

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة البحث العلمي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

لمدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur et master en science de la mer

Spécialité : Biotechnologie marine

Thème :

**Production d'un Bio Fertilisant à partir d'algue brune**

***Sargassum sp***

Présenté par :

**ABDELGHAFOUR Imene**

**BENABDALLAH Habiba**

Soutenu le 02/07/2025 devant le jury suivant :

Mme. MEKRAN.Z	MCA	ENSSMAL	Présidente
Mme. OUAFI.L	MAA	ENSSMAL	Promotrice
Mme. MERRAD.A	MCA	ENSSMAL	Co-promotrice
Mme. CHAOU.N	MAA	ENSSMAL	Examineur

Années universitaires : 2024 /2025

# REMERCIEMENTS

À l'issue de ce projet de fin d'études, nous souhaitons exprimer nos remerciements les plus sincères à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à sa réalisation.

Nous adressons nos plus vifs remerciements à Madame **Ouafi Leila** et Madame **Merrad Anissa**, encadrantes de ce travail, pour leur disponibilité, la rigueur de leur accompagnement, ainsi que pour la qualité de leurs conseils tout au long de ce projet. Leur implication a été déterminante pour l'aboutissement de cette étude.

Nous exprimons également notre gratitude à Madame **Mekran**, présidente du jury, et à Madame **Chaou**, examinatrice, pour l'intérêt qu'elles ont porté à notre travail, ainsi que pour leurs remarques pertinentes et enrichissantes.

Nos remerciements vont également à l'ensemble de l'équipe du laboratoire, pour leur accueil chaleureux, leur encadrement technique et leur collaboration précieuse. Nous tenons à remercier particulièrement Madame **Gueroumi Houda**, ingénieure de laboratoire, pour son soutien, sa disponibilité et son assistance précieuse lors des manipulations expérimentales.

Nous souhaitons adresser une mention spéciale à Madame **Grib Imene** et Madame **Mekdahi Selma**, pour leur aide précieuse dans l'identification de l'espèce étudiée.

Nous tenons également à remercier Monsieur **Hennan Mohamed** et Monsieur **Hadj Aïssa Ayoub** pour leur coaching et leur encadrement bienveillant tout au long de la formation BMC. Leur disponibilité, leurs conseils pratiques et leur soutien ont été très appréciés et ont grandement contribué à notre évolution professionnelle.

Nous exprimons notre reconnaissance à l'ensemble du corps enseignant et aux intervenants de l'ENSSMAL, et plus spécifiquement à ceux du département de Biotechnologie Marine, pour la qualité des enseignements dispensés tout au long de notre formation, ainsi que pour leur accompagnement pédagogique constant.

Enfin, nous adressons nos remerciements les plus sincères à nos familles et à nos proches, pour leur soutien indéfectible, leur compréhension et leurs encouragements tout au long de ce parcours.

Réaliser ce projet en binôme a été une expérience marquante, fondée sur l'entraide, l'échange de connaissances et une collaboration constructive. Ce travail représente pour nous une étape significative de notre parcours académique et professionnel.

## DÉDICACE

Je dédie ce mémoire à mon père, **Djamel**, pour son soutien inébranlable, sa patience et ses encouragements constants tout au long de mon parcours.

À ma mère, **Naima Matem**, pour son amour infini, ses sacrifices et sa présence rassurante à mes côtés.

À ma grand-mère **Chérifa Adjaou**, pour son affection, ses prières et son soutien précieux qui m'ont toujours donné de la force.

À mon grand-père **Mekrane Matem**, pour son souvenir précieux et son inspiration.

À mes frères, **Nadjib, Adem et Zakaria**, pour leur gentillesse, leur aide et leur présence bienveillante.

À mes amies proches, **Sara, Romaïssa et Yasmine**, pour leur soutien, leur écoute et leur amitié sincère.

À ma binôme **Habiba Benabdallah**, pour sa collaboration précieuse, son engagement tout au long de ce travail, et les efforts partagés avec détermination.

À mes camarades de l'ENSSMAL, pour les moments de partage et de solidarité qui ont enrichi ces années d'étude.

Un remerciement tout particulier à **Yasmine, Nour El Houda, Hiba, Maroua et Achwaq**, pour leur aide précieuse, leur amitié fidèle et leur bonne humeur.

Enfin, merci à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail

*Imene*

## DÉDICACE

Je dédie ce mémoire à mon père, **Hassen**, pour son soutien constant, ses sacrifices silencieux et sa présence rassurante à chaque étape de mon parcours.

À ma mère, **Faiza**, source d'amour inconditionnel, de tendresse et d'encouragements quotidiens.

À mes frères, **Moatassim bellah**, **Walide** et **Noufel**, pour leur affection, et leur motivation précieuse.

À ma famille dans son ensemble, pour leur bienveillance, leurs prières et leur appui indéfectible

À mes amis et camarades de route : **Romaisse**, **Maroua**, **Achwaq**, **Yasmine**, **Nour El Houda** et **Hiba** pour leur soutien constant, leur précieuse motivation tout au long de cette aventure académique. Et pour les encouragements, l'entraide et les souvenirs partagés qui ont enrichi cette étape de ma vie.

Ce mémoire est le reflet d'un chemin parcouru ensemble, et je vous en suis profondément reconnaissante.

Habiba

Résumé :

Notre travail porte sur la production d'un biofertilisant qui constitue une alternative écologique et durable aux engrais chimiques, en contribuant à la préservation des sols, à la réduction de la pollution et à la valorisation des ressources naturelles locales. Il s'inscrit dans une démarche de valorisation de l'algue brune *Sargassum vulgare* en tant que matière première, disponible en abondance sur les côtes. Des analyses physico-chimiques ont permis de mettre en évidence sa richesse en éléments nutritifs essentiels (N, P, K, matière minérale). Des essais agronomiques menés sur *Capsicum annuum* ont été réalisés afin d'évaluer l'effet de ce biofertilisant sur la croissance des plantes, en mesurant des paramètres comme la hauteur, le nombre de feuilles et la longueur des tiges. Les résultats obtenus confirment le potentiel agronomique de cette biomasse marine, tout en soulignant la nécessité d'optimiser les doses d'application pour maximiser son efficacité, une concentration de 15 % ayant donné les meilleurs résultats de croissance.

Créé avec  
Officesuite

## **Abstract:**

Our work focuses on the production of a biofertilizer that serves as an ecological and sustainable alternative to chemical fertilizers, contributing to soil preservation, pollution reduction, and the valorization of local natural resources. It is part of an initiative to valorize the brown seaweed *Sargassum vulgare* as a raw material, which is abundantly available along coastal areas. Physico-chemical analyses revealed its richness in essential nutrients (N, P, K, and mineral matter). Agronomic trials conducted on *Capsicum annuum* were carried out to assess the effect of this biofertilizer on plant growth, by measuring parameters such as height, number of leaves, and stem length. The results confirmed the agronomic potential of this marine biomass, while highlighting the need to optimize application rates, with a 15% concentration providing the best growth results.

Créé avec  
OfficeSuite

## ملخص

يركز عملنا على إنتاج سماد حيوي يُعدّ بديلاً بيئياً ومستداماً للأسمدة الكيميائية، مما يساهم في الحفاظ على التربة، والحد من التلوث، وتأمين الموارد الطبيعية المحلية. ويأتي ذلك في إطار مبادرة تهدف إلى تثمين الطحلب البني *Sargassum vulgare* كمادة أولية متوفرة بكثرة على السواحل. وقد كشفت التحاليل الفيزيائية والكيميائية عن غناه بالعناصر الغذائية الأساسية (النيتروجين، الفوسفور، البوتاسيوم، والمواد المعدنية). كما تم إجراء تجارب زراعية على *Capsicum annuum* لتقييم تأثير هذا السماد الحيوي على نمو النباتات، من خلال قياس معايير مثل الطول، وعدد الأوراق، وطول الساق. وأكدت النتائج الإمكانيات الزراعية لهذه الكتلة الحيوية البحرية، مع الإشارة إلى ضرورة تحسين جرعات الاستخدام، حيث أعطت تركيزات 15٪ أفضل نتائج للنمو.

Créé avec  
OfficeSuite

## Tables des matières :

### Résumés

### Tables des matières

Liste des tableaux.....10

Listes de figures.....11

### Généralité

Introduction :.....2

I. Définition des algues marines :.....4

II. Classification des algues.....4

1. Chlorophycées (Algue verte).....4

2. Phaeophyceae (algue brune).....5

3. Rhodophycées (Algue rouge).....5

4. Cyanobactéries (algues bleues).....5

III. Le genre *Sargassum* Présentation générale.....6

1. Répartition écologique du genre *Sargassum* :.....6

2. Morphologie générale :.....7

3. Cycle de vie et reproduction :.....8

4. Composition physico-chimique de genre *sargassum* .....9

5. L'utilisation biotechnologique du genre *Sargassum*.....11

### Fertilisation

I. Définition de fertilisation .....14

II. La fertilisation chimique.....14

1. L'impact de la fertilisation chimique sur l'environnement.....14

III. biofertilisant.....15

1. Classification des biofertilisants.....15

1.1. Biofertilisant d'origine animale .....16

1.2. Biofertilisant d'origine végétale.....16

1.3. Biofertilisant à base de champignon.....17

1.4. Biofertilisant à base de bactérie.....17

2. Mode d'utilisation.....18

2.1. Biofertilisants liquides.....18

2.2. Biofertilisant solide.....18

3. Les avantages et les inconvénients .....	19
1. Les avantages.....	19
2. Les inconvénients .....	20
4. Intérêts des fertilisants à base d'algue marine en Agriculture.....	20

#### Matériel et méthode

1. Le but de travail.....	23
2. Matériel et produit .....	23
3. Présentation de région de récolte.....	24
4. Identification de l'espèce <i>Sargassum vulgare</i> .....	24
5. Préparation des échantillons .....	25
6. Préparation de l'extrait liquide d'algue.....	26
7. Préparation des dilutions.....	27
8. Préparation des pots (préparation d'échantillon végétale).....	28
8.1. Préparation du sol.....	28
8.2. Préparation et Remplissage des Pots.....	28
8.3. Repiquage des plants.....	29
8.4. Étiquetage des pots.....	29
8.5. Disposition des pots .....	29
9. Essais agronomique.....	30
11. Analyse physicochimique.....	31
11.1. Détermination du taux d'humidité et de la teneur en matière minérale .....	31
11.2. Détermination de la teneur d'azote totale.....	32
11.3. Dosage du phosphore total .....	34

#### Résultat et discussion

1. Caractérisation de l'extrait liquide.....	37
2. Teneurs d'algue en composants physicochimique.....	37
3. Interprétation globale des teneurs composants physicochimique de <i>Sargassum vulgare</i> .....	38
4. Interprétation des effets du biofertilisant sur la croissance du piment en fonction des doses utilisées.....	39
Conclusion.....	43

#### Annexe

## Liste des tableaux :

**Tableau 1** : Classification des sargasses dans l'arbre du vivant (Guiry & Guiry, 2024)

**Tableau 2** : La composition physico-chimique de l'espèce *sargassum vulgare*

**Tableau 3** : Matériel et produits chimiques utilisés

**Tableau 4** : résultat les analyse biochimique

Créé avec  
OfficeSuite

## Listes de figures :

**Figure 01 :** morphologie générale de *Sargassum*

**Figure 02 :** Cycle de vie de *Sargassum* (reproduction végétative et sexuée)

**Figure 03 :** L'usage des engrais chimiques : une menace silencieuse pour L'agriculteur et son environnement

**Figure 4 :** La plage de kouali

**Figure 5 :** situation géographique de plage kouali (Google, 2025)

**Figure 6 :** espace de *sargassum vulgare*

**Figure 7 :** Lavage d'algue

**Figure 8 :** Séchage d'algue a l'air libre

**Figure 9 :** Séchage des algues dans l'étuve

**Figure 10 :** Tamisage des algues broyées

**Figure 11 :** Préparation de mélange algue-eau distillée

**Figure 12 :** Filtration de mélange

**Figure 13 :** Centrifugation de l'extrait algale

**Figure 14 :** L'extrait centrifugé

**Figure 15 :** Les étapes de préparation des délutions

**Figure 16 :** Produit finale

**Figure 17 :** Stérilisation de sol à l'étuve

**Figure 18 :** Préparation des pots

**Figure 19 :** Le repiquage des plants de piment en pots

**Figure 20 :** Étiquetage des pots expérimentaux

**Figure 21 :** Disposition des pots (T (0) : témoin négative ; T(01) traitement de 15% ; T(02) traitement de 25%)

**Figure 22 :** Calcination de l'échantillon dans un four à moufle

**Figure 23 :** Minéralisation Kjeldahl de l'échantillon

**Figure 24 :** Système de distillation de l'échantillon dans la méthode de Kjeldahl

**Figure 25 :** Titrage acido-basique de l'ammoniac

**Figure 26 :** Analyseur automatique de type AutoAnalyzer SAN+ (Skalar, 1998)

**Figure 27 :** étape de préparation de l'échantillon

**Figure 28 :** extrait liquide d'algue *Sargassum vulgare*

**Figure 29 :** Graphique en barres représentant les moyennes marginales estimées du nombre de feuilles selon le traitement appliqués (témoin, dose 15 %, dose 25 %)

**Figure 30 :** Graphique en barres représentant les moyennes marginales estimées de la hauteur des plants selon les traitements appliqués (témoin, dose 15 %, dose 25 %).

**Figure 31 :** Graphique en barres représentant les moyennes marginales estimées de la largeur de tige des plantes selon les traitements appliqués (témoin, dose 15 %, dose 25 %)

# **Introduction**

## Introduction :

Au cours des dernières décennies, l'agriculture intensive s'est imposée comme le principal modèle de production pour répondre aux besoins alimentaires d'une population mondiale en constante croissance. Toutefois, ce modèle repose largement sur l'usage massif d'intrants chimiques, notamment les engrais synthétiques, dont les effets négatifs sur l'environnement deviennent de plus en plus préoccupants. En effet, cette dépendance excessive contribue à la dégradation des sols, à la diminution de leur fertilité naturelle et à une altération profonde des écosystèmes agricoles (Savci, 2012).

L'usage intensif d'engrais chimiques entraîne l'accumulation de substances toxiques dans les sols et les eaux, provoquant la pollution des nappes, la salinisation des terres et un déséquilibre de la microflore du sol. Ces effets nuisent également à la santé humaine, en raison de la présence de résidus dans les aliments et dans l'eau (Tilman et al, 2002). D'où la nécessité d'adopter des pratiques agricoles plus durables et qui préservent l'environnement

Les algues marines, en particulier, représentent une ressource naturelle aux multiples applications biotechnologiques. Elles sont reconnues pour leur richesse en composés bioactifs tels que les polysaccharides, les minéraux, les acides aminés et les phytohormones (Holdt & Kraan, 2011). Grâce à cette composition, elles sont capables de stimuler la croissance des plantes, d'améliorer la structure et la fertilité des sols, et de renforcer la résistance des cultures aux stress environnementaux. L'utilisation d'extraits d'algues en agriculture est ainsi considérée comme une alternative écologique et prometteuse aux fertilisants de synthèse (Khan et al, 2009).

Dans ce contexte, les algues du genre *Sargassum* présentent un intérêt particulier. Leur composition biochimique leur confère un fort potentiel en agriculture, notamment en tant que biostimulants naturels capables d'améliorer la croissance végétale et la tolérance au stress (Khan et al, 2009).

Parmi les différentes voies de valorisation envisageables, la production de biofertilisants à base de *Sargassum* apparaît comme une solution particulièrement prometteuse. Elle permet à la fois de recycler cette ressource marine surabondante et de renforcer les performances agricoles de manière naturelle. Plusieurs études ont montré que les extraits d'algues favorisent la germination, stimulent la croissance des plantes, améliorent leur résistance aux stress abiotiques et augmentent les rendements agricoles (Craigie, 2011). En outre, l'incorporation de matière algale dans les sols contribue à l'amélioration de leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques, favorisant ainsi leur santé globale (Bruno et al, 2007). L'ensemble de ces effets converge vers une réduction significative de l'usage des engrais chimiques, et s'inscrit pleinement dans une logique d'agriculture durable.

Le présent travail s'inscrit dans cette perspective. Il a pour objectif principal la production d'un biofertilisant à base d'algues du genre *Sargassum*, récoltées dans une zone côtière spécifique. L'étude comprend l'identification des principaux composants chimiques de cette biomasse, l'élaboration d'une méthode d'extraction appropriée, ainsi que l'évaluation de l'efficacité du produit obtenu sur une culture locale : le piment (*Capsicum annuum*)

# Généralité

## I. Définition des algues marines :

Le terme "algue" a été introduit pour la première fois par Linnaeus en 1753, lors de la création de la nomenclature binomiale (Linnaeus, 1753). Par la suite, c'est A. L. de Jussieu (1789) qui a élaboré une classification des plantes en distinguant les algues des autres groupes végétaux (Jussieu, 1789).

Les algues sont des organismes photosynthétiques principalement aquatiques, Leur corps végétatif varie de formes unicellulaires à des structures pluricellulaires, sans vaisseaux conducteurs et avec une différenciation limitée en tissus spécialisés. Pour cette raison, on les classe parmi les thallophytes, c'est-à-dire des plantes dépourvues de vraies racines, tiges et feuilles (Bold & Wynne, 1985).

Les algues présentent une diversité morphologique remarquable, allant des formes unicellulaires microscopiques (environ 1  $\mu\text{m}$ ) jusqu'à des espèces macroscopiques marines (Lobban & Harrison, 1994).

La richesse biochimique des algues, notamment en pigments, polysaccharides, minéraux et antioxydants, renforce leur rôle stratégique dans de nombreux domaines d'application, allant de l'alimentation et l'agriculture à la cosmétique et la pharmacologie (Holdt & Kraan, 2011 ; Plaza et al., 2008).

## II. Classification des algues :

En générale les algues regroupent quatre groupes qui sont différenciés par rapport à la couleur, chaque groupe contient des classes, et chaque class contient des centaines d'espèces (Lee, 2008).

### 1. Chlorophycées (Algue verte) :

Les algues vertes, regroupées dans la division Chlorophyta, comptent entre 9 000 et 12 000 espèces (Hoek et al, 1995). Elles possèdent les mêmes pigments que les plantes supérieures, notamment les chlorophylles a et b, ainsi que des caroténoïdes (carotène et xanthophylle), en proportions similaires (Graham et al, 2009).

Les algues vertes jouent un rôle important dans les écosystèmes aquatiques en produisant de l'oxygène par photosynthèse et en servant de nourriture à de nombreux organismes (Lobban & Harrison, 1994). Ces algues peuvent être unicellulaires, coloniales ou multicellulaires, et elles vivent dans des milieux aquatiques (eau douce ou salée), mais aussi sur des sols humides ou des rochers (Bold & Wynne, 1985). Certaines espèces sont également utilisées dans l'alimentation, les cosmétiques ou la production de biocarburants (Holdt & Kraan, 2011).

## 2. Phaeophyceae (algue brune) :

Les Phaeophyceae, ou algues brunes, sont des organismes eucaryotes marins multicellulaires appartenant au groupe des Stramenopiles, largement répandus dans les zones tempérées et froides (Barsanti & Gualtieri, 2014). Elles se caractérisent par une pigmentation brune spécifique, résultant de la présence du pigment fucoxanthine, qui masque la chlorophylle (Lobban & Harrison, 1994). Dotées d'un thalle différencié, composé d'un stipe, d'une lame et parfois de flotteurs, elles colonisent principalement les eaux froides et tempérées, où elles jouent un rôle écologique majeur dans les écosystèmes côtiers (Lee, 2008). Sur le plan biochimique, les algues brunes sont une source importante de composés bioactifs tels que l'alginate, la laminarine et la fucoïdane, qui suscitent un intérêt croissant dans divers secteurs industriels, notamment ceux de la cosmétique, de l'agroalimentaire et de la biotechnologie (Holdt & Kraan, 2011).

## 3. Rhodophycées (Algue rouge) :

Les algues rouges, appartenant à la division Rhodophyta, regroupent environ 6 000 espèces, Principalement marines et souvent attachées à d'autres plantes du littoral (Hoek et *al*, 1995). Leur morphologie est variée, incluant des thalles filamenteux, ramifiés, plumeux ou en forme de feuille (Bold & Wynne, 1985).

Elles se caractérisent par la présence de pigments accessoires, principalement la phycoérythrine, qui leur donne leur couleur rouge caractéristique en masquant la chlorophylle (Graham et *al*, 2009). Les algues rouges jouent un rôle écologique essentiel dans les environnements marins et constituent une ressource importante pour diverses industries, notamment l'agroalimentaire et la cosmétique (Plaza et *al*, 2008).

## 4. Cyanobactéries (algues bleues) :

Les algues bleues, plus correctement désignées sous le nom de cyanobactéries, constituent un groupe de micro-organismes photosynthétiques procaryotes appartenant au domaine des Bactéries (Whitton & Potts, 2000). Leur pigmentation bleu-vert est due à la présence de phycocyanine, un pigment photosynthétique qui s'ajoute à la chlorophylle a (Castenholz, 2001).

Les cyanobactéries sont présentes dans une grande variété de milieux, marins comme dulçaquicoles, et certaines espèces sont capables de fixer l'azote atmosphérique, contribuant ainsi à la fertilité des écosystèmes aquatiques (Capone et *al*, 1997). En raison de leur production de métabolites secondaires et de protéines bioactives, elles suscitent un intérêt croissant dans les domaines de la biotechnologie, de la pharmacologie et de la production d'agents nutritifs ou bioénergétiques (Singh et *al*, 2016).

### III. Le genre *Sargassum* Présentation générale :

Le genre *Sargassum*, appartenant à la classe des Phaeophyceae (algues brunes), a été décrit pour la première fois par C. Agardh en 1820 (Agardh, 1820). Il constitue l'un des genres les plus diversifiés de l'ordre des Fucales, avec plus de 200 espèces réparties à l'échelle mondiale (Guiry & Guiry, 2024). Certaines d'entre elles présentent un intérêt économique important, en particulier dans les domaines agroalimentaire, cosmétique et pharmaceutique (Bourgougnon, 2011). Ces dernières années, l'intérêt pour *Sargassum* s'est également accru dans le cadre de la valorisation environnementale, notamment pour la production de bioproduits tels que les biofertilisants, les biostimulants ou les biomatériaux (Ramos et al, 2018).

Dans son environnement naturel, cette algue forme un écosystème spécifique servant d'abri et de source de nourriture pour divers organismes marins tels que les poissons, les crabes, les crevettes et les tortues (Wang et al, 2019). La prolifération de ces algues dans les zones côtières est favorisée par plusieurs facteurs, notamment l'élévation de la température de l'eau, l'enrichissement en nutriments, ainsi que les courants marins et les vents (Smetacek & Zingone, 2013).

**Tableau 1** : Classification des sargasses dans l'arbre du vivant (Guiry & Guiry, 2024)

Catégorie	Classification
Domaine	Eucaryota
Règne	Chromista
Embranchement	Heterokontophyta
Sous-embranchement	Ochrophytina
Classe	Phaeophyceae
Sous-classe	Fucophycidae
Ordre	Fucales
Famille	Sargassaceae
Genre	<i>Sargassum</i>

#### 1. Répartition écologique du genre *Sargassum* :

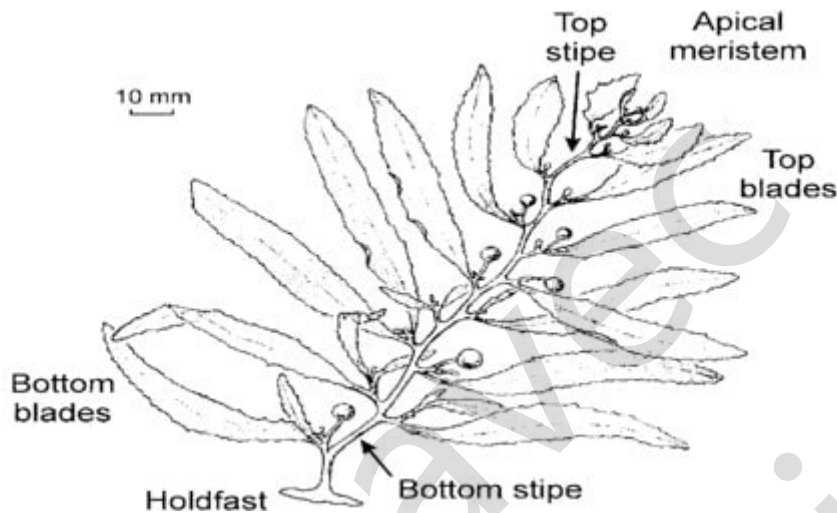
Le genre *Sargassum* est largement distribué à travers les océans tropicaux et subtropicaux, occupant des habitats variés, allant des côtes rocheuses jusqu'aux zones pélagiques (Critchley et al, 2018). Certaines espèces, comme *Sargassum muticum*, ont une distribution naturellement étendue, tandis que d'autres, comme *S. natans* et *S. fluitans*, évoluent principalement en pleine mer, formant d'immenses radeaux flottants (Guiry & Guiry, 2024).

Ces espèces sont particulièrement abondantes dans l'océan Atlantique, l'océan Indien et le Pacifique tropical, ainsi que dans les mers marginales comme la mer de Chine ou les Caraïbes (Franks et al, 2016). Leur expansion est influencée par des facteurs tels que les courants marins, la température de l'eau, la disponibilité en nutriments et l'intensité lumineuse (Guiry & Guiry, 2024).

Depuis la dernière décennie, des proliférations massives de *Sargassum*, notamment *S. natans* et *S. fluitans*, ont été observées dans plusieurs régions, notamment sur les côtes d'Afrique de l'Ouest et de l'Amérique centrale, causant des impacts écologiques et socio-économiques importants (Wang et al, 2019). Ces épisodes sont souvent associés à des déséquilibres environnementaux liés au changement climatique et aux activités humaines (Chung et al, 2021).

## 2. Morphologie générale :

Le genre *Sargassum* est considéré comme l'un des plus avancés morphologiquement parmi les algues brunes de l'ordre des Fucales (Yoshida, 1983). Il présente une structure complexe composée d'un organe de fixation, d'un ou plusieurs axes principaux persistants et de ramifications secondaires organisées selon plusieurs ordres (Mattoo & Payri, 2010).



Le thalle peut varier de court et compact dans les milieux agités, ou atteindre plus de deux mètres de long dans les zones calmes (Stiger & Payri, 1999). À sa base, le crampon (organe de fixation) prend différentes formes discoïde, conique ou rhizoïdale sans toutefois pénétrer le substrat (Chapman & Chapman, 1980).

Les axes principaux, généralement courts et cylindriques (parfois aplatis), montrent des cicatrices laissées par la chute de rameaux secondaires (Mattoo & Payri, 2010). Ces rameaux, disposés de manière distique ou alternée, peuvent parfois ramper et émettre des crampons secondaires, assurant une fixation supplémentaire, un peu comme des stolons chez les plantes terrestres (Stiger & Payri, 1999).

Les "feuilles" ou structures foliacées affichent une grande diversité : elles peuvent être simples ou lobées, avec des bords lisses ou dentés (Yoshida, 1983). La nervure centrale, bien marquée ou discrète, ne dépasse pas toujours l'extrémité de la feuille (Yoshida, 1983). On observe aussi des cryptostomates (petites cavités pilifères) répartis de manière variable sur leur surface (Chapman & Chapman, 1980).

La flottabilité du thalle est assurée par des vésicules aérifères remplies de gaz, portées par un pédoncule dont la forme varie selon les espèces (Mattoo & Payri, 2010). La reproduction s'effectue au niveau de structures appelées réceptacles, qui peuvent être solitaires ou groupés, simples ou ramifiés (Chapman & Chapman, 1980 ; Yoshida, 1983). Certains sont associés à des vésicules ou à des feuilles modifiées. La forme des réceptacles (lancéolée, linéaire, lisse ou épineuse) dépend de l'espèce (Yoshida, 1983). Un dimorphisme sexuel est souvent visible : les structures mâles sont plus allongées, tandis que les structures femelles sont plus trapues (Yoshida, 1983). Parfois, la différence morphologique s'étend à l'ensemble du thalle (Stiger & Payri, 1999).

## 3. Cycle de vie et reproduction :

Les espèces du genre *Sargassum* sont des algues brunes principalement pérennes. Selon Feldmann (1937), elles peuvent être des hémicryptophytes, où seule la base de fixation survit entre les saisons, ou des hémiphanérophites, où les axes principaux et certains rameaux persistent aussi. Le reste de la plante se régénère chaque année à partir de ces parties durables.

Le cycle de vie de *Sargassum* est haplodiplontique digénétique, alternant entre phases haploïde et diploïde (Yoshida, 1983). Les individus adultes, diploïdes ( $2n$ ), correspondent à la phase sporophytique. Ils peuvent être monoïques (deux sexes sur un même individu) ou dioïques (sexes séparés) (Chapman & Chapman, 1980). La reproduction sexuée se fait dans des réceptacles, qui contiennent des conceptacles abritant les anthéridies (gamètes mâles) et/ou les oogones (gamètes femelles) (Chapman & Chapman, 1973).

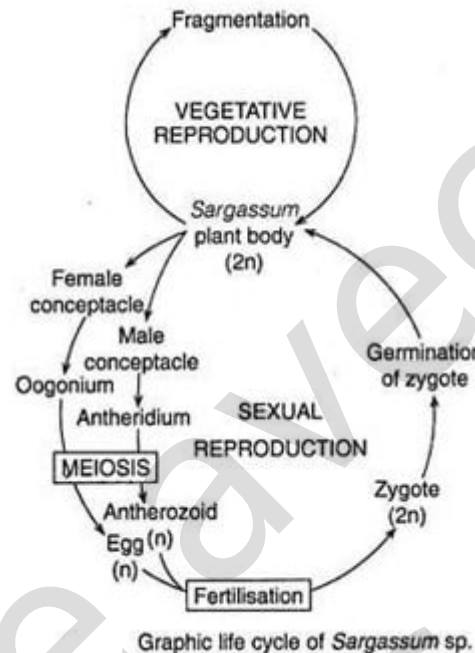
Dans les conceptacles femelles, plusieurs oogones sont formées. Chaque oogone subit une série de divisions nucléaires pour produire huit oosphères haploïdes, mais une seule d'entre elles est généralement fécondée, les autres dégénéralent rapidement (Chapman & Chapman, 1973). Les anthéridies, quant à elles, génèrent des anthérozoïdes biflagellés (environ 64 par anthéridie) qui sont libérés dans l'eau de mer. Ces gamètes mâles nagent activement en direction des oosphères, guidés par des signaux chimiques qu'elles émettent (Brawley & Johnson, 1992 ; Maier et al, 1992 ; Maier & Clayton, 1993).

Après la fécondation, les zygotes se développent à la surface des réceptacles (Yoshida, 1983). Ils germent pour produire des jeunes thalles équipés de multiples rhizoïdes (entre 8 et 16), leur permettant de s'ancrer sur des substrats durs proches du parent (Stiger & Payri, 1999a, 1999b).

Dans les conceptacles femelles, plusieurs oogones produisent chacune huit oosphères haploïdes, mais une seule est généralement fécondée (Chapman & Chapman, 1973). Les anthéridies produisent environ 64 anthérozoïdes biflagellés qui nagent vers les oosphères grâce à des signaux chimiques (Maier et al. 1992).

Après fécondation, les zygotes se développent sur les réceptacles et germent en jeunes thalles munis de rhizoïdes pour s'ancrer sur des substrats proches du parent (Yoshida, 1983 ; Stiger & Payri, 1999a).

Une reproduction végétative, plus rare, est observée chez certaines espèces. *Sargassum stolonifolium* forme des rameaux rampants portant des crampons secondaires qui génèrent de nouveaux thalles (Kilar & McLachlan, 1986). *Sargassum natans*, typique de la Mer des Sargasses, se multiplie par fragmentation, où des morceaux du thalle détachés donnent naissance à de nouveaux individus (Butler et al, 1983).



**Figure 02 :** Cycle de vie de *Sargassum* (reproduction végétative et sexuée)

#### 4. Composition physico-chimique de genre *sargassum* :

Les espèces du genre *Sargassum*, appartenant aux algues brunes (Phaeophyceae), sont largement étudiées pour leur richesse en composés bioactifs et en éléments nutritifs. Elles sont particulièrement connues pour leur teneur élevée en polysaccharides sulfatés, tels que les alginates, les fucoïdanes et la laminarine, qui présentent des propriétés intéressantes en agriculture, notamment comme biostimulants (Zubia et al, 2009). Ces macromolécules jouent un rôle dans la rétention d'eau, la structuration des sols et la stimulation des défenses naturelles des plantes (Craigie, 2011).

Sur le plan minéral, *Sargassum* contient des concentrations significatives de macro-éléments tels que le potassium (K), le calcium (Ca), le magnésium (Mg) et le sodium (Na), ainsi que des oligo-éléments essentiels comme le fer (Fe), le zinc (Zn) et le cuivre (Cu) (Sivasankari et al, 2006 ; MacArtain et al., 2007). Elle renferme également des composés phénoliques et des pigments (caroténoïdes, chlorophylles, fucoxanthine) reconnus pour leur activité antioxydante (Rupérez, 2002).

Par ailleurs, la composition chimique de ces algues peut varier en fonction de divers facteurs, notamment l'espèce, la zone de collecte, la période de récolte et les conditions environnementales

locales (Fleurence, 1999 ; Wong & Cheung, 2001). Cette variabilité souligne l'importance de caractériser chaque échantillon selon son origine pour une valorisation ciblée.

Dans le cadre de la présente étude, l'espèce *Sargassum vulgare* a été retenue en raison de sa disponibilité sur les côtes algériennes et de sa richesse reconnue en composés bioactifs. Sa composition physico-chimique, représentative des potentialités agronomiques de ce genre, est résumée dans le tableau suivant :

**Tableau 2 :** La composition physico-chimique de l'espèce *sargassum vulgare*

Composant	Teneur moyenne (mg/g MS)	Références principales
<b>Protéines</b>	70 – 150	Seham et al. (2021), Mansour et al. (2020)
<b>Azote total (N)</b>	12 – 25	Ragonese et al. (2014), FAO (2003)
<b>Phosphore (P)</b>	0.8 – 3	Lahaye (1991), FAO (2003)
<b>Potassium (K)</b>	25 – 42	FAO (2003), Seham et al. (2021)
<b>Calcium (Ca)</b>	10 – 25	Lahaye (1991), Mansour et al. (2020)
<b>Magnésium (Mg)</b>	5 – 12	Zubia et al. (2009), Lahaye (1991)
<b>Sodium (Na)</b>	20 – 45	Lahaye (1991), FAO (2003)
<b>Fer (Fe)</b>	0.15 – 0.5	Seham et al. (2021), Ragonese et al. (2014)
<b>Zinc (Zn)</b>	0.02 – 0.08	FAO (2003), Seham et al. (2021)
<b>Cuivre (Cu)</b>	0.005 – 0.02	Ragonese et al. (2014)
<b>Manganèse (Mn)</b>	0.05 – 0.2	Lahaye (1991), Seham et al. (2021)
<b>Matière organique (MO)</b>	700 – 850	Mansour et al. (2020), Lahaye (1991)
<b>Cendres (totales)</b>	150 – 300	Lahaye (1991), FAO (2003)

## 5. L'utilisation biotechnologique du genre *Sargassum* :

Grâce à sa richesse en composés bioactifs (Wijesinghe & Jeon, 2012), sa structure complexe (Mattoo & Payri, 2010) et sa large disponibilité (Milledge & Harvey, 2016), le genre *Sargassum* suscite un intérêt croissant dans plusieurs domaines biotechnologiques. Sa valorisation offre des solutions innovantes dans des secteurs clés tels que la cosmétique, la pharmacie, l'environnement, l'agriculture et la production d'énergie renouvelable (El Boukhari et al, 2020). Les recherches actuelles visent à optimiser l'exploitation durable de cette ressource marine en développant des procédés adaptés à ses propriétés uniques (Wijesekara et al, 2011).

### 3.1. Cosmétique et pharmaceutique :

Grâce à sa composition riche en substances bioactives telles que les polyphénols, les alginates ou encore le fucoïdane, *Sargassum* suscite un intérêt croissant dans les domaines des soins de la peau et de la santé (Wijesinghe & Jeon, 2012). Ces composés sont reconnus pour leur capacité à neutraliser les radicaux libres, réduire l'inflammation et inhiber la croissance de

micro-organismes (Li et *al*, 2008 ; Wang et *al*, 2012). En cosmétique, ils sont intégrés dans des formulations destinées à hydrater la peau, renforcer sa barrière protectrice et ralentir le vieillissement cutané (Mekky et *al*, 2018). Du côté pharmaceutique, ces mêmes molécules sont étudiées pour leurs effets immun modulateurs, leur potentiel antiviral ainsi que leur activité anticancéreuse, notamment dans les pathologies inflammatoires chroniques (Wijesinghe & Jeon, 2012 ; Fitton, 2011).

### **3.2. Environnement :**

Les résidus issus du traitement de *Sargassum* peuvent être valorisés comme matériaux biosorbants, en raison de la présence de groupes fonctionnels tels que les hydroxyles, carboxyles et sulfonates (Figueira et *al*, 2020). Ces groupements chimiques permettent de fixer efficacement certains métaux lourds, notamment le plomb, le cadmium ou le cuivre (Romera et *al*, 2007 ; Wang & Chen, 2009). Ainsi, cette biomasse se révèle utile pour la dépollution des eaux usées, en particulier dans les effluents industriels (Figueira et *al*, 2020). Cette méthode, en plus de répondre à un enjeu environnemental, offre une solution de recyclage durable pour les sous-produits algaux (Chojnacka, 2010).

### **3.3. Production de bioénergie :**

La biomasse de *Sargassum* contient plusieurs glucides fermentescibles, comme le mannitol, la laminarine ou les alginates, qui peuvent être transformés en carburants biologiques (Milledge & Harvey, 2016). Après hydrolyse enzymatique, ces sucres sont convertis en méthane ou en bioéthanol grâce à l'action de micro-organismes spécifiques (John et *al*, 2011 ; Adams et *al*, 2011) Selon Milledge et Harvey (2016), cette valorisation énergétique du *Sargassum* permet non seulement de générer une source d'énergie renouvelable, mais contribue également à atténuer les impacts environnementaux liés aux accumulations massives sur les côtes.

### **3.4. Agriculture :**

L'utilisation de *Sargassum* sous forme d'extraits liquides ou de biomasse compostée peut stimuler la croissance des plantes (Khan et *al*, 2009 ; El Boukhari et *al*, 2020). Ces extraits agissent comme biostimulants en améliorant la résistance des cultures face aux stress abiotiques tels que la sécheresse ou la salinité (Battacharyya et *al*, 2015). Cette action est attribuée à la présence de régulateurs de croissance naturels, notamment des auxines, des gibbérellines et des cytokinines (Craigie, 2011). En plus de cet effet physiologique, l'ajout de biomasse au sol contribue à enrichir sa structure, à retenir l'humidité et à favoriser la biodiversité microbienne (El Boukhari et *al*, 2020 ; Di Bella et *al*, 2017).

# **Fertilisation**

## I. Définition de fertilisation :

La fertilisation est l'ensemble des techniques agricoles consistant à apporter à un milieu de culture, tel que le sol, les éléments minéraux nécessaires (matières fertilisantes) au développement des plantes. Elle vise à créer ou à maintenir un milieu physique et chimique favorable à la nutrition des végétaux, tout en améliorant la qualité et la quantité des productions agricoles (Zidane, 1989 ; Schvartz et *al*, 2005).

Selon Schvartz et al. (2005), la fertilisation consiste à fournir au sol les éléments indispensables à l'alimentation des plantes, dans l'objectif d'obtenir le meilleur rendement possible, avec une qualité optimale et à moindre coût. Ce même auteur souligne également que, dans une optique d'agriculture durable, la fertilisation doit intégrer la préservation de la fertilité des sols ainsi que la protection de l'environnement (Schvartz et *al*, 2005).

## II. La fertilisation chimique :

Les engrais chimiques, aussi appelés engrais minéraux, sont fabriqués industriellement à partir de matières premières telles que le gaz naturel, le pétrole ou les roches phosphatées. Ils contiennent des nutriments essentiels à la croissance des plantes, notamment l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K), ainsi que parfois des éléments secondaires comme le calcium ou le soufre (FAO, 2021). Ces engrais sont conçus pour être rapidement assimilés par les plantes, ce qui en fait des outils privilégiés de l'agriculture intensive pour augmenter les rendements à court terme (FAO, 2021).

### 1. L'impact de la fertilisation chimique sur l'environnement :

L'usage excessif d'engrais chimiques, notamment les composés azotés et phosphatés, peut avoir de graves conséquences environnementales. Le lessivage des nitrates vers les nappes phréatiques est une source majeure de pollution des eaux souterraines (FAO, 2005). Ce phénomène contribue aussi à l'eutrophisation des milieux aquatiques, provoquant une prolifération excessive d'algues et une diminution de l'oxygène dissous, au détriment de la faune aquatique (Carpenter et al, 1998).

De plus, une fertilisation chimique excessive entraîne une dégradation du sol et un déséquilibre de la microflore. L'accumulation de produits chimiques dans le sol à long terme, réduisant leur productivité et contaminant les terres agricoles, constitue une menace silencieuse pour l'agriculteur et son environnement.



**Figure 3:** L'usage des engrais chimiques : une menace silencieuse pour l'agriculteur et son environnement

Enfin, la production industrielle d'engrais azotés est énergivore et génère des émissions importantes de gaz à effet de serre, comme le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O), un gaz dont le pouvoir de réchauffement est 300 fois supérieur à celui du CO<sub>2</sub> (IPCC, 2021).

### III. biofertilisant :

Le terme biofertilisant est interprété de manière variable selon les contextes scientifiques et agricoles (El-Ghamry et *al*, 2018). Il peut désigner une large gamme de produits d'origine biologique ou organique : extraits d'algues marines, composts de déchets urbains, formulations microbiennes à la composition parfois partiellement connue (Malusá et Vassilev, 2014), ou encore engrais minéraux enrichis en composés organiques (Bhardwaj et *al*, 2014).

Selon Vessey (2003), un biofertilisant est « une substance contenant des micro-organismes vivants qui, lorsqu'ils sont appliqués sur les surfaces des plantes, les semences ou le sol, colonisent la rhizosphère ou l'intérieur de la plante et favorisent sa croissance en augmentant l'apport ou la disponibilité des nutriments essentiels pour la plante hôte ».

Une autre définition est proposée par Fuentes-Ramirez et Caballero-Mellado (2005), qui considèrent les biofertilisants comme « des produits contenant des micro-organismes vivants qui exercent des effets bénéfiques, directs ou indirects, sur la croissance des plantes et les rendements agricoles, par divers mécanismes ». Cette définition englobe également certains produits agissant contre les agents pathogènes des plantes, bien qu'ils soient généralement classés comme biopesticides (Martínez-Viveros et al, 2010).

En résumé, d'un point de vue scientifique, un biofertilisant correspond à un micro-organisme possédant des propriétés favorables à la croissance végétale (Adesemoye et *al*, 2009). Toutefois, en agriculture, le terme désigne souvent un produit complet contenant des souches microbiennes sélectionnées, associées à un support leur assurant stabilité et efficacité lors de leur application au sol ou sur les cultures. Certains de ces produits peuvent aussi inclure des substances qui stimulent l'activité des micro-organismes (Vessey, 2003 ; Bhattacharyya et Jha, 2012).

#### 1. Classification des biofertilisants :

Les biofertilisants sont classés en fonction de divers critères tels que l'origine et la nature des ressources utilisées pour leur fabrication, leur fonction, leur utilisation ou type d'effets observés.

### **a.1. Biofertilisant d'origine animale :**

Les biofertilisants issus de matières animales sont des amendements organiques dérivés du fumier, du lisier, du guano, ainsi que de sous-produits d'abattoirs (farines de sang, d'os, de plumes, etc.). Riches en nutriments essentiels tels que l'azote, le phosphore, le potassium et le calcium, ils améliorent la fertilité des sols en enrichissant leur teneur en matière organique, en favorisant leur structure et en stimulant l'activité microbienne (Mäder et al., 2002 ; Aguilera, Guzmán & Osorio, 2013). Dans une approche agroécologique, ils permettent le recyclage durable des déchets animaux tout en réduisant le recours aux engrais chimiques (Bünemann, Schwenke & Van Zwieten, 2018).

#### **a) Fumier de ferme :**

Le fumier de ferme résulte du mélange entre les déjections animales et la litière, ayant subi une fermentation naturelle plus ou moins avancée. Sa composition varie selon plusieurs facteurs : espèce animale, alimentation, âge, production, et nature de la litière utilisée. Les fumiers les plus riches sont, dans l'ordre, ceux de volaille, de cheval, d'ovins et de porcins (Al Hassani & Persoon, 1994 ; Doucet, 2001). Grâce à sa teneur élevée en matière organique et en minéraux, il peut être appliqué à divers types de sols et cultures, contribuant ainsi à la durabilité des systèmes agricoles (Gérald et al, 2011).

#### **b) Biofertilisant à base de déchets de poisson :**

Les biofertilisants élaborés à partir de déchets de poisson représentent une valorisation efficace des sous-produits de la pêche ou de l'industrie de transformation (tels que les têtes, arêtes, peaux et viscères). Ces matières organiques sont traitées par fermentation, hydrolyse enzymatique ou compostage, ce qui permet d'obtenir un engrais riche en nutriments essentiels : azote, phosphore, potassium, acides aminés et oligo-éléments (Kumar et al, 2017). L'application de ces produits organiques améliore la structure du sol, stimule la croissance des plantes et favorise une gestion durable des ressources. Ce type de biofertilisant s'inscrit pleinement dans une logique d'économie circulaire, en réduisant le gaspillage et en valorisant les résidus animaux (Singh & Singh, 2018 ; Lavorgna et al, 2019).

### **a.2. Biofertilisant d'origine végétale :**

Les biofertilisants d'origine végétale sont des intrants agricoles dérivés de matières végétales telles que les résidus de culture, les déchets agroalimentaires végétaux, les plantes compostées ou encore les extraits d'algues. Ces produits sont naturellement riches en matière organique, acides aminés, enzymes, phytohormones (comme les auxines et cytokinines), ainsi qu'en nutriments essentiels tels que l'azote, le phosphore et le potassium (Ronga et al, 2019 ; Yakhin et al, 2017).

**a) Extrait d'algue :**

Les biofertilisants à base d'algues marines sont obtenus à partir de macroalgues brunes, rouges ou vertes, sous forme fraîche ou sèche. Celles-ci sont transformées par extraction, hydrolyse ou fermentation (Craigie, 2011). Les extraits résultants sont riches en composés bioactifs tels que les polysaccharides, les acides aminés, les phytohormones et les oligo-éléments. Le produit obtenu agit comme un stimulateur de croissance et un améliorateur de sol, en renforçant l'absorption des nutriments, la résistance au stress abiotique et la vitalité du micro biote du sol (Khan et al, 2009 ; Craigie, 2011 ; Shukla et al, 2019). L'utilisation de ces extraits s'inscrit dans une démarche d'agriculture durable et circulaire, en valorisant les ressources marines de manière éco responsable (Ronga et al, 2019 ; Shukla et al, 2019)

**b) Déchet agroalimentaire :**

Les biofertilisants issus de déchets agroalimentaires proviennent de la transformation biologique (compostage, fermentation, digestion anaérobie, etc.) de résidus végétaux générés par l'industrie alimentaire (Aguilar et al, 2008 ; Adhikari et al, 2009). Ces déchets présentent une composition très variable selon la saison, le type de matière première et le procédé de transformation (Makan et al, 2013). Parmi les sources couramment utilisées, on trouve les bagasses de canne à sucre, les pulpes de café, les écorces de noix de coco, les coques d'arachide, les sciures de bois, les balles de riz, les pulpes de betteraves et les rebuts de légumes transformés (Paredes et al, 2000 ; Bernal et al, 2009). Ces matières, après traitement, peuvent fournir des biofertilisants efficaces, tout en réduisant les volumes de déchets végétaux.

**a.3. Biofertilisant à base de champignon :**

Les biofertilisants fongiques sont des intrants d'origine biologique composés de champignons vivants ou de leurs structures reproductrices, comme les spores ou le mycélium. Ces micro-organismes bénéfiques interagissent avec les plantes et leur environnement racinaire de manière favorable, contribuant à une meilleure nutrition et santé des cultures (Berruti et al, 2016 ; Smith & Read, 2008). Parmi eux, les champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) sont largement étudiés pour leur rôle clé dans l'absorption du phosphore par les plantes (Smith & Read, 2008 ; Hijri, 2016). Les mycorhizes correspondent à des associations symbiotiques établies entre ces champignons du sol et les racines des plantes. On estime que plus de 95 % des espèces végétales terrestres, y compris de nombreuses cultures agricoles et horticoles, bénéficient de ce type de relation symbiotique (Smith & Read, 2008 ; Brundrett & Tedersoo, 2018).

**a.4. Biofertilisant à base de bactérie :****a) Bactéries fixatrices d'azote :**

Les bactéries fixatrices d'azote sont des micro-organismes capables de transformer l'azote atmosphérique (N<sub>2</sub>) en composés utilisables par les plantes, comme l'ammonium, via le mécanisme naturel de la fixation biologique de l'azote (Bhattacharyya et al, 2016). Certaines

vivent en symbiose avec les plantes légumineuses (notamment les genres *Rhizobium* et *Bradyrhizobium*), tandis que d'autres, comme *Azotobacter*, sont libres dans le sol (Zahran, 1999 ; Sprent *et al*, 2013). L'application de ces bactéries en agriculture permet d'enrichir les sols en azote disponible, de réduire la consommation d'engrais azotés de synthèse, et de promouvoir des pratiques agricoles plus durables (Hungria *et al*, 2005 ; Adesemoye *et al*, 2009).

### **b) Rhizobactéries :**

Les rhizobactéries sont des bactéries bénéfiques qui colonisent la rhizosphère c'est-à-dire la zone du sol directement influencée par les racines, et qui stimulent la croissance des plantes (Kloepper *et al*, 1980 ; Vessey, 2003). Ces microorganismes, souvent formulés en inoculants commerciaux, agissent via plusieurs voies : en protégeant les plantes contre certains agents pathogènes (effet de biocontrôle), en facilitant l'absorption des nutriments essentiels, ou encore en produisant des substances favorables à la croissance végétale (Lugtenberg & Kamilova, 2009 ; Glick, 2012)

## **2. Mode d'utilisation :**

Les biofertilisants se déclinent principalement en deux formes, liquide et solide, chacune correspondant à des méthodes d'application bien spécifiques (FiBL, 2018). Le mode d'application varie en fonction de plusieurs paramètres, tels que la culture concernée, son stade de développement, les conditions agroécologiques locales, ainsi que les objectifs visés, qu'il s'agisse de stimuler la croissance, d'améliorer la nutrition ou de renforcer la résistance aux maladies (SustLives, 2021 ; Access Agriculture, 2020).

Le choix de la technique d'application joue un rôle essentiel dans l'efficacité des biofertilisants, notamment en ce qui concerne la disponibilité des micro-organismes bénéfiques et leur capacité à interagir avec les plantes (Vessey, 2003 ; Bashan *et de*-Bashan, 2010).

### **2.1. Biofertilisants liquides :**

Les formulations liquides de biofertilisants, issues de matières biologiques ou organiques, se caractérisent par leur facilité d'utilisation et leur action rapide (SustLives, 2021). Elles permettent une application flexible via divers procédés tels que la pulvérisation foliaire, l'irrigation fertilisante (fertigation), le trempage des racines ou encore l'enrobage des semences (FiBL, 2018 ; Access Agriculture, 2020)

### **2.2. Biofertilisant solide :**

Les biofertilisants solides sont généralement formulés à partir de supports d'origine organique ou minérale, dans lesquels sont incorporés des agents microbiens ou des composés bioactifs. Ces produits se présentent sous forme sèche, granulée ou encapsulée, facilitant leur manipulation et leur conservation (FiBL, 2018 ; Bashan *et al*, 2013). Parmi leurs principaux avantages figurent une meilleure stabilité au stockage, une libération progressive des substances actives, ainsi qu'une compatibilité avec les équipements de distribution mécanique utilisés en agriculture (Bashan *et al*, 2013 ; Malusá & Vassilev, 2014). Leur application peut se faire selon différentes méthodes, notamment l'enrobage des semences, l'épandage au sol, l'application localisée au niveau des racines (poquet) ou encore l'enrichissement du compost,

en fonction des cultures ciblées et des objectifs agronomiques (Bashan *et al.*, 2013 ; Malusá & Vassilev, 2014 ; Bhardwaj *et al.*, 2014 ; FiBL, 2018).

### **3. Les avantages et les inconvénients :**

#### **1. Les avantages :**

Les biofertilisants constituent une solution naturelle et durable, permettant de réduire la dépendance aux engrais chimiques et d'atténuer la pollution des sols, des eaux et de l'air (Mishra *et al.*, 2013). Ils favorisent la fertilité du sol par la stimulation de l'activité microbienne et l'amélioration de la disponibilité des nutriments essentiels pour les plantes (Rashid *et al.*, 2015). En facilitant la transformation des éléments minéraux non

assimilables, tels que les phosphates insolubles, en formes directement utilisables, ces produits optimisent l'assimilation des nutriments par les cultures (Schutz *et al.*, 2018).

Par ailleurs, les biofertilisants améliorent la structure physique des sols en renforçant l'agrégation des particules et en augmentant leur capacité à retenir l'eau, ce qui favorise des conditions de croissance plus stables (Xiang *et al.*, 2012). Leur mode d'action progressif assure une libération contrôlée des éléments nutritifs, permettant une absorption continue et durable par les végétaux (Patil et Solanki, 2016). Ils renforcent également la résistance des plantes face aux stress abiotiques tels que la sécheresse, la salinité ou les variations de pH (Dey *et al.*, 2014).

Certains biofertilisants possèdent une fonction biostimulante, activant les mécanismes de défense naturelle des cultures contre divers pathogènes (Simarmata *et al.*, 2016). Cette action contribue à réduire la fréquence des maladies du sol, notamment les infections fongiques et les attaques de nématodes (Jangid *et al.*, 2012). Compatibles avec les pratiques de l'agriculture biologique, ces produits s'inscrivent pleinement dans les principes de l'agroécologie (García-Fraile *et al.*, 2015).

Leur coût est souvent inférieur à celui des fertilisants chimiques, particulièrement lorsque les biofertilisants sont élaborés localement à partir de résidus organiques tels que le fumier, les déchets végétaux ou les sous-produits alimentaires (Mohanty *et al.*, 2013). Cette valorisation des déchets agricoles contribue également à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, en limitant l'usage des engrais azotés industriels à forte empreinte carbone (Rashid *et al.*, 2015).

En outre, les biofertilisants améliorent la qualité des récoltes en produisant des aliments plus sains, exempts de résidus chimiques, tout en participant à la restauration des sols dégradés et

au maintien de leur productivité à long terme (Schutz *et al*, 2018). Ils renforcent la capacité des plantes à absorber l'eau et les nutriments, notamment grâce à la symbiose avec les mycorhizes et autres bactéries bénéfiques (Xiang *et al*, 2012). Enfin, ils favorisent la biodiversité microbienne du sol en stimulant la multiplication des organismes utiles, ce qui est essentiel à l'équilibre et à la santé des écosystèmes agricoles (García-Fraile *et al*, 2015)

## **2. Les inconvénients :**

Les biofertilisants font face à plusieurs limites qui freinent leur développement à grande échelle. Leur efficacité dépend fortement des conditions du sol et du climat, ce qui les rend moins performants dans les sols dégradés ou les environnements extrêmes (Jangid *et al*, 2012). Leur action est plus lente que celle des engrais chimiques et nécessite des applications répétées (Mohanty *et al*, 2013). La survie des micro-organismes qu'ils contiennent est sensible à la température, l'humidité et la lumière, ce qui complique leur stockage (Patil et Solanki, 2016). Une mauvaise manipulation peut réduire leur efficacité (Dey *et al*, 2014). De plus, leur production industrielle est limitée par le manque d'infrastructures, de matières premières et de normes de qualité, entraînant une variabilité des produits et une perte de confiance chez les utilisateurs (García-Fraile *et al*, 2015 ; Simarmata *et al*, 2016). Parfois, des doses plus importantes sont nécessaires (Rashid *et al*, 2015), et l'introduction d'espèces microbiennes exogènes peut déséquilibrer temporairement le sol (Schutz *et al*, 2018). Les contraintes logistiques et le manque de formation des agriculteurs compliquent encore davantage leur adoption (Patil et Solanki, 2016 ; Mohanty *et al*, 2013).

## **4. Intérêts des fertilisants à base d'algue marine en Agriculture :**

Étant donné que le produit utilisé dans le cadre de notre expérimentation est formulé à partir d'algues marines, il est pertinent de mettre en évidence les effets bénéfiques associés à ce type de biofertilisant.

- Les biofertilisants à base d'algues marines offrent une source naturelle et renouvelable de nutriments essentiels tels que l'azote, le phosphore, le potassium, ainsi que des oligoéléments comme le calcium, le magnésium et le fer (Khan *et al*, 2009).
- Ils stimulent la croissance végétale grâce à leur richesse en phytohormones naturelles (auxines, cytokinines, gibbérellines) qui agissent directement sur la division cellulaire, l'élongation des tiges et le développement racinaire (Craigie, 2011).
- Leur application améliore la résistance des plantes aux stress abiotiques comme la sécheresse, la salinité et les basses températures, en activant les mécanismes de défense physiologiques (Sharma *et al*, 2014).
- Les extraits d'algues favorisent l'absorption des nutriments par les plantes, même dans des conditions de sol difficiles, en stimulant l'activité enzymatique et la croissance des micro-organismes bénéfiques dans la rhizosphère (Verkleij, 1992).
- En plus de leur effet fertilisant, les algues marines ont des propriétés biostimulantes qui renforcent la vigueur générale des cultures et améliorent la qualité des récoltes (Blunden et Wildgoose, 1977).

- Leur utilisation régulière permet une amélioration de la structure du sol, une augmentation de la matière organique et une meilleure rétention d'eau, contribuant ainsi à une gestion durable des ressources agricoles (Kumar et *al*, 2020).
- Ces biofertilisants s'intègrent parfaitement aux pratiques de l'agriculture biologique, car ils sont d'origine naturelle, sans résidus toxiques, et compatibles avec les normes agroécologiques (Rouphael et Colla, 2020).

Créé avec  
OfficeSuite

**Matériel**

**Et**

**Méthode**

## 1. Le but de travail :

Ce travail a pour objectif la valorisation des algues du genre *Sargassum* à travers la formulation d'un biofertilisant, l'analyse de leurs composants essentiels issus du site de collecte, ainsi que la réalisation d'essais agronomiques pour évaluer son impact sur la croissance des plantes.

## 2. Matériel et produit :

Les différents matériaux utilisés dans le cadre de ce travail sont répertoriés dans le tableau ci-dessous. Ils ont été choisis en fonction des exigences expérimentales afin d'assurer la précision et la fiabilité des analyses réalisées.

**Tableau 3 : Matériel et produits chimiques utilisés**

Catégorie	Élément
Verreries et autres	Béchers, entonnoirs, fioles jaugées, erlenmeyer Burette, pipette graduée, tubes à essais, éprouvettes graduée, micropipettes, flacons brins Etiquettes, papier aluminium, papier filtre Dessiccateur
Produit chimique	Eau distillée, Sulfate de potassium, sulfate de calcium, sélénium, Acide sulfurique, acide borique, éthanol, rouge de méthyle à 0,2%, verte de bromocrésol à 0,1%, molybdate d'ammonium, acide ascorbique, Persulfate de potassium, hydroxyde de sodium.
Appareillage	Etuve, four a moffle, centrifugeuse, bain marie, l'appareil de distillation Kjldahl, balance, broyeur, plaque chauffante, agitateur magnétique, pH mètre, autoclave, analyseur SAN+

- **Matériel biologique** utilisée dans la présente étude est : l'algue brune *sargassum vulgare* récoltée

### 3. Présentation de région de récolte :

Les échantillons d'algues ont été récoltés en mer, dans une zone peu profonde d'environ un mètre, au mois de mars, sur la plage de Kouali. Cette plage est située dans la commune de Tipaza, à environ 10 km à l'ouest du centre-ville. Elle fait partie de la baie de Bou Ismaïl, située à environ 80 km à l'ouest de la baie d'Alger. Le littoral y est mixte, combinant zones sableuses et rocheuses, et l'environnement est relativement préservé.



Figure 4 : La plage de kouali

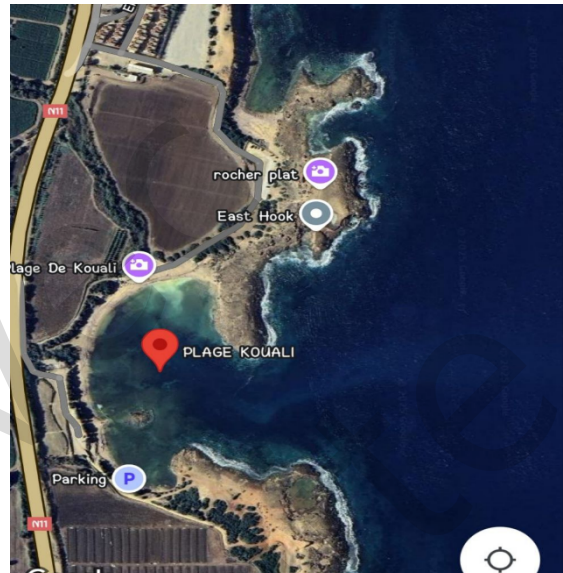


Figure 5 : situation géographique de plage kouali

### 4. Identification de l'espèce *Sargassum vulgare* :

L'identification botanique de l'algue utilisée dans cette étude a constitué une étape essentielle pour garantir la fiabilité des résultats. L'espèce collectée a été déterminée comme appartenant à *Sargassum vulgare*, une algue brune de la classe des Phaeophyceae, largement répandue le long des côtes méditerranéennes. Une première identification a été réalisée sur le site de récolte, à la plage de Kouali (Tipasa), en se basant sur des critères morphologiques distinctifs tels que les thalles ramifiés, les frondes aplaties et la présence de vésicules aérifères.

Cette reconnaissance in situ a ensuite été confirmée au laboratoire de l'ENSSMAL, à l'aide de clés de détermination taxonomique et de références spécialisées en algologie. Cette approche combinée, sur le terrain et en laboratoire, a permis de valider avec rigueur l'identité botanique de l'espèce utilisée dans le cadre de ce travail.



**Figure 6 :** espèce de *sargassum vulgare*

### 5. Préparation des échantillons :

Après leur arrivée au laboratoire, les échantillons ont été lavés 5 à 6 fois avec de l'eau du robinet pour éliminer le sel et toutes les impuretés, puis laissés à égoutter au soleil pendant un certain temps.



**Figure 7 :** Lavage d'algue



**Figure 8 :** Séchage d'algue a l'air libre

Ensuite, ils ont été séchés dans une étuve à 50 °C pendant 72 heures. Les échantillons séchés ont été broyés jusqu'à l'obtention d'une poudre fine, puis tamisés avec un tamis de 350 µm pour obtenir une poudre homogène. La poudre obtenue a été placée dans des bocaux stérilisés, puis stockée jusqu'à son utilisation.

Créé avec  
OfficeSuite



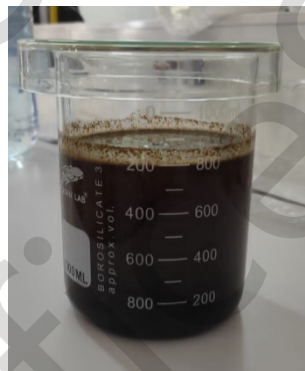
**Figure 9 :** Séchage des algues dans l'étuve



**Figure 10 :** Tamisage des algues

## 6. Préparation de l'extrait liquide d'algue :

L'extrait liquide d'algue a été préparé en mélangeant la poudre d'algue broyée avec de l'eau distillée dans un rapport de 1:20. Le mélange a été laissé reposer, puis porté à ébullition dans un bain-marie à 70 °C pendant 60 min. (Kumar et al, 2018)



**Figure 12 :** Préparation de mélange algue-eau distillée

Après l'ébullition, le mélange a de nouveau été laissé reposer avant d'être filtré à travers un tissu pour éliminer les éléments solides (Zodape et al, 2009). Le liquide obtenu a ensuite été centrifugé à 3000 tr/min pendant 3 minutes (Khan et al, 2009).

Enfin, le liquide récupéré a été conservé dans des bouteilles en plastique opaques, à 4 °C jusqu'à son utilisation (Booth, 1964 ; Renuka et al, 2018).



**Figure 13 :** Filtration de mélange



**Figure 14 :** Centrifugation de l'extrait algale

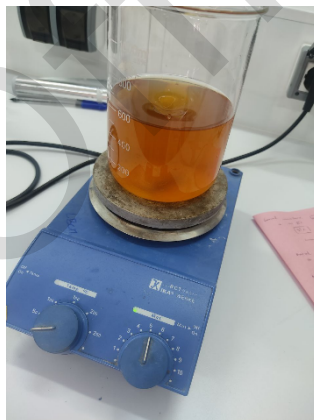
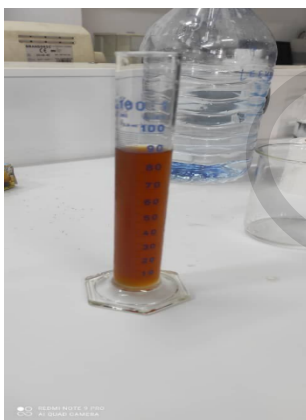


**Figure 15 :** L'extrait centrifugé

## 7. Préparation des dilutions :

Dans le but d'évaluer l'effet de différentes concentrations de biofertilisant sur la croissance des plantes, deux dilutions ont été préparées à partir du biofertilisant brut.

- Dilution à 15 % :**  
 90 ml de biofertilisant brut ont été prélevés, puis complétés avec 510 ml d'eau distillée dans un bécher propre, afin d'obtenir un volume final de 600 ml (le volume de bouteille utilisée). La solution a été agitée pendant 5 minutes pour assurer une bonne homogénéisation.
- Dilution à 25 % :**  
 150 ml de biofertilisant ont été mélangés à 450 ml d'eau distillée pour obtenir un volume total de 600 ml (le volume de bouteille utilisée). Une agitation de 5 minutes a également été effectuée



**Figure 16 :** Les étapes de préparation des déluitions



**Figure 17 :** Produit finale

## 8. Préparation des pots (préparation d'échantillon végétale) :

Une série de pots de culture a été préparée dans des conditions contrôlées. Cette étape vise à garantir l'homogénéité des conditions expérimentales, à réduire les sources de variation et à assurer une comparaison fiable entre les différents traitements

### 8.1. Préparation du sol :

Le sol utilisé pour les essais a été collecté dans un terrain agricole sélectionné pour ses caractéristiques physico-chimiques favorables à la culture des plantes testées. Après la collecte, il a été tamisé à l'aide d'un tamis de maille fine (~2 mm) afin d'éliminer les résidus grossiers, pierres, racines et autres débris organiques.

Le sol tamisé est ensuite stérilisé dans une étuve à 121°C pendant 30 minutes afin d'éliminer les pathogènes, les graines indésirables et les micro-organismes nuisibles



Figure 18 : Stérilisation de sol à l'étuve

### 8.2. Préparation et Remplissage des Pots :

12 pots de 2 kg ont été préparés pour la culture du piment (*Capsicum annuum*). Ces pots ont ensuite été remplis avec du sol préalablement stérilisé, en laissant un espace libre de 2 à 3 cm sous le rebord afin de faciliter l'arrosage.



Figure 19 : Préparation des pots

### 8.3. Repiquage des plants :

Les plants de piment sont repiqués délicatement dans les pots préparés, en prenant soin de ne pas abîmer les racines.



Figure 20 : Le repiquage des plants de piment en pots

### 8.4. Étiquetage des pots :

Chaque pot est soigneusement étiqueté avec les informations nécessaires :

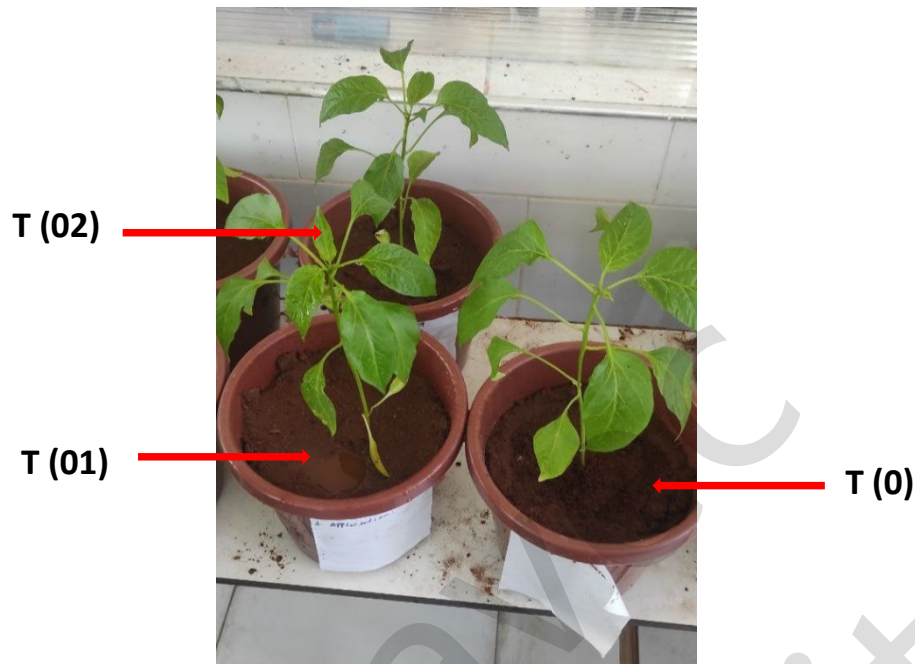
- Type de plante (laitue ou piment),
- Traitement appliqué (Témoin, Biofertilisant, etc.),
- Date de plantation,
- Répétition (R1, R2, etc.)



Figure 21 : Étiquetage des pots expérimentaux

### 8.5. Disposition des pots :

Les pots ont été disposés conformément à un dispositif expérimental en blocs aléatoires complets, visant à assurer une répartition homogène des conditions de culture. Cette organisation permet une exposition uniforme à la lumière naturelle et facilite un arrosage équilibré entre les différents traitements, garantissant ainsi la fiabilité des résultats expérimentaux.



**Figure :** Disposition des pots (T (0) : témoin négative ; T(01) traitement de 15% ; T(02) traitement de 25%)

## 9. Essais agronomique :

L'essai a été réalisé sur la croissance de la plante de piment (*Capsicum annuum*) en mesurant plusieurs paramètres de développement (Nombre de la feuille, largeur de tige et la hauteur de la tige). L'expérience a été conduite en utilisant des pots contenant un sol standard, sur lequel un biofertilisant liquide à base de l'algue brune *Sargassum vulgare* a été appliqué selon deux concentrations : 15 % (T1) et 25 % (T2). Chaque concentration a été testée sur trois répétitions (trois pots par traitement), en plus d'un témoin négatif (T0) constitué de trois pots ne recevant que de l'eau.

Le biofertilisant a été appliqué une fois par semaine, par pulvérisation sur les feuilles et au niveau du sol, à raison de 15 ml par pot. L'arrosage a été réalisé régulièrement tous les quatre jours afin de maintenir une humidité constante du sol tout au long de la période de culture. Les plantes traitées avec les deux concentrations ainsi que les témoins ont été suivies afin d'évaluer l'effet du biofertilisant sur les paramètres de croissance du piment.

## 10. Méthodologie d'évaluation des paramètres morphologiques :

L'objectif de cette mesure est d'évaluer l'effet de deux concentrations (15 % et 25 %) de biofertilisant sur la croissance des plants de piment, en comparaison avec un témoin négatif. Chaque traitement a été appliqué sur quatre plants, soit un total de douze échantillons. Les

paramètres morphologiques ont été évalués 45 jours après le repiquage des plants de piment. Trois indicateurs de croissance ont été pris en compte :

- **Le nombre de feuilles** par plant, compté manuellement.
- **La hauteur du plant (en cm)**, mesurée à l'aide d'une règle graduée, du collet jusqu'à l'apex de la tige principale.
- **La largeur de tige (en cm)**, mesurée à l'aide d'une règle graduée.

Les mesures ont été réalisées individuellement pour chaque plant, puis les moyennes ont été calculées pour chaque traitement afin de permettre la comparaison des effets des différentes doses de biofertilisant.

## 11. Analyse physicochimique :

Dans le cadre de cette étude, des analyses physicochimique ont été réalisées afin de déterminer la composition en éléments nutritifs dans l'espace utilisée *Sargassum vulgare*. Ces analyses permettent d'évaluer le potentiel agronomique du produit en identifiant les principaux nutriments essentiels à la croissance des plantes, tels que le phosphore, le potassium, l'azote et la matière organique.

### 11.1. Détermination du taux d'humidité et de la teneur en matière minérale :

#### a. Détermination de taux de l'humidité (AOAC ,1980) :

5g d'échantillon d'algue ont été pesés et placés dans un creuset propre et préalablement taré. Le creuset semi ouvert a été introduit dans une étuve à 105 °C pendant une nuit. Après séchage, l'échantillon a été refroidi dans un dessiccateur, puis pesés de nouveau. La perte de masse enregistrée a permis de déterminer le taux d'humidité par rapport à la masse initiale.

#### Calcul :

Le taux d'humidité se calcule avec la formule suivante :

$$\text{Taux d'humidité \%} = (P1-P2) / (P1-P_0) \times 100$$

P<sub>0</sub> : Poids du creuset propre et sec

P<sub>1</sub> : Poids de l'échantillon

P<sub>2</sub> : Poids du creuset + poids de l'échantillon (après le séchage)

#### b. Détermination de la teneur en matière minéral (AOAC, 1999) :

Le creuset qui contient l'échantillon a été placé dans un four à moufle réglé à 550 °C pendant 6 heures, afin d'assurer la combustion complète de la matière organique. Après incinération, les échantillons ont été refroidis dans un dessiccateur pendant 30min, puis pesés. La masse résiduelle, correspondant aux cendres, a été utilisée pour calculer la teneur en matière minérale de l'échantillon.

#### Calcul :

$$\text{Teneur en cendres (\%)} = (P2-P_0) / (P1-P_0) \times 100$$

P<sub>0</sub> : Poids du creuset propre et vide

P<sub>1</sub> : Masse du creuset + échantillon sec (après séchage)

P2 : Masse du creuset + résidu après calcination (cendres)



**Figure 22** : Calcination de l'échantillon dans un four à moufle

### 11.2. Détermination de la teneur d'azote totale :

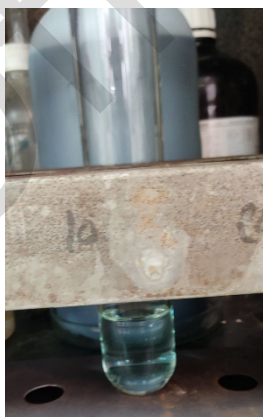
La méthode Kjeldahl est une technique classique et largement utilisée pour la détermination de la teneur en azote total dans les échantillons organiques « *Sargassum vulgare* » (Bremner, 1960 ; Bradstreet, 1965).

La méthode Kjeldahl comprend trois étapes principales :

#### a. Minéralisation (Nelson & Sommers, 1973) :

La minéralisation a été réalisée selon la méthode Kjeldahl afin de convertir l'azote organique en ammonium. Pour cela, 2 g de poudre de *Sargassum vulgare* ont été introduits dans un ballon Kjeldahl de 250 ml, en présence de 2 g de catalyseur solide (mélange de  $K_2SO_4$ ,  $CaSO_4$  et Se) et de 20 ml d'acide sulfurique concentré ( $H_2SO_4$ ).

Le mélange a été chauffé jusqu'à l'obtention d'une coloration verte stable, indiquant la décomposition complète de la matière organique. Après refroidissement, 200 ml d'eau distillée ont été ajoutés progressivement sous agitation et refroidissement externe, puis le volume a été ajusté pour les étapes analytiques ultérieures.



**Figure 23** : Minéralisation Kjeldahl de l'échantillon

**b. Distillation (Parkinson & Allen, 1975) :**

Après la minéralisation, Un volume de 20 ml de la solution digérée a été transféré dans l'unité de distillation, puis traité avec 50 ml de soude concentrée (NaOH) pour alcaliniser le milieu.

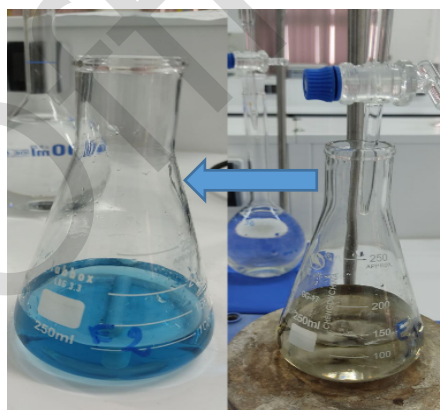


**Figure 24 :** Système de distillation de l'échantillon dans la méthode de Kjeldahl

L'ammoniac libéré a été entraîné par la vapeur et capturé dans 20 ml d'une solution d'acide borique contenant un indicateur mixte. L'opération a été poursuivie jusqu'à obtention de 100 ml de distillat, assurant une récupération quantitative de l'ammoniac en vue de sa détermination par titrage.

**c. Titrage (Jones, 2001) :**

L'ammoniac récupéré dans la solution d'acide borique a été quantifié par titrage acido-basique à l'aide d'une solution d'acide sulfurique N/50. Le point d'équivalence est déterminé par le changement de couleur de l'indicateur. Le volume d'acide consommé permet de calculer la teneur en azote total, en appliquant un facteur de conversion basé sur la normalité de l'acide utilisé.



**Figure 25 :** Titrage acido-basique de l'ammoniac

**Figure 25 :** Titrage acido-basique de l'ammoniac

**Calcul :**

La quantité totale d'azote contenue dans l'échantillon est alors calculée selon la formule suivante :

$$\text{Teneur d'azote totale (g)} = (V_1 \times 0,00028 \times 100) / Y \times 250 / V_0$$

Où :

$V_1$  : volume d'acide sulfurique N/50 utilisé au titrage (en ml),

Y : masse de l'échantillon de départ (en g),

$V_0$  : volume prélevé de la solution minéralisée (en ml),

100, 250 : facteurs de dilution et de correction liés aux volumes totaux.

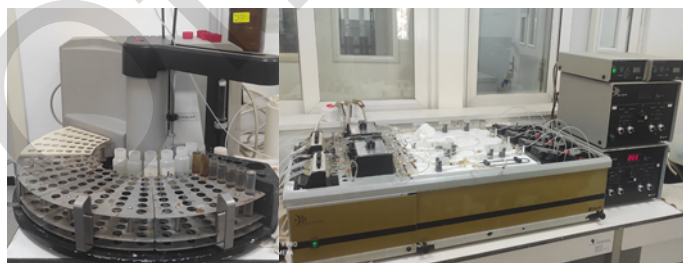
**11.3. Dosage du phosphore total :**

Le dosage du phosphore a été effectué par méthode colorimétrique en flux continu, à l'aide d'un analyseur automatique de type AutoAnalyzer SAN+, conformément au protocole recommandé par le fabricant (Skalar, 1998).

Ce protocole repose sur la formation d'un complexe coloré phosphomolybdique réduit, dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en phosphore.

Le réactif colorimétrique (Murphy, J., & Riley, J. P., 1962) utilisé est un mélange constitué de :

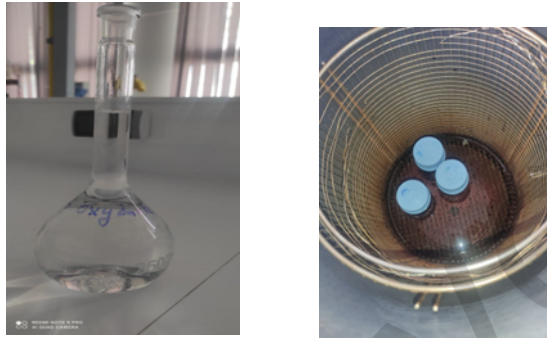
- 100 ml de solution de molybdate d'ammonium,
- 250 ml d'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ),
- 100 ml d'acide ascorbique.



**Figure 26** : Analyseur automatique de type AutoAnalyzer SAN+ (Skalar, 1998).

**a. Préparation des échantillons :**

Pour l'analyse, 2,5 g de poudre d'algues ont été placés dans un flacon en verre, puis mélangés à 10 ml d'une solution oxydante préparée comme suit : 10 g de persulfate de potassium ( $K_2S_2O_8$ ), 3,75 g d'acide borique ( $H_3BO_3$ ) et 3,75 g d'hydroxyde de sodium (NaOH) dissous dans 250 ml d'eau distillée. Cette solution a ensuite été soumise à une digestion thermique par autoclave à 120 °C pendant une durée d'une heure, permettant l'oxydation complète de la matière organique et la libération du phosphore total (APHA, 2017)



**Figure 27** : étape de préparation de l'échantillon

# **Résultats Et Discussion**

### 1. Caractérisation de l'extrait liquide :

L'extraction douce de la biomasse algale a permis d'obtenir un extrait homogène, limpide à légèrement visqueux, de couleur foncée, indiquant une bonne concentration en substances actives.



Figure 28 : extrait liquide d'algue *Sargassum vulgare*

### 2. Teneurs d'algue en composants physicochimique :

La composition chimique des algues varie considérablement selon l'espèce, l'habitat, les conditions saisonnières et environnementales. (Holdt & Kraan ,2011)

Tableau 4 : résultat les analyses biochimiques

Paramètre analyses	Résultant
Taux d'humidité (%)	7,54
Teneur en matière minérale (cendres) (%)	16,83
Teneur en azote total (g)	1,032
Teneur en matières azotées totales (%MS)	3,22
Concentration en phosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) (mg/l)	5,20
Teneur en phosphore total (P) (mg/l)	1,70

### 3. Interprétation globale des teneurs composants physicochimique de *Sargassum vulgare* :

La valorisation de *Sargassum vulgare* comme biofertilisant liquide repose sur sa composition biochimique riche et équilibrée (Holdt & Kraan, 2011). Les résultats analytiques obtenus dans ce travail permettent d'évaluer son aptitude à fournir des éléments nutritifs essentiels sous une forme soluble, facilement assimilable par les plantes (Sharma et al, 2014).

L'interprétation globale de ces résultats met en évidence la pertinence de cette algue dans une approche de fertilisation durable et écoresponsable.

#### ➤ Faible taux d'humidité : stabilité du produit de base

Le faible taux d'humidité mesuré (Tableau 4) indique une matière première bien déshydratée, garantissant une excellente conservation avant extraction liquide (Makkar et al, 2016). Un matériau sec est préférable pour la préparation de solutions concentrées, car il minimise la dégradation enzymatique et la prolifération microbienne lors du stockage (Zia et al, 2020). Cela permet également un contrôle précis du ratio masse/volume lors de la fabrication du biofertilisant liquide (Craigie, 2011).

#### ➤ Teneur élevée en matière minérale (cendres) : richesse nutritionnelle

La teneur en matière minérale (Tableau 4) révèle une forte concentration en nutriments inorganiques essentiels. Ces éléments tels que le potassium, le calcium, ou le magnésium... (Rupérez, 2002). Dans une formulation liquide, ces minéraux peuvent être extraits et dissous pour offrir une biodisponibilité directe aux plantes, favorisant ainsi l'activation enzymatique, la photosynthèse et la résistance au stress abiotique (Khan et al, 2009). Cette richesse minérale fait de *Sargassum vulgare* une source complète de micronutriments et macronutriments (Chojnacka et al, 2012).

#### ➤ Teneur en azote total et matière azotée totale (MAT) : stimulation de la croissance

L'azote représente un macroélément indispensable à la synthèse des acides aminés, des protéines et de la chlorophylle (Bhattacharyya et al, 2015). Une teneur en MAT de 3,22 % indique un apport conséquent en azote organique, potentiellement assimilable par les plantes (Blunden et al, 1986). Sous forme liquide, cet azote favorise le développement végétatif, améliore la vigueur des jeunes plants et soutient l'ensemble des processus métaboliques liés à la croissance (Calvo et al, 2014).

#### ➤ Teneur en phosphore total : développement racinaire et floraison

La concentration mesurée en phosphore (Tableau 4) bien que modérée, reste fonctionnellement suffisante pour répondre aux besoins métaboliques des plantes (Craigie, 2011). Ce nutriment est fortement impliqué dans la croissance racinaire, la division cellulaire et la maturation des organes reproducteurs (Sharma et al, 2014). Dans une formulation liquide, le phosphore présent dans l'extrait est directement assimilable, ce qui en fait un facteur important d'amélioration du rendement agricole, sans les inconvénients associés aux engrais chimiques à base de phosphate (eutrophisation, accumulation) (Khan et al, 2009).

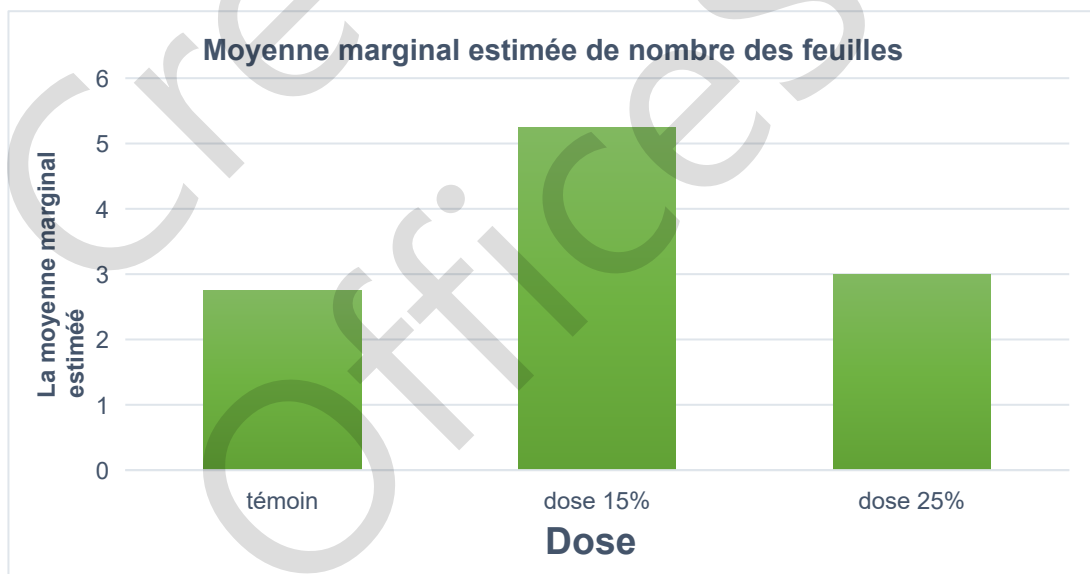
Donc les résultats obtenus à partir de l'analyse biochimique de *Sargassum vulgare* démontrent clairement que cette algue brune représente une ressource naturelle de haute valeur pour la production de biofertilisants liquides. Sa faible humidité, sa richesse en matières minérales, son apport en azote et en phosphore soutiennent son efficacité agronomique. Ces caractéristiques font de *Sargassum vulgare* un biointrant écologique et durable, répondant aux enjeux de l'agriculture moderne en matière de productivité, de durabilité environnementale et de réduction de la dépendance aux engrais chimiques (Calvo et al, 2014 ; Khan et al, 2009).

#### 4. Interprétation des effets du biofertilisant sur la croissance du piment en fonction des doses utilisées :

L'évaluation de l'effet des différentes doses de biofertilisant sur la croissance morphologique du piment a permis de mettre en évidence des variations significatives selon les paramètres mesurés nombre des feuilles et la hauteur de tige

##### ➤ Nombre de feuilles :

La moyenne du nombre de feuilles augmente considérablement entre le témoin (2,75 feuilles) et le traitement à 15% (5,25 feuilles), ce qui représente une amélioration nette. En revanche, une chute est observée pour la dose de 25%, où la moyenne retombe à 3 feuilles, proche du témoin. Cette tendance suggère qu'une dose modérée (15%) favorise le développement foliaire, alors qu'une concentration plus élevée (25%) pourrait avoir un effet inhibiteur ou induire un stress physiologique sur les plants.

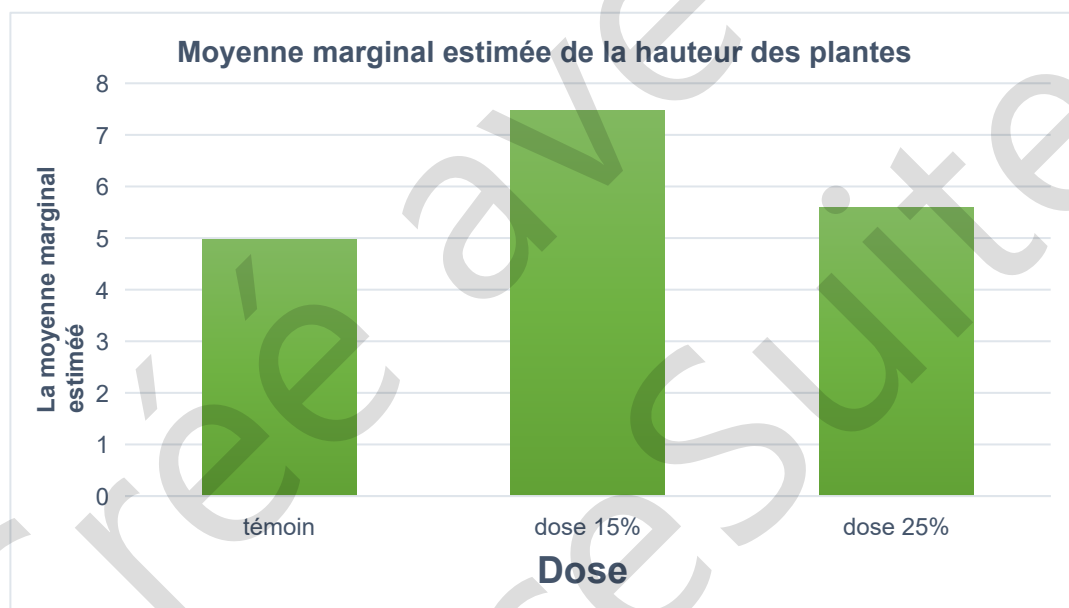


**Figure 29 :** Graphique en barres représentant les moyennes marginales estimées du nombre de feuilles selon le traitement appliqués (témoin, dose 15 %, dose 25 %)

➤ **Hauteur des plants :**

La hauteur moyenne suit une évolution similaire. Elle est de 4,975 cm pour le témoin, s'élève à 7,475 cm avec la dose de 15%, puis diminue à 5,6 cm avec la dose de 25%. Cela indique que l'application à 15% stimule la croissance verticale des plants, probablement en fournissant des nutriments et composés bioactifs en quantité optimale. À 25%, l'effet positif diminue, ce qui pourrait résulter d'un déséquilibre nutritionnel ou d'une saturation des besoins de la plante.

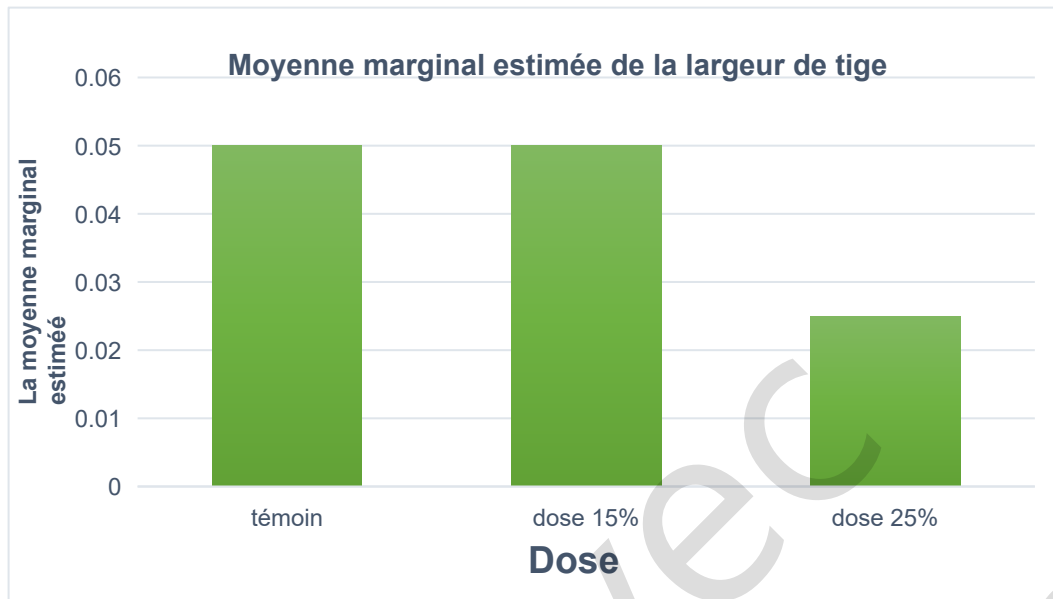
Ces résultats suggèrent qu'une dose de 15% de biofertilisant favorise globalement la croissance morphologique des plants de piment, en particulier en termes de nombre de feuilles et de hauteur. Cependant, l'augmentation de la concentration à 25% ne renforce pas ces effets, et pourrait même les atténuer. Ce phénomène peut être attribué à une accumulation excessive de certains composés, ou une mauvaise assimilation par la plante à des doses plus élevées.



**Figure 30 :** Graphique en barres représentant les moyennes marginales estimées de la hauteur des plantes selon les traitements appliqués (témoin, dose 15 %, dose 25 %).

➤ **Longueur des tiges :**

Concernant la longueur des tiges, les résultats montrent très peu de variation entre le témoin et le traitement à 15% (tous deux à 0,05 cm), tandis qu'une légère diminution est observée avec la dose de 25% (0,025 cm). Cela indique que ce paramètre est moins sensible aux traitements, ou que les effets nécessitent une période plus longue pour se manifester de manière significative.



**Figure31** : Graphique en barres représentant les moyennes marginales estimées de la largeur de tige selon le traitement appliqués (témoin, dose 15 %, dose 25 %)

# Conclusion

## **Conclusion :**

L'ensemble des résultats obtenus dans le cadre de ce travail met en lumière le potentiel agronomique de *Sargassum vulgare* en tant que ressource naturelle prometteuse pour la formulation de biofertilisants liquides. L'analyse physicochimique de cette algue brune révèle une composition équilibrée et bénéfique, marquée par une faible teneur en humidité assurant sa stabilité, une richesse en éléments minéraux indispensables au métabolisme végétal, ainsi qu'un apport notable en azote et en phosphore, essentiels à la croissance et au développement des plantes.

Ces caractéristiques confèrent à *Sargassum vulgare* un rôle stratégique dans la transition vers une agriculture plus durable, en offrant une alternative écologique aux engrais chimiques. Sa transformation en biointrant liquide s'inscrit ainsi dans une logique de valorisation des ressources marines, de protection de l'environnement et d'optimisation de la productivité agricole.

L'expérimentation menée sur les plants de piment confirme cette hypothèse. L'application du biofertilisant à 15 % a généré une amélioration significative des paramètres morphologiques mesurés, notamment en termes de nombre de feuilles et de hauteur de tige. À l'inverse, une concentration plus élevée (25 %) semble limiter ces effets bénéfiques, suggérant une réponse dose-dépendante des plantes. Cette observation souligne l'importance d'un ajustement précis des doses pour maximiser l'efficacité du biofertilisant tout en évitant tout effet de stress.

En conclusion, *Sargassum* se distingue comme un candidat sérieux à l'élaboration de biofertilisants performants, compatibles avec les objectifs d'une agriculture moderne soucieuse de durabilité, d'efficacité nutritive et de respect des écosystèmes. Des recherches complémentaires, à plus grande échelle et sur d'autres espèces végétales, permettront de confirmer ces résultats et de définir les conditions optimales d'application pour une intégration efficace dans les pratiques agricoles actuelles.

# **Bibliographie**

- **Abdi, Sarah Yasmine (2020).** Étude bibliographique sur les algues, leur intérêt dans le domaine de la phytothérapie et la médecine curative et valorisation des composés actifs et nutritionnels de l'espèce *Fucus vesiculosus*. Mémoire de fin d'études, master en Sciences biologiques, Biologie et physiologie de la reproduction. Constantine : Université des Frères Mentouri Constantine, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biologie et Écologie Végétale.p.62
- **Abdellah,N.Alioua,N.(2016).**composition de quelques espèces d'algues marines aux possibilités alimentaires.mémoires de master.aquaculture.delybrahim :enssmal.p.p38-47 .
- **ADOUANE, T. BARRACHED, A. (2023).** Les impacts négatifs des engrais chimiques sur l'environnement et la santé publique, mémoire de licence professionnelle. Hygiène et Sécurité et Environnement .Ouargla : université de kasdi merbah ouagla institut de sciences technologues applique.P.P.10-25.
- **ADOUANE, T. BEZZICHE, H. (2023).** Les impacts négatifs des engrais chimiques sur l'environnement et la santé publique
- **Ahmed, S., Hassan, M., Ali, N. (2020).** Single and combined effects of *Bacillus* spp. and brown seaweed (*Sargassum vulgare*) extracts as bio-stimulants of eggplant (*Solanum melongena* L.) growth. vol. 15, n° 4, p.p. 345–353.
- **Aite-Sali,I.Ghezali,L.(2022).**etude de quelques marines de la région de tipaza systématique et valorisation. Mémoires de master. Aquaculture.Dely brahim : Enssmal.p.p.39-44
- **Anderson,A.Lewin,A. (2024).** *Algae*. [en ligne]. [Consulté le 12/06/2025]. Disponible sur le site : <https://www.britannica.com/science/algae>
- **Benkhaled, Farah (2022).** L'effet d'un biofertilisant à base d'algues marines sur la qualité et le rendement d'une culture de tomate industrielle cultivée sous serre. Mémoire de fin d'études, spécialité Agronomie. Mostaganem : Université Abdelhamid Ibn Badis,P. 75
- **Bouchekouk, Nabil ; Djaafri, Youcef. (2020).** Effet de biostimulateur issu des algues brunes. Mémoire de fin d'études, master en Sciences Biologiques, option Biodiversité et Physiologie Végétale. Blida : Université Saad Dahlab Blida 1, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biologie des Populations et Organismes.p. 56.
- **Bruno, M., Bavestrello, G., & Cattaneo-Vietti, R. (2007).** *Biotechnological potential of marine algae*. *Journal of Applied Phycology*.vol.19, n°2, p.p.133–144.
- **Britannica, The Editors of Encyclopaedia (s.d.).** *Algae*. (en ligne). (consulté le 21 / 04/ 2025) : <https://www.britannica.com/science/algae>
- **Craigie, J. S. (2011).** *Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture*. *Journal of Applied Phycology*.vol.23, n°3, p.p.371–393
- **Dubois, J., Martin, L. (1980).** Étude technique sur les fertilisants constitués d'argile, d'algues et du mélange argile-algues. vol. 12, n° 3, p.p. 45–52.

- **El Boukhari, M.E., Barakate, M., Hafidi, M., Ouhdouch, Y., Lyamlouli, K. (2021).** Effect of Seaweed Liquid Extract of *Sargassum vulgare* on Growth of Durum Wheat Seedlings (*Triticum durum* L) under salt stress. vol. 11, n° 5, p. 1183
- **El Boukhari, M.E., Barakate, M., Lyamlouli, K., Ouhdouch, Y., Hafidi, M. (2020).** A New Biofertilizer Formulation with Enriched Nutrients Content from Wasted Algal Biomass Extracts Incorporated in Biogenic Powders. vol. 12, n° 3, p. 871.
- **El Boukhari, M.E., Barakate, M., Lyamlouli, K., Ouhdouch, Y., Hafidi, M. (2020).** A New Biofertilizer Formulation with Enriched Nutrients Content from Wasted Algal Biomass Extracts Incorporated in Biogenic Powders. vol. 9, n° 3, p. 871.
- **El Zokm, G., Al-Kaf, A., Al-Hasadi, A. (2018).** Determination of Heavy Metals, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, Cd and Pb in *Sargassum vulgare* and *Pterocladia capillacea* Marine Algae in Libyan Coast of Al-Khoms. vol. 7, n° 2, p.p 45–52.
- **Elbakkosh, Ali M., Masoud M. Godeh, Fadila H. Budabous, AbdelKafe A. Alkhfaify.(2020)** . utilization of brown seaweed extracts as bio fertilizer on growth of wheat .vol 1.,n°2
- **El-Beltagi, H., Mohamed, A. (2022).** Impact of Ultrasound- and Microwave-Assisted Extraction on Bioactive Compounds and Biological Activities of *Jania rubens* and *Sargassum muticum*. vol. 27, n° 9, p. 2763.
- **Félix, C., Sousa, C. (2022).** Potential use of *Sargassum muticum* as source of plant biostimulants after three different drying methods. *Journal of Applied Phycology*, vol. 34, n° 2, p. 1023–1033
- **Fernández, C., López, A., Martínez, J. (2022).** The Biostimulant Effect of Hydroalcoholic Extracts of *Sargassum* spp. in Tomato Seedlings under Salt Stress. vol. 13, n° 7, p. 1598.
- **García-Vaquero, M., Rajauria, G., O'Doherty, J., Sweeney, T. (2017).** Integrated valorization of *Sargassum muticum* in biorefineries. vol. 243, n° –, p.p 867–873.
- **Guiry, M.D. (2001).** Macroalgae of Rhodophycota, Phaeophycota, Chlorophycota, and two genera of Xanthophycota
- **Guiry, M. D. in Guiry, M. D. & Guiry, G. M. (2017).** *Sargassum vulgare* var. *socialis* Grunow, 1916. à l'adresse [:https://www.algaebase.org/search/species/detail/?species\\_id=65877](https://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=65877) Consulté le 23 juin 2025
- **Holdt, S. L., & Kraan, S. (2011).** *Bioactive compounds in seaweed: Functional food applications and legislation.* *Journal of Applied Phycology*.vol.23, p. 543–597
- **Khan, M.A., Ahmad, I. (2017).** Effect of brown algae as biofertilizer materials on pepper (*Capsicum annuum*) growth, yield, and fruit quality. vol. 7, n° 12, p. 1434–1440.
- **Khan, W., Rayirath, U. P., Subramanian, S., Jithesh, M. N., Rayorath, P., Hodges, D. M., Critchley, A. T., Craigie, J. S., Norrie, J., & Prithiviraj, B. (2009).** Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation*, vol. 28, n° 4, p.p. 386–399.

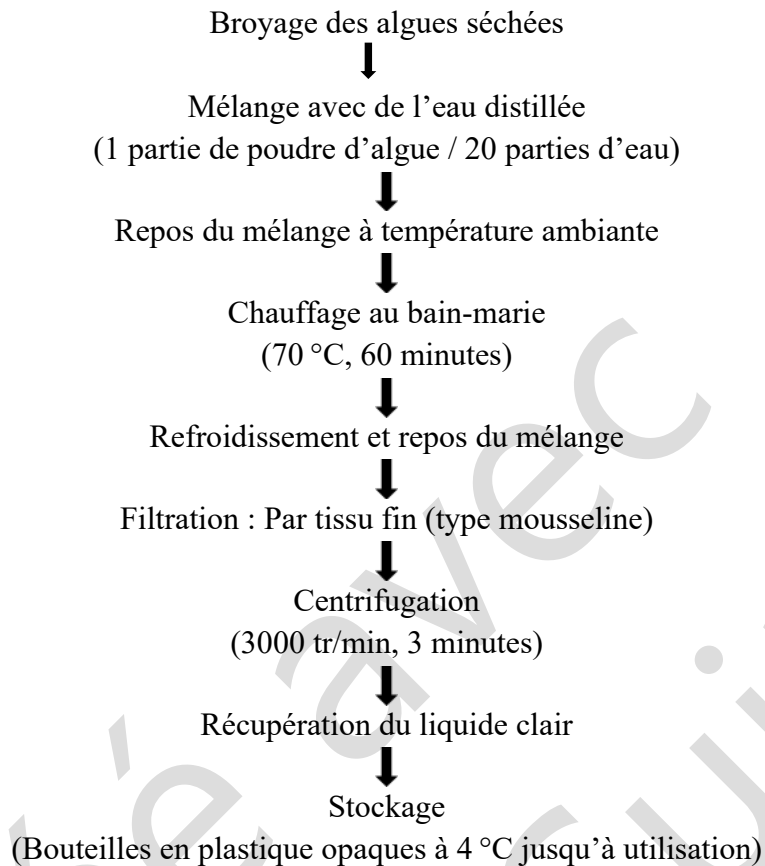
- **Khan, W., Rayirath, U.P., Subramanian, S., Jithesh, M.N., Rayorath, P., Hodges, D.M., Critchley, A.T., Craigie, J.S., Norrie, J., Prithiviraj, B. (2009).** Effect of liquid seaweed extracts as biostimulant on vegetative growth of soybean. vol. 15, n° 3, p.p. 283–289.
- **Khebou, Y. (2022).** Détermination de la teneur en azote et en protéines par la méthode KJELDAHL
- **Khettaoui, Imane (2016).** Contribution à l'étude phytochimique et activité antibactérienne de l'algue verte *Caulerpa racemosa* de la côte mostaganémoise. Mémoire de fin d'études, master en Biologie, spécialité Biotechnologie des micro-organismes. Mostaganem : Université Abdelhamid Ibn Badis – Mostaganem, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biologie, p.75.
- **Kumar, M., Sahoo, D. (2011).** Production of bio-fertilizer from *Ascophyllum nodosum* and *Sargassum muticum* (Phaeophyceae). vol. 23, n° 4, p.p. 889–893.
- Kumar, R., Singh, A., Sharma, P. (2018). Effect of seaweed extract on different vegetables as a bio fertilizer in farming. vol. 9, n° 2, p.p. 56–62.
- **LIDA Plant Research. (2023).** Les biofertilisants : types, fonctions et avantages. (en ligne). (consulté le 30/05/2025). Disponible sur le site : <https://www.lidaplantresearch.com/biofertilisants/biofertilisants-types-fonctions-et-avantages/?lang=fr>
- **Lopes, G., Silva, A., Pinto, D., Sousa-Pinto, I., Andrade, P.B., Valentão, P. (2020).** Seaweed Phenolics: From Extraction to Applications. vol. 11, n° 12, p. 580.
- Machado, A., Freitas, A.C., Ferreira, I.F., Lopes, G., Nunes, C., Coimbra, M.A., **Pinto, D., Rocha-Santos, T., Gomes, A.M. (2020).** Antioxidant and Antitumoral Properties of Aqueous Fractions from Frozen *Sargassum muticum*. vol. 9, n° 3, p. 174.
- **Maçik, Mateusz, Gryta, Agata, & Fraç, Magdalena. (2020).** Biofertilizers in agriculture: An overview on concepts, strategies and effects on soil microorganisms. *Advances in Agronomy*, vol. 162, p.p. 31–87.
- **Martín Carrillo O. (2021).** avantage de biofertilisant appliqués aux cultures de petit fruit. [en ligne]. [consulté le 30/05/2025]. Disponible sur le site : <https://blueberriesconsulting.com/fr/ventajas-de-los-biofertilizantes-aplicados-a-los-cultivos-de-berries/>
- **Méndez, R., García, M., Sánchez, E. (2021).** Application of *Sargassum muticum* as a nature-based fertilizer to enhance the growth of *Capsicum annuum* L. plants. vol. 10, n° 5, p.p. 1423–1434.
- **Mermoul, Kenza ; Boufenara, Khadid (2018).** Évaluation de l'activité antioxydante chez les deux espèces d'algue verte (*Ulva lactuca*) et l'algue brune (*Sargassum vulgare*). Mémoire de fin d'études, master en Sciences biologiques, spécialité Biochimie de la nutrition et santé. Constantine : Université des Frères Mentouri Constantine, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biochimie et Biologie Cellulaire et Moléculaire, p.85
- **Michalak, I., & Chojnacka, K. (2015).** *Algae as production systems of bioactive compounds. Engineering in Life.* Vol. 15. n° 2, p.p 160–176

- Modern Agriculture Farm. (s.d.). Biofertilisants en agriculture : les types, avantages. [en ligne]. [consulté le 30/05/2025]. Disponible sur le site : [https://fr.modernagriculturefarm.com/technologie/1003002242.html?utm\\_source=chatgpt.com](https://fr.modernagriculturefarm.com/technologie/1003002242.html?utm_source=chatgpt.com)
- **Moussa, M., Benali, M., El Amrani, F. (2019).** Étude des propriétés physico-chimiques et microbiologiques d'un biofertilisant élaboré à partir d'un mélange de résidus de récolte, d'un consortium bactérien et de roche phosphatée. vol. 45, n° 2, p.p123–130.
- **Murphy, J., & Riley, J. P. (1962).** A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, n° 27, 31–36
- **NAIMI, A. (2014).** Impact d'un biofertilisant liquide sur la croissance, la production et la qualité de la tomate, mémoire de magister. *Biotechnologie végétale*. Blida : UNIVERSITE DE BLIDA 1.p.p.42-44
- **Patel, A., Shah, M., Desai, S. (2020).** Utilization of brown seaweed extracts as biofertilizer on growth of wheat. vol. 15, n° 3, p. 210–217.
- **Patel, S., Kumari, P., Pandey, S. (2023).** Using brown seaweed as a biofertilizer in the crop management industry and assessing the nutrient upliftment of crops. vol. 8, n° 2, p.p 145–156
- **Peteiro, C., Sánchez, N., Martínez, B. (2021).** Boom-bust of *Sargassum muticum* in northern Spain: 30 years of invasion. vol. 66, n° 2, p. 201–210.
- **Pien, S., Brébion, J., Jacquette, J.-M., Rusig, A.-M., Lefebvre, V., Dehail, M., Mussio, I., Maine, L. 2016.** Étude de l'algue invasive *Sargassum muticum* en vue d'une exploitation et d'une valorisation en Normandie. Rapport d'activité, document non publié. Blainville-sur-Mer : SMEL (Synergie Mer et Littoral).
- **Pinta, A. (1973).** Méthodes de référence pour la détermination des éléments minéraux dans les végétaux : Détermination des éléments Ca, Mg, Fe, Mn, Zn et Cu par absorption atomique (I). *Oléagineux*, vol. 28, n° 2, p. 87.
- **Raji, A., Sani, A., Olanrewaju, F. (2019).** The Use of *Sargassum* sp. Extract as a Bio-Fertilizer. vol. 5, n° 1, p.p 101–110
- **Rouphael, Y., Colla, G. (2020).** Plant biostimulants: Innovative tool for enhancing plant nutrition in organic farming. vol. 11, n° 4, p. 659
- **Sahoo, Dinabandhu ; Seckbach, Joseph (2015).** *The Algae World*. Dordrecht : Springer, 598 p.
- **Serpil, S. (2012).** An Agricultural Pollutant: Chemical Fertilizer. vol. 3, n°1, pp. 73-80.
- **Sathiyaraj, S., Senthilkumar, R., Rajesh, M. (2016).** Foliar application of liquid biofertilizer of brown alga *Stoechospermum marginatum* on growth, biochemical and yield of *Solanum melongena*. vol. 49, n° 1, p. p.20–27.
- **Smetacek, V., & Zingone, A. (2013).** Green and golden seaweed tides on the rise.vol.504.p.p.84–86
- **Singh, R., Kumar, V., Kumar, S., Singh, D. (2021).** The potential of seaweed extracts as a biostimulant for improving salt stress tolerance of *Solanum lycopersicum* L. vol. 12, n° 4, p. p.435–442.

- **Sivakumar, G., Rengasamy, R., Kathiresan, K. (2015).** Combination of different marine algal extracts as biostimulant and biofungicide. *vol. 5, n° 6, p.p. 8–11.*
- Symnaczik, Sarah, Mäder, Paul & Romano, Ida. (2022). *Biofertilisants* (Fiche technique n° 1240, 14 pp.)
- **Taiek, T. Boutaleb, N. Bahlaouan, B. El Jaafari, A. Khrouz, H. Safi, A. El Antri, S. (2014).** Valorisation de déchets de poisson alliés à des rejets brassicoles en vue d'obtenir un biofertilisant, n°68, p.p.30-36
- **TEDJINI Zaza.(2023).** Effet de la fertilisation azotée et du bio-fertilisation sur la culture de l'olivier,mémoire de master, Production végétale. Mostaganem : universite ubdelhamide ibd-badis.p.p.36-39
- Trouillet, Florence. (s.d.). Dosage des ions phosphate .p. 1–3. [en ligne]Disponible sur le site :  
<https://eduterre.ens-lyon.fr/thematiques/hydro/littoral/investigationlittorale/Fiche%20methode%20phosphates.pdf>
- **Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002).** Agricultural sustainability and intensive production practices. *vol. 418, p.p. 671–677*

# **Annexe**

## Annexe 1 : procédé expérimentale



## Annexe 2 : Les analyses physicochimiques

### 1. Le dosage de l'azote total :

Afin de contrôler la fiabilité du protocole et d'éliminer toute interférence due aux réactifs ou au matériel, un échantillon blanc a été préparé selon la procédure suivante :

Dans un ballon Kjeldahl propre, 2 g du catalyseur Kjeldahl ont été introduits, puis 20 ml d'acide sulfurique concentré ( $H_2SO_4$ ) ont été ajoutés. Le mélange a été chauffé progressivement jusqu'à obtention d'une solution limpide, indiquant la fin de la digestion.

Par la suite, les étapes de distillation, de collecte de l'ammoniac et de titrage ont été réalisées conformément au protocole décrit dans le chapitre "Matériel et Méthodes", à l'identique de celles appliquées aux échantillons contenant la poudre d'algue.

### 2. Le dosage de phosphore total :

Préparation de la gamme d'étalonnage

La solution étalon a été préparée selon le protocole suivant :

Solution mère :

Une masse appropriée de dihydrogénophosphate de potassium ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) a été dissoute dans 800 mL d'eau distillée. Le volume final a ensuite été ajusté à 1 litre avec de l'eau distillée, puis homogénéisé par agitation.

Solution fille :

Un volume de 10 mL de la solution mère a été prélevé et dilué à 100 mL avec de l'eau distillée afin d'obtenir une solution étalon de concentration inférieure, utilisée pour l'établissement de la courbe d'étalonnage.

### Annexe 3 : résultats analytiques

#### 1. La teneur en azote total :

Tableau 1: Résultat de titrage

	Blanc (mg /l)	Echantillon (mg/l)
01	0.4	2,4
02	0.4	2,4
03	0.4	2, 3

#### 2. La teneur de phosphore total :

Tableau 2: résultat de gamme d'étalonnage

Identity	$\text{PO}_4$ ( $\mu\text{mol / l}$ )
ST0	0
ST1	0,7011
ST2	1,1341
ST3	1,4958
ST4	2,2058
ST5	2,5995

### Annexe 4 : essai agronomique

Tableau 3 : paramètres mesurés

Dose	Echantillon	Nombre des feuilles	Hauteur	Langueur
<b>témoin</b>	1	3	4,5	0
	2	3	5,7	0,1
	3	3	7	0,1
	4	3	2,7	0
<b>T 15%</b>	1	5	6,5	0
	2	5	7,4	0
	3	5	7,2	0,1
	4	6	8,8	0,1
<b>T 25%</b>	1	4	5,1	0
	2	4	5,3	0
	3	5	8	0
	4	0	4	0,1

**Tableau 4** : résultat d'analyse statistique des paramètres

	dose	Moyenne	Ecart type	Nombre des échantillons
Nombre des feuilles	témoin	3,000	0,0000	4
	dose 15%	5,250	0,5000	4
	dose25%	3,250	2,2174	4
	Total	3,833	1,5859	12
hauteur	témoin	4,975	1,8283	4
	dose 15%	7,475	0,9639	4
	dose25%	5,600	1,6990	4
	Total	6,017	1,7842	12

# **Annexe**

الجزائرية الديمقراطية الشعبية الجمهورية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme

D'Ingénieur et de Master en Science de la Mer

Option : Biotechnologie Marine

Thème :

Production d'un biofertilisant à base d'algues marines  
enrichies par *Enterococcus spp.*

Soutenu dans le cadre de l'arrêté ministériel 1275

Présenté par :

- ABDLGHAFOUR Imene
- BENABDALLAH Habiba
- FALEK Nessrine
- HADDAR Imene

Soutenu le 09 / 07 / 2025 devant le jury suivant :

Mme OUAFIL	MCA	Promotrice	ENSSMAL
Mme CHAOU.N	MAA	Promotrice	ENSSMAL
Mme MERRAD.A	MAA	Co-Promotrice	ENSSMAL
INCUBATEUR		Examineur	ENSSMAL

# Table des matières

<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>Premier axe : Présentation du projet.....</b>	<b></b>
1. L'idée de projet (la solution proposée).....	2
2. Les valeurs suggérées : .....	3
3. L'équipe .....	3
4. Les objectifs du projet.....	4
5. Le planning de réalisation du projet.....	4
<b>Deuxième axe : Aspects innovants.....</b>	<b></b>
1. La nature des innovations.....	5
2. Les domaines d'innovation.....	5
<b>Troisième axe : Analyse stratégique du marché.....</b>	<b></b>
1. Le segment du marché.....	5
2. La mesure de l'intensité de la concurrence.....	5
2.1 Présentation des concurrents.....	Erreur ! Signet non défini.6
3. analyse SWOTE .....	8
4. Analyse PESTEL.....	9
5. La stratégie marketing.....	10
5.1 Présentation de la charte de notre entreprise.....	10
5.2 Les 4 P.....	10
<b>Quatrième axe : Plan de production et organisation.....</b>	<b></b>
2. L'approvisionnement.....	13
4. Les principaux partenaires.....	14
<b>Cinquième axe : Plan financier.....</b>	<b>15</b>
<b>Sixième axe : Prototype expérimental.....</b>	<b>25</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>26</b>

## **Introduction :**

Dès l'Antiquité, les civilisations agricoles utilisaient des matières organiques pour enrichir leurs sols. Les Égyptiens utilisaient les alluvions du Nil, tandis que les Chinois effectuaient la fermentation de déchets organiques il y a plus de 2000 ans.

La première utilisation scientifiquement documentée des biofertilisants remonte à 1838 par le botaniste français Jean-Baptiste Boussingault qui a démontré le rôle des légumineuses dans la fixation de l'azote atmosphérique.

L'essor de ces biofertilisants modernes débuta vers la fin du 19<sup>ème</sup> siècle grâce aux travaux de Martinus Beijerinck aux Pays-Bas que furent isolées en 1888 les premières souches de *Rhizobium* (*Bacillus radicola* initialement).

Les années 1980 marquèrent un tournant avec l'introduction des biofertilisants à base d'algues, initialement développés en Norvège par la société Algea. Parallèlement, la découverte des propriétés des bactériocines dans les années 1990 par Tagg et McGiven ouvrit de nouvelles perspectives pour la protection biologique des cultures.

Aujourd'hui, le marché mondial des biofertilisants représente plus de 2,8 milliards de dollars et connaît une croissance annuelle de 12%, témoignant de l'urgence mondiale de transition vers une agriculture durable.

L'agriculture fait face à des défis majeurs liés à la dégradation des sols, à la salinisation et à l'usage intensif d'engrais chimiques. Dans ce contexte, le développement de solutions biotechnologiques innovantes devient une priorité nationale pour assurer une agriculture durable et productive.

## Premier axe : Présentation du projet

### 1. L'idée de projet (la solution proposée) :

Le projet vise à développer un biofertilisant innovant à base d'algues marines locales, enrichi en bactériocines produites par des souches spécifiques du genre *Enterococcus*. Cette solution combine des propriétés nutritives naturelles et une action antimicrobienne ciblée, permettant de fertiliser les sols tout en améliorant leur santé microbienne.

Dans un contexte où l'agriculture algérienne fait face à l'épuisement des sols et à la dépendance aux engrais chimiques importés, cette alternative écologique, biodégradable et compatible avec l'agriculture biologique répond à un double enjeu : productivité durable et protection de l'environnement.



Figure : logo de l'entreprise

## 2. Les valeurs suggérées :

L'entreprise s'inscrit dans une démarche éthique et durable, guidée par des principes forts qui reflètent son engagement envers l'environnement, l'innovation et les acteurs du monde agricole. Ses valeurs fondamentales sont les suivantes : Respect de la nature et des cycles biologiques.

- **Respect de la nature** : adoption de pratiques responsables qui préservent les écosystèmes et les cycles biologiques.
- **Innovation biotechnologique** : développement de solutions naturelles, efficaces et adaptées aux défis agricoles actuels.
- **Proximité avec les acteurs du terrain** : collaboration étroite avec les agriculteurs et valorisation des savoir-faire locaux.
- **Qualité et transparence** : garantie de produits fiables, traçables et conformes aux normes environnementales.
- **Valorisation des ressources marines locales** : utilisation raisonnée des algues pour créer un impact écologique et socio-économique positif.

## 3. L'équipe :

Le projet est porté par une équipe jeune, dynamique et entièrement formée en biotechnologie marine, apte à valoriser les ressources biologiques maritimes de manière innovante et responsable. Chaque membre occupe un poste stratégique :

- ❖ **ABDELGHAFOR Imene** : Directrice Commerciale et Marketing
- ❖ **BENABDELLAH Habiba** : Directrice Financière
- ❖ **FALEK Nessrine** : Responsable de production
- ❖ **HADDAR Imene** : Responsable du R&D

Cette synergie entre compétences scientifiques, techniques et managériales constitue un levier majeur de réussite du projet.

#### 4. Les objectifs du projet :

Ce projet s'inscrit pleinement dans une logique de développement durable et vise à répondre aux enjeux environnementaux, économiques et sociaux actuels. Ses objectifs stratégiques sont les suivants :

- Offrir une solution écologique et performante en remplacement des engrais chimiques traditionnels.
- Valoriser les ressources naturelles locales, en particulier les algues marines disponibles sur le littoral algérien.
- Soutenir la transition vers une agriculture biologique, plus respectueuse de la santé humaine et de l'environnement.
- Sensibiliser et accompagner les agriculteurs dans l'adoption de pratiques agricoles durables et innovantes.

#### 5. Le planning de réalisation du projet :

		1	2	3	4	5	6	7
1	Études préalables : choix de l'implantation de l'unité de production, préparation des documents nécessaires.	✗						
2	Commande des équipements		✗					
3	Installation des équipements			✗				
4	Achat de matières premières				✗			
5	Réalisation du prototype					✗		
6	Distribution des produits							✗

## Deuxième axe : Aspects innovants

### 1. La nature des innovations :

Ce projet se distingue par le développement d'un biofertilisant de nouvelle génération, reposant sur une synergie inédite entre ressources marines et biotechnologie microbienne. Deux innovations principales le caractérisent :

- **L'utilisation d'algues marines** comme source naturelle de nutriments essentiels et de composés bioactifs bénéfiques à la croissance des plantes.
- **L'enrichissement en bactériocines issues du genre *Enterococcus***, offrant une protection biologique contre les pathogènes du sol, sans recours aux produits chimiques de synthèse.

### 2. Les domaines d'innovation :

Le projet s'inscrit dans une dynamique multidimensionnelle, couvrant plusieurs axes d'innovation complémentaires :

- **Technologique** : intégration des biotechnologies marines et microbiennes dans la conception d'intrants agricoles.
- **Écologique** : valorisation durable des algues et réduction significative de l'usage d'intrants chimiques.
- **Sociale** : soutien à une agriculture saine, locale et inclusive, en particulier au bénéfice des jeunes agriculteurs et des zones rurales.
- **Commerciale** : adoption d'un modèle de distribution innovant, fondé sur l'abonnement, la vente directe et un accompagnement personnalisé des utilisateurs.

## Troisième axe : Analyse stratégique du marché

Cette enquête vise à évaluer l'intérêt pour un biofertilisant conçu à partir d'algues marines, auprès d'utilisateurs situés dans la région d'Alger.

Un questionnaire comportant 17 questions a été élaboré afin de mieux connaître les profils des répondants, leurs pratiques actuelles en matière de fertilisation, leurs besoins spécifiques et les obstacles éventuels à l'usage de solutions naturelles. Cette étude a également pour objectif d'identifier les formats privilégiés, les niveaux de prix acceptables, les bénéfices attendus, ainsi que les canaux de distribution les plus adaptés à ce type de produit.

### 1. Le segment du marché :

Le biofertilisant s'adresse principalement aux acteurs suivants :

- Agriculteurs biologiques ou en conversion vers le bio.

- Coopératives agricoles cherchant des alternatives naturelles.
- Distributeurs d'intrants agricoles écologiques.
- ONG et projets de développement rural.

Ce segment est en pleine croissance, porté par une prise de conscience environnementale et un soutien accru aux pratiques durables.

## **2. La mesure de l'intensité de la concurrence :**

L'étude de l'offre analyse les produits déjà présents sur le marché et les concurrents. Elle aide à repérer les points forts et faibles des offres existantes afin de mieux positionner son propre produit.

### **2.1 Présentation des concurrents :**

Avec la montée des préoccupations environnementales et le développement de l'agriculture durable en Algérie, les pratiques agricoles commencent à évoluer. De plus en plus d'agriculteurs cherchent à réduire leur dépendance aux engrais chimiques au profit de solutions plus naturelles et respectueuses des sols.

Dans ce contexte, le marché des biofertilisants connaît une croissance progressive, encouragée par la disponibilité locale de matières premières organiques, comme les déchets végétaux ou marins. Plusieurs acteurs, locaux et importés, investissent ce segment avec des produits variés, parfois bien positionnés mais souvent peu adaptés aux réalités du terrain.

La concurrence reste modérée mais grandissante, avec l'entrée de petites entreprises locales, de coopératives, et de marques importées. Toutefois, l'absence de normes strictes et la variabilité de la qualité posent encore des défis.

Nos principaux concurrents identifiés sont :

- **Sorfert Algérie**
- **Asmidal / Fertial**
- **Metuin Biotuin**
- **Agrichem Algérie**
- **Safior (Azzrou Group)**
- **Fertiplant Algérie**
- **Agronutrition**

## 2.2 La gamme des produits offre par les concurrents :

Entreprise	Type de produits	Conditionnement typique	Prix estimatif
<b>Sorfert Algérie</b>	Engrais NPK, azotés	Sacs 25 kg, big-bags	8 000–12 000 DA / sac
<b>Asmidal / Fertial</b>	Urée, DAP, NPK, micronutriments	Sacs 25 kg, granulés	7 000–14 000 DA / sac
<b>Metuin – Biotuin</b>	Biofertilisants (micro-organismes)	Flacons 1–5 L, sachets	1 500–4 000 DA / L
<b>Agrichem Algérie</b>	Engrais multiples, oligoéléments	Sacs 25 kg, bidons 20 L	9 000–15 000 DA / sac
<b>Safior (Groupe Azzrou)</b>	Fertilisants organo-minéraux	Sacs 25-50 kg	6 000–10 000 DA / sac
<b>Fertiplant Algérie</b>	Biostimulants, produits foliaires	Bidons 5–20 L	2 000–6 000 DA / L
<b>Agronutrition</b>	Engrais liquides et granulés	Bidons 20 L, sacs 25 kg	8 000–13 000 DA / sac

### 3. Analyses SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats):

L'analyse SWOT est une méthode d'analyse stratégique permettant de diagnostiquer la situation d'un projet ou d'une entreprise. Elle repose sur l'identification des facteurs internes, tels que les forces et les faiblesses, ainsi que des facteurs externes, à savoir les opportunités et les menaces. Cette approche est utile pour orienter les choix de développement, détecter les risques et valoriser les forces

#### ➤ **Force :**

- Biodégradable, non toxique et écologique.
- Produit de qualité, fiable et performant.
- Compatible avec l'agriculture biologique.
- Polyvalent, adapté à diverses cultures et applications.
- Favorise l'activité microbiologique du sol.
- Effet bénéfique durable sur la santé du sol et des plantes.

#### ➤ **Faiblesses :**

- Effets lents et visibles à moyen/long terme.
- Coût de production élevé.
- Faible notoriété auprès des agriculteurs conventionnels.
- Sensibilité à la dégradation pendant le stockage.

#### ➤ **Opportunités :**

- Orientation nationale vers une agriculture plus durable et moins dépendante des intrants chimiques.
- Soutien croissant de la recherche scientifique en biotechnologie marine et fertilisation naturelle.
- Hausse de la demande en produits issus de l'agriculture biologique, sur les marchés locaux et internationaux.
- Possibilité d'intégrer le projet dans les stratégies de valorisation durable du littoral algérien.
- Accès potentiel à des financements verts et à des programmes de soutien internationaux.

#### ➤ **Menace :**

- Concurrence importante des biointrants établis sur le marché agricole.
- Risques écologiques liés à une exploitation non régulée des algues marines.
- Instabilité des politiques agricoles nationales freinant l'innovation.
- Absence de cadre juridique spécifique pour les biofertilisants à base d'algues.
- Vulnérabilité des ressources algales face au changement climatique et à la pollution marine.

#### 4. Analyse PESTEL :

L'analyse PESTEL est un outil d'analyse stratégique utilisé pour évaluer les influences externes qui peuvent affecter un projet ou une entreprise. Elle examine les facteurs politiques, économiques, socioculturels, technologiques, écologiques et légaux, afin de mieux cerner les opportunités et les menaces présentes dans l'environnement macroéconomique. Cette analyse permet d'orienter les décisions stratégiques en tenant compte des dynamiques externes.

Facteur	Opportunités	Contraintes
Politique	<ul style="list-style-type: none"><li>- Soutien à l'agriculture durable</li><li>- Réduction des importations d'engrais</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Instabilité des politiques</li><li>- Flou réglementaire sur les biofertilisants</li></ul>
Économique	<ul style="list-style-type: none"><li>- Coût faible de la ressource (algues)</li><li>- Marché local demandeur</li><li>- Coût élevé des engrais importés</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Accès limité au financement</li><li>- Pouvoir d'achat bas de certains agriculteurs</li></ul>
Socioculturel	<ul style="list-style-type: none"><li>- Intérêt des jeunes agriculteurs pour l'agriculture bio</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Résistance au changement</li><li>- Méfiance envers les nouveaux produits</li></ul>
Technologique	<ul style="list-style-type: none"><li>- Présence d'universités et laboratoires en biotechnologie</li><li>- Possibilité de recherche locale</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Faible R&amp;D appliquée</li></ul>
Environnemental	<ul style="list-style-type: none"><li>- Présence d'algues disponibles</li><li>- Valorisation de déchets marins</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Collecte et conservation complexes</li><li>- Risque de mauvaise gestion des ressources</li></ul>
Légal	<ul style="list-style-type: none"><li>- Réformes en cours pour l'économie verte</li><li>- Soutien aux produits biologiques</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Pas de normes précises pour les biofertilisants</li><li>- Procédures administratives lourdes</li></ul>

#### 5. La stratégie marketing :

##### 5.1 Présentation de la charte de notre entreprise :

**Novaterra** est une entreprise innovante orientée vers la fabrication et la mise en marché de biofertilisants issus des algues marines. Ce créneau écologique, encore peu exploité en Algérie, présente de nombreuses opportunités, notamment dans la région d'Alger, où l'on observe une présence limitée d'acteurs dans ce domaine.

Notre projet se distingue par l'exploitation durable des ressources maritimes locales pour développer des solutions fertilisantes naturelles, en phase avec les exigences d'une agriculture respectueuse de l'environnement.

Dans cette étude, nous exposerons les principales activités de **Novaterra**, les étapes clés du procédé de production, les équipements nécessaires pour la mise en œuvre du projet, ainsi que les besoins en ressources humaines pour assurer son bon fonctionnement.

## **5.2 Les 4 P :**

Le modèle des 4 P du marketing, également connu sous le nom de marketing mix, est un outil essentiel pour la mise en place d'une stratégie commerciale efficace. Il repose sur quatre axes le produit, le prix, la distribution et la communication. Ce cadre permet d'adapter l'offre aux attentes du marché, d'optimiser la visibilité du produit et de maximiser sa valeur perçue auprès des consommateurs.

### **1. Produit :**

Le produit développé par **Novaterra** est un biofertilisant innovant, combinant les propriétés naturelles des algues marines avec les effets antimicrobiens des bactériocines produites par des souches sélectionnées du genre *Enterococcus*. Ce fertilisant est conçu pour enrichir le sol en éléments nutritifs essentiels tout en améliorant la santé microbienne du sol grâce à une action biologique ciblée contre certains agents pathogènes.

## 2. Disposition (place) :

Le biofertilisant sera positionné comme une solution naturelle haut de gamme, et vendu dans les canaux suivants :

- Magasins spécialisés
  - Magasins d'intrants agricoles (semences, engrais, matériel)
  - Coopératives agricoles régionales
  - Boutiques bio ou écoresponsables (en zone urbaine)
  
- Vente directe sur le terrain
  - Démonstrations et foires agricoles (ex : SIPSA-Filaha)
  - Points relais temporaires dans des wilayas agricoles (ex : Sétif, Biskra, Mascara, Ghardaïa)
  - Vente directe par des agents techniques ou agronomes
  
- Vente en ligne
  - Site web marchand officiel de l'entreprise (avec paiement et livraison intégrée)
  - Partenariat possible avec des plateformes e-commerce agricoles locales

## 3. Promotion

La stratégie promotionnelle repose sur une communication ciblée valorisant les atouts écologiques, économiques et agronomiques du biofertilisant. Elle s'articule autour des actions suivantes :

- **Démonstrations sur le terrain** : essais en conditions réelles auprès d'agriculteurs partenaires pour prouver l'efficacité du produit.
- **Supports de communication** : affiches techniques, fiches explicatives, vidéos pédagogiques et contenu digital adapté.
- **Présence sur les réseaux sociaux et événements** : diffusion sur les plateformes professionnelles et participation à des salons agricoles pour accroître la visibilité.
- **Partenariats stratégiques** : collaboration avec des agriculteurs pilotes, des instituts de recherche et des organismes de vulgarisation pour renforcer la crédibilité scientifique et technique.

#### 4. Prix :

<b>Format</b>	<b>Prix indicatif (DA)</b>	<b>Conditionnement</b>	<b>Public ciblé</b>
<b>1L</b>	600DA	Flacon plastique	Jardiniers, petits exploitants
<b>5L</b>	3 000 DA	Bidon standard	Exploitants agricoles moyens
<b>20L</b>	10 000 DA	Jerrycan renforcé	Coopératives, grandes exploitations

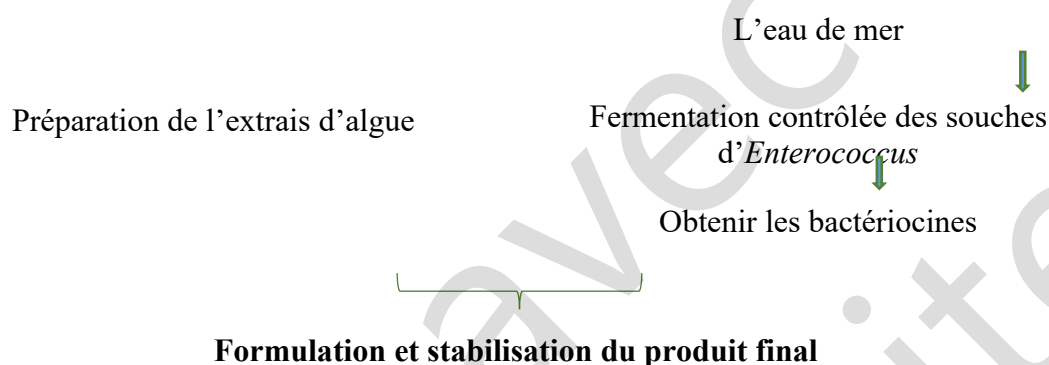
Créé avec  
Officesuite

## Quatrième axe : Plan de production et organisation

### 1. Achat de matières premières

L'achat des matières premières (poudre d'algue) s'effectue en ligne auprès de plusieurs fournisseurs sélectionnés.

### 2. Le Processus de production :



### 3. L'approvisionnement :

L'approvisionnement désigne l'ensemble des opérations visant à assurer la disponibilité continue des ressources nécessaires à la production. Dans le cadre de ce projet, il comprend l'acquisition des algues marines comme matière première principale, ainsi que l'achat de matériel technique, d'intrants biologiques et de solutions d'emballage, auprès de fournisseurs spécialisés.

#### Principaux fournisseurs :

- Fournisseurs de matière première « algue »
- Fournisseurs de matériel et intrants techniques
- Fournisseurs d'emballage et de conditionnement

### 4. La main d'œuvre :

Notre projet crée 12 postes d'emploi direct :

- 2 ingénieurs en microbiologie
- 1 ingénieur en contrôle qualité
- 2 manœuvres (ouvriers polyvalents)

- 2 agents de sécurité
- 2 livreurs
- 2 agents d'entretien
- 1 responsable de projet

## **5. Les principaux partenaires :**

Les partenaires identifiés sont :

- ENSSMAL Incubateur BlueStart
- Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural
- Ministère de l'environnement et du développement durable
- Ministère de commerce
- Ministère de finance
- Ministère de l'industrie
- Office National de Sécurité Sanitaire des Produits Alimentaires
- Direction Générale des Douanes
- Agence Nationale de Développement de l'Investissement
- Centre National du Registre de commerce
- Banques : BADR...
- INAPI
- CNRC
- CNAS
- Fournisseurs : Stations marines d'Annaba ; Centre de recherche marine de Bou Ismaël ; AGRICHEM ALGÉRIE ; OTOLab,...
- Concurrents
- Distributeurs et importateurs : Yara ; Agrodis ; Agritech ; Plateformes e-commerce
- Media : tv, réseaux sociaux

## Cinquième axe : Plan financier

Le plan financier est un Composante essentielle dans tout projet de création d'entreprise. Ce document regroupe l'ensemble des prévisions budgétaires du projet, incluant les investissements initiaux, les charges d'exploitation, les recettes attendues, ainsi que les éventuels bénéfices ou pertes. Il permet d'évaluer la rentabilité et la viabilité économique du projet à court, moyen et long terme. Il aide également à anticiper les besoins en financement, à mieux gérer les ressources disponibles et à prendre des décisions éclairées. En outre, le plan financier constitue un élément clé pour convaincre les partenaires, investisseurs ou organismes de financement du sérieux et du potentiel du projet. Il reflète ainsi la capacité de l'entreprise à être autonome, rentable et durable dans le temps.

### 1. Les Coûts et charges :

Matériel	Prix
Cuves d'extraction inox	150000 DA
Bain-marie industriel ou cuve chauffante	200000 DA
Agitateur mécanique motorisé	150000 DA
Thermomètre digital à sonde	10000 DA
Filtres textiles / sacs	20000 DA
Cuve formulation	60000 DA
Agitateur de formulation	50000 DA
Pompe de remplissage semi-auto	120000 DA
Capsuleuse	50000 DA
Étiqueteuse manuelle	30000 DA
Bidons PEHD	100000 DA
Hotte à flux laminaire	400000 DA
Autoclave	600000 DA
Incubateur (étuve)	400000 DA
Agitateur orbital	250000DA
Fermenteur de labo	1000000 DA
pH-mètre de paillasse	80000 DA
Balance de précision	50000 DA

Plaque chauffante + agitateur magnétique	100000 DA
Centrifugeuse	150000 DA
Boîtes de Pétri	6000 DA

Flacons Erlenmeyer	1500 DA
Tubes à essai + porte-tubes	10000 DA
Milieux de culture	30000 DA
Désinfectants	10000 DA
<b>Matériels de bureau</b>	300000 DA
<b>Totale</b>	<b>4327500 DA</b>

<b>Matière première</b>	700000 DA
<b>Totale</b>	<b>5027500 DA</b>

## Investissements et financements

INVESTISSEMENTS	Montant € hors taxes
<b>Immobilisations incorporelles</b>	<b>250,00</b>
<i>Frais d'établissement</i>	250,00
<i>Frais d'ouverture de compteurs</i>	
<i>Logiciels, formations</i>	
<i>Dépôt marque</i>	
<i>Droits d'entrée</i>	
<i>Achat fonds de commerce ou parts</i>	
<i>Droit au bail</i>	
<i>Caution ou dépôt de garantie</i>	
<i>Frais de dossier</i>	
<i>Frais de notaire ou d'avocat</i>	
<b>Immobilisations corporelles</b>	<b>6 328,00</b>
<i>Enseigne et éléments de communication</i>	
<i>Achat immobilier</i>	
<i>Travaux et aménagements</i>	2 000,00
<i>Matériel</i>	4 028,00
<i>Matériel de bureau</i>	300,00
<b>Stock de matières et produits</b>	<b>700,00</b>
<b>Trésorerie de départ</b>	<b>1 500,00</b>
<b>TOTAL BESOINS</b>	<b>8 778,00</b>
FINANCEMENT DES INVESTISSEMENTS	Montant € hors taxes
<b>Apport personnel</b>	<b>778,00</b>
<i>Apport personnel ou familial</i>	778,00
<i>Apports en nature (en valeur)</i>	-
<b>Emprunt</b>	-
<i>Prêt bancaire</i>	-
<i>Prêt bancaire</i>	-
<i>Prêt bancaire</i>	-
<i>Prêt bancaire</i>	-
<b>Subvention</b>	<b>8 000,00</b>
<b>Autre financement</b>	-
<b>TOTAL RESSOURCES</b>	<b>8 778,00</b>

## Détail des amortissements

	Année 1	Année 2	Année 3
<b>Amortissements incorporels</b>	<b>50,00</b>	<b>50,00</b>	<b>50,00</b>
<i>Frais d'établissement</i>	50,00	50,00	50,00
<i>Logiciels, formations</i>	0,00	0,00	0,00
<i>Droits d'entrée</i>	0,00	0,00	0,00
<i>Frais de dossier</i>	0,00	0,00	0,00
<i>Frais de notaire ou d'avocat</i>	0,00	0,00	0,00
<b>Amortissements corporels</b>	<b>1 265,60</b>	<b>1 265,60</b>	<b>1 265,60</b>
<i>Enseigne et éléments de communication</i>	0,00	0,00	0,00
<i>Achat immobilier</i>	0,00	0,00	0,00
<i>Travaux et aménagements</i>	400,00	400,00	400,00
<i>Matériel</i>	805,60	805,60	805,60
<i>Matériel de bureau</i>	60,00	60,00	60,00
<b>Total amortissements</b>	<b>1 315,60</b>	<b>1 315,60</b>	<b>1 315,60</b>

Nombre	Employés	Salaire
<b>2</b>	Ingénieur on microbiologie	50000 DA
<b>1</b>	Ingénieur on biotechnologie	60000 DA
<b>2</b>	Manœuvre	35000 DA
<b>2</b>	Agent de sécurité	26000 DA
<b>2</b>	Livreur	45000 DA
<b>2</b>	Agent d'entretien	25000 DA
<b>1</b>	Responsable	80000 DA

## Salaires et charges sociales

	Année 1	Année 2	Année 3
Rémunération du (des) dirigeant(s) % augmentation	3 200,00	3 200,00	3 200,00
Charges sociales du (des) dirigeant(s)	1 440,00	1 440,00	1 440,00
Salaires de ses employés % augmentation	6 024,00	6 024,00	6 024,00
		0%	0%
		0%	0%

## 2. Le Chiffre

	en ta tio n			d'affaires :
	Année 1	Année 2	Année 3	
Charges sociales employés	4 337,28	4 337,28	4 337,28	
<b>Produits d'exploitation</b>	<b>112 992,00</b>	<b>118 641,60</b>	<b>124 573,68</b>	
Chiffre d'affaires HT	112 992,00	118 641,60	124 573,68	
Chiffre d'affaires HT autres services	-	-	-	
<b>Charges d'exploitation</b>	<b>67 795,20</b>	<b>71 184,96</b>	<b>74 744,21</b>	
Achats consommés	67 795,20	71 184,96	74 744,21	
<b>Marge brute</b>	<b>45 196,80</b>	<b>47 456,64</b>	<b>49 829,47</b>	

### • Chiffre d'affaires attendu (le scénario réaliste, pessimiste et le scénario optimiste) :

	scénario (réaliste) N	scénario (pessimiste) N-1	scénario (optimiste) N+1
<b>Quantité de produit (litre)</b>	28248	14124	42372
<b>Prix (DA)</b>	600	600	600
<b>Ventes produit (litre)</b>	18832	9416	28248
<b>Chiffre d'affaire (DA)</b>	<b>11299200</b>	<b>5649600</b>	<b>16948800</b>

## 3. Les Comptes de résultats escomptés :

### Compte de résultats prévisionnel sur 3

Année 1 : Année 2 : Année 3

<b>Produits d'exploitation</b>	<b>112 992,00</b>	<b>118 641,60</b>	<b>124 573,68</b>
<i>Chiffre d'affaires HT</i>	<i>112 992,00</i>	<i>118 641,60</i>	<i>124 573,68</i>
<i>Chiffre d'affaires HT autres services</i>	-	-	-
<b>Charges d'exploitation</b>	<b>67 795,20</b>	<b>71 184,96</b>	<b>74 744,21</b>
<i>Achats consommés</i>	<i>67 795,20</i>	<i>71 184,96</i>	<i>74 744,21</i>
<b>Marge brute</b>	<b>45 196,80</b>	<b>47 456,64</b>	<b>49 829,47</b>
<b>Charges externes</b>	<b>2 935,00</b>	<b>2 935,00</b>	<b>2 935,00</b>
<i>Assurances</i>	<i>105,00</i>	<i>105,00</i>	<i>105,00</i>
<i>Téléphone, internet</i>	<i>40,00</i>	<i>40,00</i>	<i>40,00</i>
<i>Autres abonnements</i>	-	-	-
<i>Carburant, transports</i>	<i>500,00</i>	<i>500,00</i>	<i>500,00</i>
<i>Frais de déplacement et hébergement</i>	-	-	-
<i>Eau, électricité, gaz</i>	<i>200,00</i>	<i>200,00</i>	<i>200,00</i>
<i>Mutuelle</i>	-	-	-
<i>Fournitures diverses ex pp</i>	-	-	-
<i>Entretien matériel et vêtements</i>	-	-	-
<i>Nettoyage des locaux</i>	-	-	-
<i>Budget publicité et communication</i>	<i>500,00</i>	<i>500,00</i>	<i>500,00</i>
<i>Loyer et charges locatives</i>	<i>1 440,00</i>	<i>1 440,00</i>	<i>1 440,00</i>
<i>Expert-comptable, avocats</i>	<i>150,00</i>	<i>150,00</i>	<i>150,00</i>
	-	-	*
	-	-	*
	-	-	-
<b>Valeur ajoutée</b>	<b>42 261,80</b>	<b>44 521,64</b>	<b>46 894,47</b>
<b>Impôts et taxes</b>	-	-	-
<b>Salaires employés</b>	<b>6 024,00</b>	<b>6 024,00</b>	<b>6 024,00</b>
<i>Charges sociales employés</i>	<i>4 337,28</i>	<i>4 337,28</i>	<i>4 337,28</i>
<b>Prélèvement dirigeant(s)</b>	<b>3 200,00</b>	<b>3 200,00</b>	<b>3 200,00</b>
<i>Charges sociales dirigeant(s)</i>	<i>1 440,00</i>	<i>1 440,00</i>	<i>1 440,00</i>
<b>Excédent brut d'exploitation</b>	<b>27 260,52</b>	<b>29 520,36</b>	<b>31 893,19</b>
<b>Frais bancaires, charges financières</b>	-	-	-
<b>Dotations aux amortissements</b>	<b>1 315,60</b>	<b>1 315,60</b>	<b>1 315,60</b>
<b>Résultat avant impôts</b>	<b>25 944,92</b>	<b>28 204,76</b>	<b>30 577,59</b>
<b>Impôt sur les sociétés</b>	<b>3 891,74</b>	<b>4 230,71</b>	<b>4 586,64</b>
<b>Résultat net comptable (résultat de l'exercice)</b>	<b>22 053,18</b>	<b>23 974,05</b>	<b>25 990,95</b>

### Soldes intermédiaires de gestion

## Seuil de rentabilité économique

	Année 1	%	Année 2	%	Année 3	%
<b>Chiffre d'affaires</b>	112 992,00	100%	118 641,60	100%	124 573,68	100%
<b>Ventes + autres services</b>	112 992,00	100%				
<b>Achats consommés</b>	67 795,20					
<b>Marge globale</b>	<b>45 196,80</b>	<b>40%</b>	<b>47 456,64</b>	<b>40%</b>	<b>49 829,47</b>	<b>40%</b>
<b>Charges externes</b>	2 935,00	3%	2 935,00	2%	2 935,00	2%
<b>Valeur ajoutée</b>	<b>42 261,80</b>	<b>37%</b>	<b>44 521,64</b>	<b>38%</b>	<b>46 894,47</b>	<b>38%</b>
<b>Total des coûts variables</b>			67 795,20	71 184,96	74 744,21	
<b>Impôts et taxes</b>	-	0%	-	0%	-	0%
<b>Marge sur coûts variables</b>	<b>15 001,28</b>	<b>13%</b>	<b>15 001,28</b>	<b>13%</b>	<b>15 001,28</b>	<b>13%</b>
<b>Taux de marge sur coûts variables</b>			<b>40%</b>	<b>40%</b>	<b>40%</b>	
<b>Excédent brut d'exploitation</b>	<b>27 206,92</b>	<b>24%</b>	<b>25 529,90</b>	<b>22%</b>	<b>26 899,29</b>	<b>22%</b>
<b>Coûts fixes</b>			19 251,88	19 251,88	19 251,88	
<b>Dotation aux amortissements</b>	1 215,60	1%	1 215,60	1%	1 215,60	1%
<b>Total des charges</b>	<b>87 047,08</b>	<b>77%</b>	<b>90 436,84</b>	<b>77%</b>	<b>93 996,09</b>	<b>77%</b>
<b>Résultat courant avant impôts</b>	<b>25 944,92</b>	<b>23%</b>	<b>28 204,76</b>	<b>24%</b>	<b>30 577,59</b>	<b>25%</b>
<b>Charges financières</b>						
<b>Seuil de rentabilité (chiffre d'affaires)</b>	<b>48 129,70</b>	<b>43%</b>	<b>48 129,70</b>	<b>41%</b>	<b>48 129,70</b>	<b>39%</b>
<b>Excédent / insuffisance</b>			64 862,30	70 511,90	76 443,98	
<b>Résultat courant</b>	<b>25 944,92</b>	<b>23%</b>	<b>28 204,76</b>	<b>24%</b>	<b>30 577,59</b>	<b>25%</b>
<b>Point mort en chiffre d'affaires par jour ouvré</b>			192,52	192,52	192,52	
<b>Résultat de l'exercice</b>	<b>22 053,18</b>	<b>20%</b>	<b>23 974,05</b>	<b>20%</b>	<b>25 990,95</b>	<b>21%</b>
<b>Capacité d'autofinancement</b>	23 368,78	21%	25 289,65	21%	27 306,55	22%

## Besoin en fonds de roulement

	décal jours	Année 1	Année 2	Année 3
<b>Besoins</b>				
Volume crédit client HT	30	9 287,01	9 751,36	10 238,93
<b>Ressources</b>				
Volume dettes fournisseurs HT	60	11 144,42	11 701,64	12 286,72
<b>Besoin en fonds de roulement</b>		<b>- 1 857,40</b>	<b>- 1 950,27</b>	<b>- 2 047,79</b>

#### 4. Le Plan de trésorerie :

## Plan de financement à trois ans

Année 1 : Année 2 : Année 3

Immobilisations	6 578,00		
Acquisition des stocks	700,00		
Variation du Besoin en fonds de roulement	- 1 857,40	- 92,87	- 97,51
Remboursement d'emprunts	-	-	-
<b>Total des besoins</b>	<b>5 420,60</b>	<b>- 92,87</b>	<b>- 97,51</b>
Apport personnel	778,00		
Emprunts	-		
Subventions	8 000,00		
Autres financements			
Capacité d'autofinancement	23 368,78	25 289,65	27 306,55
<b>Total des ressources</b>	<b>32 146,78</b>	<b>25 289,65</b>	<b>27 306,55</b>
Variation de trésorerie	26 726,18	25 382,52	27 404,07
<b>Excédent de trésorerie</b>	<b>26 726,18</b>	<b>52 108,70</b>	<b>79 512,77</b>

Rappel trésorerie début année 1 :

1 500,00

## Budget prévisionnel de trésorerie (premier années)

	Mois 1	Mois 2	Mois 3	Mois 4	Mois 5
Apport personnel	778,00				
Emprunts	-				
Subventions	8 000,00				
Autres financements					
Ventes	-	10 272,00	10 272,00	10 272,00	10 272,00
Ventes autres services	-	-	-	-	-
<b>Chiffre d'affaires (total)</b>	-	<b>10 272,00</b>	<b>10 272,00</b>	<b>10 272,00</b>	<b>10 272,00</b>
Immobilisations incorporelles	250,00				
Immobilisations corporelles	6 328,00				
<b>Immobilisations (total)</b>	<b>6 578,00</b>				
Acquisition stocks	700,00				
Échéances emprunt	-	-	-	-	-
Achats de marchandises	-	6 163,20	6 163,20	6 163,20	6 163,20
Charges externes	244,58	244,58	244,58	244,58	244,58
Impôts et taxes	-	-	-	-	-
Salaires employés	502,00	502,00	502,00	502,00	502,00
Charges sociales employés	361,44	361,44	361,44	361,44	361,44
Prélèvement dirigeant(s)	266,67	266,67	266,67	266,67	266,67
Charges sociales dirigeant(s)	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00
<b>Total charges de personnel</b>	<b>1 250,11</b>	<b>1 250,11</b>	<b>1 250,11</b>	<b>1 250,11</b>	<b>1 250,11</b>
Frais bancaires, charges financières	-	-	-	-	-
<b>Total des décaissements</b>	<b>8 772,69</b>	<b>7 657,89</b>	<b>7 657,89</b>	<b>7 657,89</b>	<b>7 657,89</b>
<b>Total des encaissements</b>	<b>8 778,00</b>	<b>10 272,00</b>	<b>10 272,00</b>	<b>10 272,00</b>	<b>10 272,00</b>
Solde précédent	-	5,31	2 619,42	5 233,53	7 847,64
<b>Solde du mois</b>	<b>5,31</b>	<b>2 614,11</b>	<b>2 614,11</b>	<b>2 614,11</b>	<b>2 614,11</b>
<b>Solde de trésorerie (cumul)</b>	<b>5,31</b>	<b>2 619,42</b>	<b>5 233,53</b>	<b>7 847,64</b>	<b>10 461,75</b>

• La suite :

Mois 6	Mois 7	Mois 8	Mois 9	Mois 10	Mois 11	Mois 12	TOTAL
							778,00
							8 000,00
10 272,00	10 272,00	10 272,00	10 272,00	10 272,00	10 272,00	10 272,00	112 992,00
-	-	-	-	-	-	-	-
<b>10 272,00</b>	<b>10 272,00</b>	<b>10 272,00</b>	<b>10 272,00</b>	<b>10 272,00</b>	<b>10 272,00</b>	<b>10 272,00</b>	<b>112 992,00</b>
							250,00 6 328,00
							6 578,00
							700,00
-	-	-	-	-	-	-	-
6 163,20	6 163,20	6 163,20	6 163,20	6 163,20	6 163,20	6 163,20	67 795,20
244,58	244,58	244,58	244,58	244,58	244,58	244,58	2 935,00
-	-	-	-	-	-	-	-
502,00	502,00	502,00	502,00	502,00	502,00	502,00	6 024,00
361,44	361,44	361,44	361,44	361,44	361,44	361,44	4 337,28
266,67	266,67	266,67	266,67	266,67	266,67	266,67	3 200,00
120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	1 440,00
<b>1 250,11</b>	<b>1 250,11</b>	<b>1 250,11</b>	<b>1 250,11</b>	<b>1 250,11</b>	<b>1 250,11</b>	<b>1 250,11</b>	<b>15 001,28</b>
-	-	-	-	-	-	-	-
<b>7 657,89</b>	<b>7 657,89</b>	<b>7 657,89</b>	<b>7 657,89</b>	<b>7 657,89</b>	<b>7 657,89</b>	<b>7 657,89</b>	<b>93 009,48</b>
<b>10 272,00</b>	<b>10 272,00</b>	<b>10 272,00</b>	<b>10 272,00</b>	<b>10 272,00</b>	<b>10 272,00</b>	<b>10 272,00</b>	<b>121 770,00</b>
10 461,75	13 075,86	15 689,97	18 304,08	20 918,19	23 532,30	26 146,41	

2 614,11	2 614,11	2 614,11	2 614,11	2 614,11	2 614,11	2 614,11
13 075,86	15 689,97	18 304,08	20 918,19	23 532,30	26 146,41	28 760,52

## Sixième axe : Prototype expérimental

### Etape 01

#### Extraction aqueuse :

- Macération de la poudre d'algue dans l'eau distillée
- Filtration du mélange
- Récupération de l'extrait liquide filtré



### Etape 02

#### Culture des bactériocine :

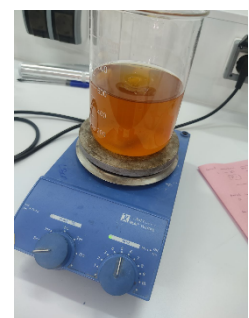
- Isolement et culture des souches bénéfiques à partir de l'eau de mer
- Préparation des extraits bactériens



### Etape 03

#### Formulation de produit :

- Mélange des deux dilutions (extrait d'algue et culture bactérienne)
- Agitation douce pour homogénéisation



### Etape 04

#### Conditionnement :

- Mise en bouteille opaque
- Etiquetage et stockage

# ANNEXES

## 1. Notre nom de l'entreprise :

**Novaterra** : Le nom "Novaterra" vient du latin "Nova" (nouvelle) et "Terra" (terre). Il reflète notre ambition de proposer une nouvelle agriculture, durable et respectueuse de l'environnement, fondée sur l'innovation et la valorisation des ressources naturelles.

## 2. Représentation visuelle de produit :



### 3. Photos de quelques produits concurrents :



#### 4. Devis assurance multirisque professionnelle :



Société par actions au capital de 3 200 000 000.00 DA  
Siège social : 70, Chemin Larbi Alik-Alger  
BP N° 187, Poste Malki Alger  
Tél : 098 240 05 96  
Fax : 098 240 05 97  
NIF:099816000324282  
RC :98 B 0003242

### Devis Assurance Multirisques Professionnelle

A1653 25 1223 0003							Code Client 1003581217
<b>Assuré :</b>		Effet : <b>20-06-25</b> 00:00		Expiration : <b>19-06-26</b> 23:59			
Nom	Prénom	Date Naissance	Adresse				
ENTRPRISE NOVATERRA			MEFTAH / BLIDA				
<b>Profession :</b>							
Activité	Situation du risque	Surface			Nbre Employ.	Capital Garantie	
		développée	Vitres Inter	Vitres Exter			
Laboratoire	BLIDA	400	30	10	14	5 530 525.00	
<b>Garanties Accordées :</b>							
Code	Garanties	Capital Garantie	Limite Garantie	Prime Nette			
130810	Recours des Locataires	5 530 525.00	1 000 000.00	200.00			
160810	Perte de loyers ou de Revenus	5 530 525.00	1 000 000.00	200.00			
160820	Perte de Jouissance	5 530 525.00	1 000 000.00	250.00			
080220	Explosion	5 530 525.00	5 530 525.00	600.00			
080120	Incendie	5 530 525.00	5 530 525.00	11 400.00			
090530	Dommage Electrique	5 530 525.00	200 000.00	1 140.00			
090340	Vol Mobilier	5 530 525.00	5 530 525.00	21 000.00			
130130	RC Exploitation	5 530 525.00	1 000 000.00	465.00			
090220	Bris de Glace	5 530 525.00	600 000.00	61 000.00			
090120	Dégâts des Eaux	5 530 525.00	5 530 525.00	18 000.00			
130720	Recours des Voisins	5 530 525.00	1 000 000.00	300.00			
				114 555.00			
<b>Décompte de la prime :</b>							
Prime Nette	Réduction	Prime Nette Réduite	CP	TVA	Timbre Dim	Total à payer	
114 555.00	.00	114 555.00	500.00	21 860.45	120.00	<b>137 035.45</b>	
<b>Assuré</b>			<b>Assureur</b>				
<b>Fait le : 19-06-25</b>							

**Le présent document est un devis, soumis à approbation de l'assuré, il ne peut en aucun cas engager la compagnie**

## 5. localisation prévisionnelle de la société :

Numéro	48026263
Date	25/06/2025 11:46:46
Vues	332
Superficie batie	400m <sup>2</sup>
Superficie terrain	400m <sup>2</sup>
<b>Description</b>	
Location local 400m2 a Halouiya commune de soumaa avec dalle compteur 380kw	

