer elles-mêmes leurs produits.
- **Produit 100 % biodégradable et issu de ressources renouvelables:** le bioplastique d'AL Bioplast se dégrade naturellement, sans résidus toxiques. L'innovation réside dans la formulation naturelle du matériau, sans additifs synthétiques nocifs.

Troisième axe: Analyse stratégique du marché

1. Le segment du marché

- **Marché potentiel** : le bioplastique brut produit par AL Bioplast peut répondre aux besoins d'un large éventail d'industries. En effet, toute entreprise utilisant actuellement du plastique conventionnel pour l'emballage, ou n'importe quel objet en plastique peuvent aussi devenir des clients potentiels. Cela inclut les secteurs de l'agroalimentaire, de la cosmétique, de la pharmacie.
- **Marché cible**

AL Bioplast vise principalement deux types de clients :

- **Les Petites et Moyennes Entreprises**: qui ont besoin de matières plastiques en quantités modérées pour des produits spécifiques (emballages de produits artisanaux, emballages de cosmétiques naturels, packaging pour produits locaux).
- **Les grandes entreprises** : agroalimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques, qui utilisent d'importants volumes de plastique pour leurs emballages primaires et secondaires.

- **Raisons du choix de ce marché**

1. **Évolution réglementaire** : Même si l'Algérie n'a pas encore interdit le plastique à usage unique, les normes environnementales vont se renforcer dans les prochaines années, ce qui pousse les industriels à anticiper.
2. **Avantage concurrentiel local** : AL Bioplast propose une matière première produite en Algérie, réduisant les coûts logistiques et les dépendances à l'importation de bioplastiques étrangers (en future).

- **Objectif commercial initial**

Pour le démarrage de son activité, AL Bioplast vise à signer 3 à 5 contrats B2B avec des clients stratégiques dans les secteurs ciblés. L'objectif est de bâtir des relations solides avec des partenaires de confiance, de récolter des retours d'expérience sur le produit et de générer les premiers revenus commerciaux nécessaires à la montée en échelle de la production.

2. Mesure de la concurrence

Le marché algérien des matières plastiques est actuellement largement dominé par des entreprises spécialisées dans le plastique conventionnel, issu du pétrole. Ces acteurs sont bien implantés, disposent d'infrastructures de production solides et desservent plusieurs secteurs industriels, notamment l'agroalimentaire, la cosmétique, la pharmacie et l'agriculture.

Parmi les principaux concurrents présents sur le territoire, on peut citer :

- **SARL SAC BIO**, spécialisée dans la fabrication de sacs en papier kraft respectueux de l'environnement, qui sont fabriqués à partir de matières premières renouvelables et biodégradables.
- **All Plast Algeria**, situé à Akbou, fabrique divers types de contenants plastiques.
- **Transpolymères**, une entreprise algérienne majeure dans la transformation du plastique, proposant une gamme complète de films agricoles, de gaines électriques etc...
- **SALAH Plastique**, créée en 2014, SALAH Plast est une société spécialisée dans la fabrication d'emballages en plastique destinés aux professionnels et ce dans divers secteurs : Agro-alimentaires, chimie, pétro – chimie ...

Ces entreprises représentent une concurrence directe pour AL Bioplast, car elles s'adressent aux clients avec des solutions plastiques classiques, souvent moins coûteuses.

Cependant, leur activité repose sur des matières polluantes et non biodégradables, ce qui les rend vulnérables aux évolutions réglementaires et aux nouvelles attentes environnementales. De plus, très peu d'entre elles proposent des alternatives durables produites localement.

C'est précisément dans cette faille que s'insère AL Bioplast, en proposant un bioplastique brut, biodégradable et fabriqué à partir d'une ressource locale, offrant ainsi une solution plus respectueuse de l'environnement.

- **Forces des concurrents directs**

Les entreprises algériennes spécialisées dans le plastique disposent de capacités industrielles solides et d'un réseau de distribution bien structuré à l'échelle nationale. Elles répondent aux besoins de plusieurs secteurs, avec une offre large et des prix compétitifs grâce à la production en masse. Il est important de noter que SARL SAC BIO commence déjà à s'adapter aux nouvelles tendances en proposant des produits biodégradables, ce qui représente une forme de transition vers des alternatives plus durables, bien que cela ne concerne pas encore le bioplastique au sens strict.

- **Faiblesses des concurrents directs**

Malgré leur présence dominante sur le marché, la majorité de ces entreprises restent fortement dépendantes du plastique conventionnel, issu de ressources fossiles non renouvelables, et qui est polluant. Même si SARL SAC BIO introduit des produits biodégradables, ceux-ci ne sont pas issus de biomasse locale comme la spiruline, et ne couvrent pas tous les types d'emballages. Le manque d'innovation dans la production de véritables bioplastiques locaux laisse ainsi un espace favorable pour le développement d'une alternative comme AL Bioplast.

3. La stratégie marketing

Dans un marché algérien encore peu sensibilisé aux bioplastiques locaux, la stratégie marketing de **AL Bioplast** vise à positionner l'entreprise comme une référence nationale en

matière de bioplastique brut, biodégradable et produit à partir de spiruline. L'objectif est d'éduquer le marché sur les alternatives écologiques aux plastiques conventionnels.

La première phase de notre stratégie repose sur un marketing direct orienté B2B, en ciblant les petites, moyennes et grandes entreprises des secteurs agroalimentaire, cosmétique, et pharmaceutique. Ces entreprises seront contactées directement avec des échantillons de matière, des fiches techniques et des résultats de tests (comme la biodégradabilité ou l'élongation), dans le but de conclure des contrats pilotes avec 3 à 5 partenaires au démarrage.

→ **Produit**

Le produit proposé est une matière première bioplastique biosourcée à base de spiruline, prête à être moulée selon les besoins du client. Il se distingue par sa biodégradabilité, son origine 100 % algérienne, son adaptabilité aux applications industrielles (emballage, cosmétiques, agroalimentaire) et ses performances techniques validées (tests FTIR, allongement, compostabilité...).

→ **Prix**

Une stratégie de prix de pénétration modérée sera adoptée, avec un tarif compétitif d'environ **650DA/kg**, tout en valorisant le caractère local, écologique et adaptable du produit. Des prix dégressifs par volume ou des offres contractuelles seront proposés aux premiers clients pilotes.

→ **Place (Distribution)**

Le produit sera distribué via des canaux directs, principalement à travers des contrats B2B, des foires industrielles, ainsi que via un site web professionnel.

→ **Promotion (Communication)**

En parallèle, **AL Bioplast** développera une présence digitale professionnelle, principalement sur LinkedIn, en partageant du contenu éducatif sur les enjeux du

plastique, les innovations locales et les avantages des bioplastiques à base de spiruline. Un site web officiel présentera le produit, ses avantages environnementaux, les preuves techniques et les domaines d'application.

Notre stratégie inclut aussi une dimension institutionnelle, via la participation à des salons professionnels (environnement, innovation, industrie algérienne) et la création de partenariats publics (Fonds algérien des startups, Ministère de l'Environnement...).

Des outils promotionnels comme des échantillons « made in Algeria », des démonstrations de biodégradabilité ou des témoignages d'entreprises partenaires renforceront notre crédibilité.

Enfin, **AL Bioplast** mise sur une stratégie de différenciation claire : une matière première locale, adaptable, écologique et compétitive, livrée aux industriels avant moulage, leur offrant une grande flexibilité de transformation.

Notre ambition à court terme est de générer les premières ventes, créer une notoriété locale solide et préparer une montée en échelle de la production.

Quatrième axe: Plan de production et d'organisation

1. Le processus de production

- **Achat et réception de la spiruline en poudre**

Le processus commence par l'achat de la poudre de spiruline auprès de SARL K Marine, un fournisseur local. Cette spiruline est sélectionnée pour sa qualité, sa finesse et sa pureté. Une vérification visuelle et physique (couleur, texture, humidité) est réalisée à la réception pour garantir sa conformité.

- **Préparation de la formulation**

La spiruline en poudre est intégrée directement dans une formulation de bioplastique avec d'autres ingrédients naturels, ces composants sont pesés selon un dosage précis, puis mélangés pour former un liquide homogène.

- **Chauffage et moulage**

Le mélange obtenu est ensuite chauffé doucement, puis coulé dans des moules.

- **Séchage**

Les moules sont ensuite placés dans une étuve à basse température (40–50 °C) pour un séchage lent et contrôlé. Cette étape dure généralement 72 à 96 heures, selon l'épaisseur du produit.

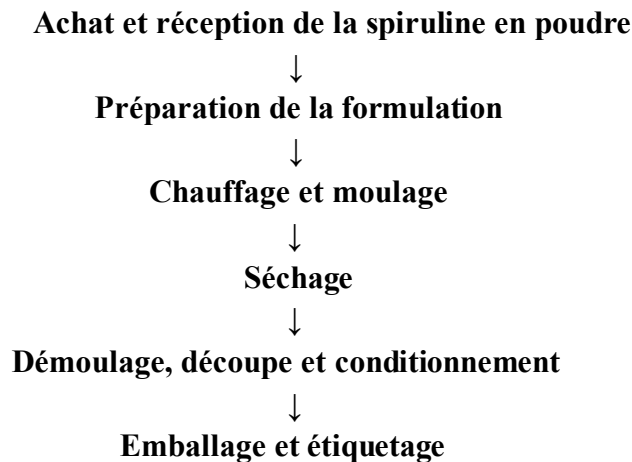
- **Démoulage, découpe et conditionnement**

Une fois séchés, les bioplastiques sont démoulés, pesés et triés selon les besoins du client (par lot de 500 g, 1 kg...).

- **Emballage et étiquetage**

Les produits finis sont emballés et étiquetés avec notre logo AL Bioplast, les ingrédients utilisés, la date de fabrication et les recommandations de stockage. Les produits sont ensuite stockés à l'abri de l'humidité en attendant la livraison.

→ Voici un schéma récapitulatif du processus de production



2. L'approvisionnement

Pour garantir la qualité et la continuité de la production de notre bioplastique brut, AL Bioplast s'appuie sur un réseau de fournisseurs algériens fiables, spécialisés dans les matières premières, les réactifs et les équipements nécessaires à la formulation et au conditionnement du produit.

- **SARL K Marine** est notre principal fournisseur de spiruline en poudre, cultivée localement dans des conditions optimales. Cette spiruline est livrée en sacs hermétiques, prête à être utilisée dans nos formulations.
- **WORLD LAB Algérie** nous fournit les plastifiants naturels nécessaires à la flexibilité du bioplastique, notamment le glycérol et d'autres produits comme la gélatine.
- **Microbiotech Algérie**, notre fournisseur spécialisé dans l'équipement de laboratoire.

3. Main d'œuvre

Dans la phase de lancement du projet AL Bioplast, l'équipe sera constituée d'un personnel réduit, polyvalent et qualifié, capable d'assurer les différentes fonctions nécessaires à la production et au développement du projet.

L'équipe de base comprendra :

- **Deux ingénieures en biotechnologie marine (cheffes de projet) :**
Responsables de la formulation du bioplastique, de la gestion de la qualité, ainsi que de l'organisation générale du travail et des relations avec les partenaires et fournisseurs.
- **Un technicien de laboratoire**
Assiste les cheffes de projet dans la préparation et la fabrication du bioplastique. Il s'occupe du pesage des matières premières, du mélange des ingrédients, du suivi des températures de séchage, ainsi que du nettoyage du matériel. Il veille à ce que chaque étape de production soit réalisée correctement, dans des conditions d'hygiène et de sécurité adaptées.
- **Un commercial**
Il sera chargé de la prospection d'entreprises, de la présentation du produit, de la vente B2B, et du suivi des relations clients. Ce profil est essentiel pour développer le réseau de clients industriels et signer les premiers contrats.
- **Femme de ménage**
En charge de l'entretien régulier du local, elle garantit des conditions de propreté et d'hygiène conformes aux exigences du travail en laboratoire.

Cette équipe permet d'assurer un fonctionnement efficace et professionnel, avec une structure légère et maîtrisable au démarrage. Des recrutements supplémentaires pourront être envisagés à moyen terme selon l'évolution de l'activité.

4. Les principaux partenaires:

Pour assurer la réussite et la croissance de notre projet, nous avons identifié plusieurs partenaires clés intervenant à différents niveaux du processus, allant de l'approvisionnement en matière première jusqu'au soutien financier :

→ **Incubateur de l'Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et l'Aménagement du Littoral ENSSMAL**

[Blue start](#)

- **Fourniture de matière première – Spiruline en poudre**

Ces partenaires assurent la disponibilité régulière et locale de spiruline de qualité, élément central de notre bioplastique :

→ SARL K Marine.

- Ferme Al Kiram.
- Spirulina Algérie SARL.

- **Fourniture de produits et d'équipements de laboratoire**

Ils nous approvisionnent en plastifiants, gélifiants, verrerie et matériel technique pour la fabrication du bioplastique :

- WORLD LAB Algérie.
- BIOSPHERE LAB.
- Microbiotech Algérie.

- **Financement**

Partenaire potentiel pour le financement du démarrage et l'accompagnement bancaire :

- Al Salam Bank.

Analyse SWOT

Strengths	Weaknesses
Produit innovant et écologique. Matière première locale. Production 100 % algérienne (réduction d'importation). Flexibilité du produit (peut être moulé par les clients selon leurs besoins). Produit compatible avec différentes industries (emballage, cosmétique, agroalimentaire).	Coût de production élevé. Prix du bioplastique plus élevé que le plastique classique Manque de notoriété sur le marché.
Opportunities	Threats
Demande croissante mondiale et nationale en produits durables. Intérêt des entreprises pour améliorer leur image écologique. Possibilité d'exporter vers pays voisins en manque de solutions écologiques.	Résistance des entreprises algériennes à adopter un nouveau matériau. Faible pouvoir d'achat de certaines industries locales. Concurrence avec des prix plus bas (bioplastique à base d'amidon).

Analyse PESTEL

Facteur	
Politique	Soutien de l'État à l'innovation (arrêté 1275).
Économique	La hausse des coûts du pétrole favorise les alternatives.
Socioculturel	Sensibilisation croissante à l'écologie.
Technologique	Le besoin d'innovation en transformation des biomatériaux.
Écologique	Réduction de la pollution plastique.
Légal	Absence de norme stricte sur les bioplastique.

Cinquième axe: Plan financier

Investissements et financements

Projet : *AL bioplast*
 Porteur de projet : *ALBANE manel LAKEHAL bouchra khouloud*

INVESTISSEMENTS	Montant € hors taxes
Immobilisation	150,00
<i>Frais d'établiss</i>	<i>150,00</i>
<i>Frais d'ouvert.</i>	
<i>Logiciels, form.</i>	
<i>Dépôt marque</i>	
<i>Droits d'entrée</i>	
<i>Achat fonds de</i>	
<i>Droit au bail</i>	
<i>Caution ou dép</i>	
<i>Frais de dossie</i>	
<i>Frais de notair</i>	
Immobilisation	1 800,00
<i>Enseigne et élé.</i>	
<i>Achat immobili</i>	
<i>Travaux et amé</i>	<i>250,00</i>
<i>Matériel</i>	<i>1 300,00</i>
<i>Matériel de bu</i>	<i>250,00</i>
Stock de matières et produits	1 300,00
Trésorerie de départ	1 500,00
TOTAL BESOINS	4 750,00
FINANCEMENT DES INVESTISSEMENTS	Montant € hors taxes
Apport person	250,00
<i>Apport personn</i>	<i>250,00</i>
<i>Apports en nat</i>	<i>0,00</i>
Emprunt	0,00
<i>Prêt bancaire</i>	<i>0,00</i>
<i>Prêt bancaire</i>	<i>0,00</i>
	<i>0,00</i>
Subvention	4 500,00
	0,00
Autre financer	
TOTAL RESSOURCES	4 750,00

Salaires et charges sociales

Projet : *AL bioplast*
Porteur de projet : *ALBANE manel LAKEHAL bouchra khouloud*

Statut juridique : SARL (IS)
Bénéfice de l'Accre : Non
Statut social du (des) dirigeant(s) : Travailleur non salarié

	Année 1	Année 2	Année 3
Rémunération du (des) dirigeants	2 200,00	2 800,00	3 200,00
<i>% augmentation</i>		<i>27%</i>	<i>14%</i>
Charges sociales du (des) dirigeant(s)	1 103,00	1 260,00	1 440,00
Salaires des employés	1 800,00	2 300,00	2 800,00
<i>% augmentation</i>		<i>28%</i>	<i>22%</i>
Charges sociales employés	1 296,00	1 656,00	2 016,00

Détail des amortissements

	Année 1	Année 2	Année 3
Amortissements incorporels	30,00	30,00	30,00
<i>Frais d'établiss</i>	<i>30,00</i>	<i>30,00</i>	<i>30,00</i>
<i>Logiciels, form</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>
<i>Droits d'entrée</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>
<i>Frais de dossie</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>
<i>Frais de notain</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>
Amortissements corporels	360,00	360,00	360,00
<i>Enseigne et élé</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>
<i>Achat immobili</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>
<i>Travaux et amé</i>	<i>50,00</i>	<i>50,00</i>	<i>50,00</i>
<i>Matériel</i>	<i>260,00</i>	<i>260,00</i>	<i>260,00</i>
<i>Matériel de bur</i>	<i>50,00</i>	<i>50,00</i>	<i>50,00</i>
Total amortissements	390,00	390,00	390,00

Compte de résultats prévisionnel sur 3 ans

Projet : *AL bioplast*
 Porteur de projet : *ALBANE manel LAKEHAL bouchra khouloud*

	Année 1	Année 2	Année 3
Produits d'exploitation	37 440,00	42 307,20	49 922,50
<i>Chiffre d'affaire</i>	<i>37 440,00</i>	<i>42 307,20</i>	<i>49 922,50</i>
<i>Chiffre d'affaire</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>
Charges d'exploitation	22 464,00	25 384,32	29 953,50
<i>Achats consom.</i>	<i>22 464,00</i>	<i>25 384,32</i>	<i>29 953,50</i>
Marge brute	14 976,00	16 922,88	19 969,00
Charges externes	2 970,00	3 650,00	3 890,00
<i>Assurances</i>	<i>150,00</i>	<i>190,00</i>	<i>270,00</i>
<i>Téléphone, inte</i>	<i>40,00</i>	<i>40,00</i>	<i>40,00</i>
<i>Autres abonnen</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>
<i>Carburant, tra</i>	<i>700,00</i>	<i>900,00</i>	<i>900,00</i>
<i>Frais de déplac</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>
<i>Eau, électricité</i>	<i>400,00</i>	<i>800,00</i>	<i>900,00</i>
<i>Mutuelle</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>
<i>Fournitures div</i>	<i>100,00</i>	<i>120,00</i>	<i>150,00</i>
<i>Entretien matér</i>	<i>80,00</i>	<i>100,00</i>	<i>130,00</i>
<i>Nettoyage des l</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>
<i>Budget publicit</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>
<i>Loyer et charges locatives</i>	<i>1 500,00</i>	<i>1 500,00</i>	<i>1 500,00</i>
<i>Expert comptable, avocats</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>
	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>
	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>
	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>
Valeur ajoutée	12 006,00	13 272,88	16 079,00
Impôts et taxe:	0,00	0,00	0,00
Salaires emplo	1 800,00	2 300,00	2 800,00
Charges sociale	1 296,00	1 656,00	2 016,00
Prélèvement d	2 200,00	2 800,00	3 200,00
Charges sociale	1 103,00	1 260,00	1 440,00
Excédent brut d'exploitation	5 607,00	5 256,88	6 623,00
Frais bancaires, charges financières	0,00	0,00	0,00
Dotations aux amortissements	390,00	390,00	390,00
Résultat avant impôts	5 217,00	4 866,88	6 233,00
Impôt sur les s	782,55	730,03	934,95
Résultat net comptable (résultat de l'exercice)	4 434,45	4 136,85	5 298,05

Soldes intermédiaires de gestion

Projet : *AL bioplast*
 Porteur de projet : *ALBANE manel LAKEHAL bouchra khouloud*

	Année 1	%	Année 2	%	Année 3	%
Chiffre d'affaires	37 440,00	100%	42 307,20	100%	49 922,50	100%
Ventes + autre	37 440,00	100%	42 307,20	100%	49 922,50	100%
Achats conso	22 464,00	60%	25 384,32	60%	29 953,50	60%
Marge globale	14 976,00	40%	16 922,88	40%	19 969,00	40%
Charges exteri	2 970,00	8%	3 650,00	9%	3 890,00	8%
Valeur ajoutée	12 006,00	32%	13 272,88	31%	16 079,00	32%
Impôts et taxes	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%
Charges de personnel	6 399,00	17%	8 016,00	19%	9 456,00	19%
Excédent brut d'exploitation	5 607,00	15%	5 256,88	12%	6 623,00	13%
Dotation aux a	390,00	1%	390,00	1%	390,00	1%
Résultat d'exploitation	5 217,00	14%	4 866,88	12%	6 233,00	12%
Charges financières	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%
Résultat financier	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%
Résultat courant	5 217,00	14%	4 866,88	12%	6 233,00	12%
Résultat de l'exercice	4 434,45	12%	4 136,85	10%	5 298,05	11%
Capacité d'autofinancement	4 824,45	13%	4 526,85	11%	5 688,05	11%

Capacité d'autofinancement

	Année 1	Année 2	Année 3
Résultat de l'exercice	4 434,45	4 136,85	5 298,05
+ Dotation aux amortissements	390,00	390,00	390,00
Capacité d'autofinancement	4 824,45	4 526,85	5 688,05
- Remboursem	0,00	0,00	0,00
Autofinancement net	4 824,45	4 526,85	5 688,05

Seuil de rentabilité économique

Projet : *AL bioplast*
Porteur de projet : *ALBANE manel LAKEHAL bouchra khouloud*

	Année 1	Année 2	Année 3
Ventes + Autres services	37 440,00	42 307,20	49 922,50
Achats consom	22 464,00	25 384,32	29 953,50
Total des coûts	22 464,00	25 384,32	29 953,50
Marge sur coût:	14 976,00	16 922,88	19 969,00
Taux de marge sur coûts variables	40%	40%	40%
Coûts fixes	9 759,00	12 056,00	13 736,00
Total des charges	32 223,00	37 440,32	43 689,50
Résultat couran	5 217,00	4 866,88	6 233,00
Seuil de rentabilité (chiffre d'affaires)	24 397,50	30 140,00	34 340,00
Excédent / insu	13 042,50	12 167,20	15 582,50
<i>Point mort en chiffre d'affaires par jour ouvré</i>	<i>97,59</i>	<i>120,56</i>	<i>137,36</i>

Besoin en fonds de roulement

Analyse clients / fournisseurs :

		délagi jours	Année 1	Année 2	Année 3
Besoins					
Volume crédit c	30		3 077,26	3 477,30	4 103,22
Ressources					
Volume dettes fournisseurs HT	60		3 692,71	4 172,76	4 923,86
Besoin en fonds de roulement			- 615,45	- 695,46	- 820,64

Plan de financement à trois ans

Projet : *AL bioplast*
Porteur de projet : *ALBANE manel LAKEHAL bouchra khouloud*

	Année 1	Année 2	Année 3
Immobilisations	1 950,00		
Acquisition des	1 300,00		
Variation du Be	- 615,45	- 80,01	- 125,18
Remboursemen	0,00	0,00	0,00
Total des besoins	2 634,55	- 80,01	- 125,18
Apport personn	250,00		
Emprunts	0,00		
Subventions	4 500,00		
Autres financer			
Capacité d'auto	4 824,45	4 526,85	5 688,05
Total des ressources	9 574,45	4 526,85	5 688,05
Variation de tré	6 939,90	4 606,86	5 813,23
Excédent de trésorerie	6 939,90	11 546,76	17 359,99

Rappel trésorerie début année 1 : 1 500,00

Budget prévisionnel de trésorerie

Projet : *AL bioplast*
 Porteur de projet : *ALBANE manel LAKEHAL bouchra khouloud*

Hors TVA

Première année

	Mois 1	Mois 2	Mois 3	Mois 4	Mois 5
Apport personnel	250,00				
Emprunts	0,00				
Subventions	4 500,00				
Autres financer					
Ventes	3 120,00	3 120,00	3 120,00	3 120,00	3 120,00
Ventes autres sc	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Chiffre d'affaires (total)	3 120,00	3 120,00	3 120,00	3 120,00	3 120,00
Immobilisation	150,00				
Immobilisation	1 800,00				
Immobilisations (total)	1 950,00				
Acquisition sto	1 300,00				
Échéances emp	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Achats de marc	1 872,00	1 872,00	1 872,00	1 872,00	1 872,00
Charges extern	247,50	247,50	247,50	247,50	247,50
Impôts et taxes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Salaires employés	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00
Charges sociale	108,00	108,00	108,00	108,00	108,00
Prélèvement dii	183,33	183,33	183,33	183,33	183,33
Charges sociale	91,92	91,92	91,92	91,92	91,92
Total charges de personnel	533,25	533,25	533,25	533,25	533,25
Frais bancaires, charges financières	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total des décaissements	5 902,75	2 652,75	2 652,75	2 652,75	2 652,75
Total des encaissements	7 870,00	3 120,00	3 120,00	3 120,00	3 120,00
Solde précédent	0,00	1 967,25	2 434,50	2 901,75	3 369,00
Solde du mois	1 967,25	467,25	467,25	467,25	467,25
Solde de trésorerie (cumul)	1 967,25	2 434,50	2 901,75	3 369,00	3 836,25

Budget prévisionnel de trésorerie (suite)

Projet : *AL bioplast*
 Porteur de projet : *ALBANE manel LAKEHAL bouchra khouloud*

Hors TVA

Mois 6	Mois 7	Mois 8	Mois 9	Mois 10	Mois 11	Mois 12	TOTAL
							250,00
							0,00
							4 500,00
							0,00
3 120,00	3 120,00	3 120,00	3 120,00	3 120,00	3 120,00	3 120,00	37 440,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3 120,00	3 120,00	3 120,00	3 120,00	3 120,00	3 120,00	3 120,00	37 440,00
							150,00
							1 800,00
							1 950,00
							1 300,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 872,00	1 872,00	1 872,00	1 872,00	1 872,00	1 872,00	1 872,00	22 464,00
247,50	247,50	247,50	247,50	247,50	247,50	247,50	2 970,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	1 800,00
108,00	108,00	108,00	108,00	108,00	108,00	108,00	1 296,00
183,33	183,33	183,33	183,33	183,33	183,33	183,33	2 200,00
91,92	91,92	91,92	91,92	91,92	91,92	91,92	1 103,00
533,25	533,25	533,25	533,25	533,25	533,25	533,25	6 399,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 652,75	2 652,75	2 652,75	2 652,75	2 652,75	2 652,75	2 652,75	35 083,00
3 120,00	3 120,00	3 120,00	3 120,00	3 120,00	3 120,00	3 120,00	42 190,00
3 836,25	4 303,50	4 770,75	5 238,00	5 705,25	6 172,50	6 639,75	
467,25	467,25	467,25	467,25	467,25	467,25	467,25	
4 303,50	4 770,75	5 238,00	5 705,25	6 172,50	6 639,75	7 107,00	

Donc:

Totale des coûts : 7 720 000 DZD

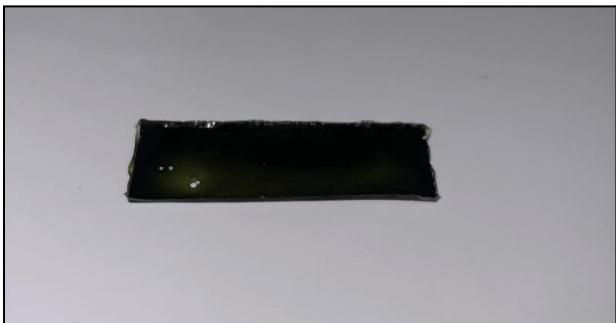
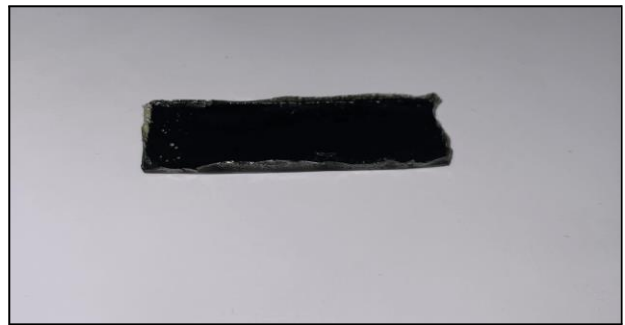
Totale Revenu : 24 570 000 DZD

Bénéfice : 5 298 050 DZD

Sixième axe: prototype expérimental

Nous avons réalisé un prototype de bioplastique écologique, formulé à base de spiruline, une microalgue naturellement riche en composés fonctionnels. Ce prototype a été développé dans le cadre de notre projet de production de bioplastique biodégradable sous forme de matière première prête à l'emploi.

Ce prototype se présente sous une forme homogène, facilement manipulable et conditionné pour une utilisation technique.



Business Model Canvas

Partenaires clés SARL K Marine. Ferme Al Kiram. Spirulina Algérie SARL. WORLD LAB Algérie. BIOSPHERE LAB. Microbiotech Algérie. Al Salam Bank. Incubateur de l'école Blue start.	Activités clés Formulation du bioplastique. Contrôle qualité (FTIR, biodégradabilité, etc.). Commercialisation B2B. Gestion administrative et logistique : facturation, livraison, gestion de stock.	Propositions de valeur Bioplastique local, biodégradable et écologique. Alternative durable au plastique conventionnel. Produit prêt à être moulé selon les besoins du client.	Relations clients Service après-vente (suivi, ajustement de formulation si besoin). Promotion première commande. Formules de fidélité B2B (remise).	Segments de clients Industries agroalimentaires (emballages alimentaires). Cosmétiques (pots, tubes biodégradables). Pharmaceutiques (blisters, capsules végétales).
	Ressources clés Matière première: poudre de spiruline. Équipement pour la formulation. Personnel qualifié (Biotechnologiste, technicien de laboratoire, commercial). Local industriel.		Canaux de distribution Vente directe B2B. Participation à des salons, foires. Contact via site web professionnel.	
Coûts		Source de revenus		

<p>Totale des coûts : 7 720 000 DZD</p> <p>Totale Revenu : 24 570 000 DZD</p> <p>Bénéfice : 5 298 050 DZD</p>	<p>Vente directe de bioplastique brut.</p> <p>Formulation personnalisée.</p> <p>Contrats à moyen ou long terme avec clients industriels.</p>
---	--