



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République algérienne démocratique et populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université « BELHADJ BOUCHAIB » Ain T'émouchent

Faculté des Sciences Et De Technologie

Département : BIOLOGIE



**Projet de Fin d'Études**

**Dans le cadre de l'arrêté ministériel 1275**

**« Un diplôme/ Micro Entreprise »**

Pour l'obtention du diplôme de Master.

Domaine : Science de la nature de la vie

Filaire : Sciences Biologique

Spécialité : Microbiologie Appliquée

***Valorisation l'algue ulva lactuca dans la fabrication  
des compléments alimentaires naturel***

**Présenté Par :**

➤ Mr BELMOKHTAR Abderrahim

**Devant le jury composé de :**

Dr. ZIAN Mohamed	MCA UAT.B.B (Ain Temouchent)	Président
Dr. YAZID Mohamed	MCB UAT.B.B (Ain Temouchent)	Examineur
Dr. CHERIF Nadjib	MCB UAT.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant
Dr. GHERBI Sabah	MCB UAT.B.B (Ain Temouchent)	CO Encadrante
Dr. BENYANI Mourad	MCA UAT.B.B (Ain Temouchent)	R. Incubateur

Année Universitaire 2024/2025

## *Remerciements*

*Nous remercions avant tout DIEU tout puissant, qui nous a donné la santé, la bénédiction, le courage, et la patience afin de pouvoir accomplir ce modeste travail.*

*Nous exprimons notre profonde gratitude à notre encadrant*

*Dr. CHERIF Nadjib, Maître de conférence classe A et chef département de biologie à l'université de Ain Temouchent, pour nous avoir encadrée, nous le remercions pour ses précieux conseils.*

*Nous exprimons toute notre gratitude à la Co encadrante Dr. GHERBI Sabah pour ses précieuses remarques et conseils.*

*Nous tenons également à exprimer notre sincère remerciement aux égards des membres de jury, à Pr. ZIANE Mohamed qui nous fait l'honneur de sa présence en acceptant de présider le jury de cette soutenance, et Dr. YAZIT Mohamed et Dr BENYANI Mourad pour avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Nous souhaitons également exprimer notre sincère gratitude à Monsieur Dr. HANDAOUI Mahfoud directeur de l'incubateur et l'ensemble de son équipe pédagogique, merci pour votre accompagnement et votre inspiration tout au long de ce parcours.*

*Un grand merci à nos parents, pour l'intérêt qu'ils ont accordé à notre travail et plus particulièrement pour leur précieuse aide morale surtout.*

*Enfin, nous devons remercier beaucoup toute les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

## ***Dédicace :***

*Mes remerciements vont tout d'abord au bon dieu pour la volonté et la patience qu'il m'a donné durant ces longues années d'étude afin que je puisse arriver à ce stade, du fond de mon cœur, je dédie ce présent travail :*

*A celle qui est sacrifiée pour mon éducation, qui est ma source de tendresse de don et de confiance qui attendu ma réussite ma chère mère et mon père : Mokaddem Safia et Belmokhtar Rachid et ma sœur Belmokhtar samah qu'ils trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance avec mes vœux de bonne santé et de longue vie. A Ben chouaib cheima ma soutenu pendant mes épreuves*

*A mes frères qui ne sont pas nés de ma mère kheiraddine Larbi Messaoud Saiah Alaa Mokrab Ibrahim Bouragbi Youcef A mes amies d'université : Abddaim Souad Ben Ali khieralah Ben Moussa Ilyas Benmastfa Milouda Boudjama Aymen Amitié dure pour toujours Enfin je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail.*

## Résumé :

L'algue *Ulva lactuca*, également connue sous le nom de laitue de mer, est une algue verte comestible largement appréciée en Europe et en Asie en raison de ses nombreux bienfaits nutritionnels. Elle constitue une source précieuse de vitamines (notamment les vitamines A, C et B12) et de minéraux essentiels tels que le calcium, le magnésium, le fer et le zinc. De plus, *Ulva lactuca* est naturellement riche en antioxydants, en acides aminés et en fibres alimentaires, ce qui en fait un aliment fonctionnel favorable au renforcement du système immunitaire et à la prévention de diverses maladies. Dans ce travail, *Ulva lactuca* a été valorisée dans la formulation de compléments nutritionnels naturels, exempts de produits chimiques de synthèse.

Ce potentiel a été aussi renforcé par l'ajout d'extraits de plantes médicinales telles que le gingembre (*Zingiber officinale*), le curcuma (*Curcuma longa*) et le fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*). Chacune de ces plantes présente des propriétés bénéfiques démontrées : le gingembre et le curcuma possèdent des effets anti-inflammatoires et antioxydants, tandis que le fenugrec est reconnu pour sa capacité à réguler la glycémie chez les patients diabétiques de type 2 et à réduire les taux de cholestérol sanguin. Ainsi, l'association synergique de *Ulva lactuca* avec ces plantes médicinales permet de développer des compléments nutritionnels innovants, naturels et efficaces, offrant une approche prometteuse pour la prévention et l'accompagnement des troubles métaboliques et pour le maintien de la santé globale.

## **Abstract**

Ulva lactuca algae, also known as sea lettuce, is an edible green algae widely appreciated in Europe and Asia for its numerous nutritional benefits. It is a valuable source of vitamins (particularly vitamins A, C, and B12) and essential minerals such as calcium, magnesium, iron, and zinc. Moreover, Ulva lactuca is naturally rich in antioxidants, amino acids, and dietary fiber, making it a functional food that supports immune system strengthening and helps prevent various diseases. In this work, Ulva lactuca has been utilized in the formulation of natural nutritional supplements, free from synthetic chemicals. This potential has been further enhanced by the addition of extracts from medicinal plants such as ginger (*Zingiber officinale*), turmeric (*Curcuma longa*), and fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*).

Each of these plants possesses well-documented beneficial properties: ginger and turmeric exhibit anti-inflammatory and antioxidant effects, while fenugreek is known for its ability to regulate blood sugar levels in type 2 diabetic patients and to reduce blood cholesterol levels. Thus, the synergistic combination of Ulva lactuca with these medicinal plants enables the development of innovative, natural, and effective nutritional supplements, offering a promising approach for the prevention and management of metabolic disorders and for the maintenance of overall health.

## ملخص:

تُعرف الطحالب "Ulva lactuca"، والمعروفة أيضاً باسم خس البحر، بأنها طحالب خضراء صالحة للأكل تحظى بتقدير واسع في أوروبا وآسيا بسبب فوائدها الغذائية العديدة. فهي تُعدّ مصدراً غنياً بالفيتامينات (وخاصة الفيتامينات A و C و B12) والمعادن الأساسية مثل الكالسيوم والمغنيسيوم والحديد والزنك. بالإضافة إلى ذلك، فإن "Ulva lactuca" غنية بشكل طبيعي بمضادات الأكسدة والأحماض الأمينية والألياف الغذائية، مما يجعلها غذاءً وظيفياً يدعم تقوية جهاز المناعة ويساهم في الوقاية من العديد من الأمراض. في هذا العمل، تم توظيف "Ulva lactuca" في تطوير مكملات غذائية طبيعية خالية من المواد الكيميائية الاصطناعية.

وقد تم تعزيز هذا الدور من خلال إضافة مستخلصات نباتات طبية مثل الزنجبيل (*Zingiber officinale*)، والكرم (*Curcuma longa*)، والحلبة (*Trigonella foenum-graecum*) وتتميز كل من هذه النباتات بخصائص مفيدة مثبتة: فالزنجبيل والكرم يمتلكان تأثيرات مضادة للالتهابات ومضادة للأكسدة، بينما تُعرف الحلبة بقدرتها على تنظيم نسبة السكر في الدم لدى مرضى السكري من النوع الثاني وخفض مستويات الكوليسترول في الدم. وبالتالي، فإن الجمع التآزري بين *Ulva lactuca* وهذه النباتات الطبية يتيح تطوير مكملات غذائية مبتكرة وطبيعية وفعالة، مما يوفر نهجاً واعداً للوقاية من الاضطرابات الأيضية والمساعدة في علاجها، وللحفاظ على الصحة العامة.

## *Tables des matières*

# Table des matières

---

## Summaries:

## Contenu

Remerciement

Dédicace

Résumé

Table des matières

La liste des abréviations

Introduction General : ..... 1

### **\*\*\*Partie I : bibliographique\*\*\***

#### ***Chapitre I : Présentation des algues marines et les 3 herbes alimentaires Gingembre fenugrec curcuma***

I.1. Généralités sur les algues marines : ..... 5

I.1.1. Introduction : ..... 5

I.1.2. Bases de la classification des grandes lignées d'algues : ..... 5

I.1.3. Grands groupes des algues marines : ..... 6

I.1.3.1. Algues vertes (*Chlorophycées*) : ..... 7

I.1.3.2. Algues brunes (*Phéophycées*) : ..... 7

I.1.3.3. Algues rouges (*Rhodophycées*) : ..... 8

I.1.4. Écologie des algues : ..... 8

I.1.4.1. Types d'algues selon leur habitat : ..... 9

I.1.4.2. Rôle dans les écosystèmes : ..... 10

I.2. Les intérêts des algues marines : ..... 11

I.2.1. Intérêt nutritionnel : ..... 11

I.2.2. Intérêt des algues marines dans le monde : ..... 11

I.2.2.1 En alimentation humaine : ..... 12

## Table des matières

---

I.2.2.2 En alimentation animale : .....	14
I.2.3 Applications des algues marines :.....	15
I.2.3.1 Dans l'industrie alimentaire :.....	15
I.2.3.2 Dans le domaine pharmaceutique et médical :.....	15
I.2.3.3 Dans la biotechnologie :.....	16
I.3. Description de l'algue <i>ulva lactuca</i> :.....	16
I.3.1. Généralités : .....	16
I.3.2. Reproduction et cycle de vie :.....	17
I.3.3. Répartition et habitat :.....	17
I.3.4. Consommation :.....	18
I.4. Plantes médicinales :.....	19
I.4.1. Gingembre ( <i>Zingiber officinale</i> ) :.....	19
I.4.1.1. Intérêt médicinal :.....	19
I.4.1.2. Utilisation thérapeutique :.....	20
I.4.2. Fenugrec ( <i>Trigonella foenum-graecum</i> ) :.....	21
I.4.2.1. Utilisation thérapeutique :.....	21
I.4.3. Curcuma :.....	24
I.4.3.1. Utilisation thérapeutique :.....	24

### ***Chapitre II : les effets bénéfiques des produits naturels***

II.1. Composants nutritionnels et effets bénéfiques de <i>ulva lactuca</i> :.....	26
II.1.1. Apport en protéines, minéraux, vitamines et lipides :.....	27
II.1.1.1. Évaluation de la composition nutritionnelle de <i>Ulva lactuca</i> séchée des eaux de Pameungpeuk (Indonésie) :.....	27
II.1.2 Présence d'antioxydants et de composés bioactifs :.....	28
II.1.2.1. Étude de la composition phytochimique et des propriétés antioxydantes :.....	28
II.1.3. Effets bénéfiques de <i>Ulva lactuca</i> sur le diabète de type 2 et l'hypercholestérolémie :.....	29

## Table des matières

---

II.2. Propriétés de trois herbes médicinales (Gingembre, Fenugrec et Curcuma) en lien avec le diabète de type 2 et le syndrome métabolique : .....	30
II.2.1. Gingembre ( <i>Zingiber officinale</i> Roscoe) : .....	30
II.2.1.1 Effets du gingembre sur le diabète de type 2 et les composantes du syndrome métabolique .....	30
II.2.2. Fenugrec ( <i>Trigonella foenum-graecum</i> ) : .....	31
II.2.2.1. Effet thérapeutique de la supplémentation en fenugrec sur le diabète de type 2 : .....	31
II.2.3. Curcuma ( <i>Curcuma longa</i> ) et curcumine : .....	32
II.2.3.1. Effets sur le LDL-C : .....	32
II.2.3.2. Effets sur les triglycérides : .....	33
II.2.3.3. Effets sur le cholestérol total : .....	33

### \*\*\*Partie II : partie Expérimental\*\*\*

#### Chapitre III: Matériels et méthodes

III.1. Fabrication de compléments alimentaires à base d' <i>Ulva lactuca</i> (UGF et UGC) : .....	37
III.1.1. Problématique : .....	37
III.1.2. Présentation du produit : .....	37
III.1.3. Objectif de l'étude : .....	38
III.2. Expérimentations : .....	38
III.2.1. Récolte de l'algue <i>Ulva lactuca</i> : .....	38
III.2.2. Récolte de l'algue <i>Ulva lactuca</i> (suite) : .....	40
III.2.3. Nettoyage des algues : .....	42
III.2.4. Broyage des algues <i>Ulva lactuca</i> : .....	44
III.2.5. Remplissage en gélules : .....	46
III.2.5.1. Type de gélules utilisées : .....	46
III.2.5.2. Méthode de remplissage : .....	47
III.2.5.3. Conditionnement : .....	47
III.2.5.4. Précautions de conservation : .....	48

## Table des matières

---

III.2.6. Préparation des poudres des herbes et des extraits :.....	48
III.2.6.1. Préparation des mélanges UGF et UGC :.....	48
III.2.7.Préparation des extraits aqueux des plantes et d' <i>Ulva lactuca</i> .....	50
III.2.8. Formulation du complément alimentaire : .....	53
Resultats et discussion :.....	58
Conclusion Genrale :.....	67
Références bibliographiques: .....	70
Les annexes: .....	77

## Table des matières

---

### Liste des tableaux :

Tableau (I-1) : Caractéristiques importantes des groupes d'algues (Géraldine et Céline, 2009).....	06
Tableau (I-2) : Composition biochimique moyenne d'algues fraîches bretonnes. (CEVA, 2016).....	13
Tableau (III-1) : les quantités obtenues.....	52

### Liste des figures:

Figure (I-1) : Macro algues autorisées pour la consommation humaine en France et majoritairement utilisées (CEVA, 2014).....	14
Figure (I-2) : Répartition des productions de macro algues par usage (CEVA, 2015,)....	14
Figure (I-3) : Gingembre ( <i>Zingiber officinale</i> ).....	20
Figure (I-4) : Photographie de <i>Trigonella foenum-graecum</i> L. (Volpé et al., 2009).....	22
Figure (I-5) : <i>Curcuma longa</i> L. (Jourdan, 2015).....	25
Figure (III-1) : Image par satellites Adresse GPS : 9P58+GQ5, Sidi Ben Adda .....	39
Figure (III-2) : images de zone 7 /02/ 2025.....	39
Figure (III-3) : Bocaux en verre contenant des ulves .....	40
Figure (III-4) : ulve après purification et nettoyage .....	41
Figure ( III-5) : ulva séché .....	43
Figure (III-6) : matériel utilise.....	45
Figure (III-7) : capsules remplies <i>dulva lactuca</i> .....	47

## Table des matières

---

Figure (III-8) : Les trois Herbes en poudres (gingembre curcuma fenugrec)	49
.....	
Figure (III-9) : Poids des ingrédients	49
.....	
Figure (III-10) : l'Etat après 24h	51
.....	
Figure (III-11) : la filtration	52
.....	
Figure (III-12) : les capsules	54
.....	
Figure (III-13): produits final (UGF-UGC-ULVA)	62
.....	

## La liste des abréviations

**T°C**: Température (en degrés Celsius)

**°C**: Degrés Celsius

**µm**: Micron (micromètre =  $10^{-6}$  m)

**250 µm** : Maille de tamis de 250 microns

**80 µm**: Maille de tamis de 80 microns

**%**: Pour cent (par centaine)

**g**: gramme (unité de masse)

**mg**: milligramme (1 mg = 0,001 g)

**UGF**: Ulva lactuca + Gingembre + Fenugrec

**UGC**: Ulva lactuca + Gingembre + Curcuma

**Vit A**: Vitamine A

**Vit B1** : Thiamine

**Vit B2** : Riboflavine

**Vit B12**: Cobalamine

**Vit C** : Acide ascorbique

**Vit E** : Tocophérol

**LDL-C**: Low-Density Lipoprotein Cholesterol (Cholestérol des lipoprotéines de basse densité)

**GLUT4** : Glucose Transporter Type 4 (Transporteur de glucose de type 4)

**Alpha-amylase**: Enzyme qui hydrolyse l'amidon en maltose et autres petits glucides

**Alpha-glucosidase** : Enzyme qui dégrade les disaccharides en glucose, facilitant l'absorption intestinale

**AMPK** : AMP-activated Protein Kinase (Protéine kinase activée par l'AMP)

**TNF-α**: Tumor Necrosis Factor alpha (Facteur de nécrose tumorale alpha)

**β-carotène** : Beta-carotène

## *Introduction*

### Introduction:

Les algues marines présentent une grande diversité d'applications actuelles et potentielles, identifiées et classées en dix grandes catégories : agriculture, horticulture et agronomie (**Abdel-Khaliq et al., 2014**), aquaculture animale (**Abirami et al., 2011**), esthétique (**Apaydin et al., 2010**), cosmétique (**AOAC, 1980**), santé environnementale, surveillance et assainissement (**AOAC, 1999**), alimentation (**AOAC, 2000**), santé et bien-être thalassique (**Burtin et al., 2003**), industrie (**Carvalho et al., 2009**), pharmacie et pharmacologie (**Chakraborty et al., 2006**), ainsi que science, technologie et biomédecine (**Khairy et al., 2013 ; Apaydin et al., 2010**)

Depuis l'Antiquité, les algues ont été utilisées comme aliments, fourrages pour animaux, fertilisants et sources de remèdes dans les médecines traditionnelles, en particulier dans les civilisations asiatiques. Elles constituent d'excellentes sources naturelles de vitamines, de protéines, de glucides, de fibres et d'oligo-éléments essentiels. Afin de mieux exploiter la richesse nutritionnelle des différentes espèces d'algues, de nombreuses recherches ont été menées sur des échantillons collectés à travers le monde (**Rohani-Ghadikolaei et al., 2012**). Il est d'ailleurs bien établi que la composition biochimique des algues marines varie considérablement en fonction de l'emplacement géographique et des conditions environnementales locales (**Rohani-Ghadikolaei et al., 2012**).

Au-delà de leur intérêt nutritionnel, les algues présentent également un potentiel nutraceutique remarquable. Elles possèdent des activités antioxydante, antimutagène, anticoagulante, anticancéreuse et antibactérienne (**Abirami & Kowsalya, 2011**). De ce fait, elles sont considérées comme des ressources marines de grande valeur, pouvant contribuer à la promotion de la santé humaine. Parmi ces algues, *Ulva lactuca* (laitue de mer), en raison de sa morphologie unique et de sa composition biochimique riche, se distingue comme une candidate prometteuse pour des applications multifonctionnelles : dans l'alimentation, la production d'énergie, les produits pharmaceutiques et les biotechnologies (**Abirami & Kowsalya, 2011**).

Cependant, la question centrale qui se pose ici est la suivante : comment exploiter le potentiel de *Ulva lactuca* dans le domaine de l'alimentation fonctionnelle ? Plus précisément, comment formuler un complément nutritionnel à base de cette algue, de manière à ce qu'il apporte non seulement des vitamines et des minéraux essentiels, mais aussi des effets bénéfiques spécifiques pour la santé, tels que la réduction de la glycémie chez les patients

## Introduction

---

atteints de diabète de type 2 et l'amélioration du profil lipidique chez les personnes souffrant d'hypercholestérolémie ? En ce sens, l'ajout synergique de plantes médicinales naturelles à *Ulva lactuca* pourrait constituer une stratégie innovante. Des extraits de gingembre (*Zingiber officinale*), de curcuma (*Curcuma longa*) et de fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*) sont particulièrement intéressants, car ils sont connus pour leurs effets hypoglycémiants, hypocholestérolémiantes et antioxydants. Il conviendra donc d'explorer comment combiner ces ingrédients de manière optimale pour obtenir des formulations dérivées dont *Ulva lactuca* constitue l'ingrédient principal.

Ce travail a donc pour but de concevoir et de formuler un complément alimentaire naturel à base de *Ulva lactuca* enrichi par l'ajout de plantes médicinales sélectionnées, en vue de proposer un produit innovant contribuant au maintien et à l'amélioration de la santé humaine.

## *Partie I : Bibliographique*

*Chapitre I :*

*Présentation des algues marines et les 3 Herbes*

*Alimentaire*

## I.1. Généralités sur les algues marines :

### I.1.1. Introduction :

Les algues sont des végétaux inférieurs dépourvus de tiges, de feuilles et de racines véritables. Leur corps végétatif est appelé thalle, ce qui les classe parmi les *Thallophytes*. Ce sont des organismes aquatiques autotrophes capables de produire leur propre matière organique grâce à la photosynthèse.

Les algues présentent une grande diversité de formes et de tailles. Certaines sont microscopiques (microalgues), tandis que d'autres atteignent plusieurs mètres de longueur (macro-algues). Elles partagent néanmoins plusieurs caractéristiques communes. La majorité des algues sont aquatiques, vivant dans les milieux d'eau douce ou marins. Certaines espèces peuvent se développer dans des environnements extrêmes : sur la neige ou la glace des régions polaires et des hautes montagnes, ou dans les eaux chaudes de sources thermales, où elles se comportent comme des algues thermophiles.

À ce jour, environ 30 000 espèces d'algues ont été recensées, représentant environ 18% du règne végétal (**Leclerc *et al.*, 2010**). Parmi celles-ci, les macro-algues ont particulièrement attiré l'attention de la communauté scientifique, suscitant de nombreuses recherches en raison de leur richesse en composés bioactifs et de leurs applications potentielles dans divers secteurs.

### I.1.2. Bases de la classification des grandes lignées d'algues :

La classification des algues repose sur plusieurs critères fondamentaux, qui permettent de regrouper les différentes lignées algales selon leurs caractéristiques morphologiques, biochimiques et reproductives. Parmi les principaux critères utilisés, on peut citer :

- a) **a composition pigmentaire**, qui détermine la couleur dominante de l'algue et reflète les types de pigments photosynthétiques présents (chlorophylles, caroténoïdes, phycobilines, etc.).
- b) **Les caractéristiques structurales**, incluant la nature et l'organisation du thalle.
- c) **Le mode de reproduction**, qu'il soit sexué ou asexué.
- d) **Les polysaccharides de réserve**, tels que l'amidon, la laminarine ou le floridean starch, qui varient selon les groupes.

Ces critères permettent de distinguer les trois grandes lignées traditionnelles d'algues :

- a) **Algues vertes** (*Chlorophyta*) : caractérisées par la présence de chlorophylle a et b, et d'amidon comme substance de réserve.
- b) **Algues brunes** (*Phaeophyceae*) : contenant de la fucoxanthine qui leur confère leur couleur brune, et accumulant de la laminarine.
- c) **Algues rouges** (*Rhodophyta*) : riches en phycoérythrine et en phycocyanine, et utilisant le floridean starch comme polysaccharide de réserve.

Ces fondements taxonomiques ont été largement décrits par (Reviere, 2002), et constituent aujourd'hui la base de la classification moderne des algues marines.

### I.1.3. Grands groupes des algues marines :

On distingue généralement quatre grands groupes d'algues qui se différencient principalement par leur couleur, liée à la nature et à la composition de leurs pigments photosynthétiques. Chaque groupe comprend plusieurs classes, et chaque classe contient des centaines, voire des milliers, d'espèces (Garon-Lardière, 2004).

**Tableau (I-1) :** Caractéristiques importantes des groupes d'algues (Géraldine et Céline, 2009).

<b>Embranchement (règne)</b>	<b>Nom commun</b>	<b>Nombre d'espèces</b>	<b>Pigments</b>
<b>Chlorophytes (Protistes)</b>	Algues vertes	7500	- Chlorophylle (a,b) - Xanthophylles - Carotène
<b>Phéophytes (Plantes)</b>	Algues brunes	1500 d'espèces	- Chlorophylle (a,c) - Carotène
<b>Phéophytes (Plantes)</b>	Algues rouges	3900 d'espèces	- Chlorophylle (a,b) - Xanthophylles - Carotène - Zéaxanthine - Phycocyanine C - phycoérythrine
<b>Phéophytes (Plantes)</b>	Algues bleues	15000 d'espèces	- Chlorophylle (a,b) - Allophycocyanines - Phycocyanine - Phycoérythrine - Phycoérythrocyanine

### I.1.3.1. Algues vertes (*Chlorophycées*) :

Les algues vertes regroupent plus de 6500 espèces recensées (Splingart, 2013). Elles présentent une grande diversité morphologique, allant de formes unicellulaires à des structures pluricellulaires complexes.

Leurs plastes sont colorés en vert par la présence de chlorophylles a et b, auxquelles s'associent divers carotènes et xanthophylles. Leur photosynthèse permet la formation d'amidon, comme chez les plantes supérieures.

La majorité des algues vertes vivent en eau douce, mais de nombreuses espèces marines existent également, en particulier dans les ordres des **Ulotrichales** et des **Cladophorales**, et dominant parmi les **Siphonales**. Certaines Chlorococcales et Trentépothiales sont **aérophiles**, capables de coloniser des milieux humides terrestres (Paul *et al.*, 2006).

Les algues vertes jouent un rôle essentiel dans l'**oxygénation des eaux**, contribuant ainsi à la vie animale et au maintien des écosystèmes aquatiques (Garon-Lardière *et al.*, 2004).

### I.1.3.2. Algues brunes (*Phéophycées*) :

Les algues brunes comprennent environ **1500 espèces**, presque exclusivement marines (Garon-Lardière, 2004). Certaines peuvent atteindre des tailles impressionnantes, allant jusqu'à **50 mètres de long** (Géraldine *et al.*, 2009).

Leur coloration brune est due à la présence de **fucoxanthine**, un pigment de type xanthophylle qui masque la chlorophylle a et c, ainsi que le  $\beta$ -carotène. Toutes les algues brunes sont pluricellulaires, leurs tailles variant de formes microscopiques à des macroalgues géantes.

Leurs réserves énergétiques sont constituées principalement de laminarine et de mannitol, dissous dans les vacuoles. On note également la présence de lipides, mais pas d'amidon. Les parois cellulaires, relativement pauvres en cellulose, sont riches en alginates et en fucoïdine, substances exploitées industriellement pour leurs propriétés épaississantes (Paule, 2006).

### I.1.3.3. Algues rouges (*Rhodophycées*) :

Les **Rhodophycées** ou algues rouges doivent leur coloration à la **phycoérythrine**, pigment rouge dominant, associé à d'autres pigments comme les chlorophylles (**Géraldine *et al.*, 2009**).

On recense environ **3500 espèces** d'algues rouges, dont plusieurs ont une grande valeur commerciale, notamment **dulse**, **nori** (utilisée en cuisine japonaise) et **carraghénanes** (additifs alimentaires).

Essentiellement **marines** et majoritairement **pluricellulaires**, les Rhodophycées se divisent en deux grands groupes :

- Les **Bangiophycées**, considérées comme primitives ;
- Les **Floridéophycées**, plus évoluées et complexes (**Garon-Lardière, 2004**).

Le cycle de reproduction des algues rouges est réputé pour sa **complexité**. Ces algues produisent un glucide de réserve appelé **amidon floridéen**, analogue du glycogène, mais distinct de l'amidon végétal classique (**Paul, 2006**).

### I.1.4. Écologie des algues :

Les algues, aux côtés des **bactéries** et du **zooplancton**, constituent un pilier fondamental des **écosystèmes aquatiques** et marins. Leur diversité écologique est remarquable: certaines vivent fixées, d'autres flottantes, certaines même hors de l'eau.

Leur capacité de dispersion est facilitée par leurs spores résistantes, mais aussi par des vecteurs tels que le vent, les embruns, et les oiseaux migrateurs (**Schlichting *et al.*, 1960**).

Les algues jouent un rôle clé dans le **cycle du carbone**, en fixant le **carbone atmosphérique** par photosynthèse, contribuant ainsi à limiter l'effet de serre (**Middelburg *et al.*, 2005**).

Bien que toutes possèdent de la **chlorophylle**, elles peuvent adopter divers modes de vie:

- a) Autotrophes (photosynthétiques),
- b) Saprophytes (décomposant la matière organique),
- c) Parasites,

d) Symbiotiques.

### **I.1.4.1. Types d'algues selon leur habitat :**

#### **a) Algues flottantes du plancton :**

Un Algues unicellulaires ou filamenteuses formant le **phytoplancton**, base de la chaîne alimentaire marine.

- **Sargasses** : algues brunes adaptées à la flottaison en haute mer (ex. Mer des Sargasses).
- **Boules flottantes ou aega gropiles** : formées par certaines algues brunes ou rouges.

#### **b) Algues thermophiles :**

Certaines algues prospèrent dans des environnements à haute température, comme les sources chaudes.

#### **c) Algues aériennes :**

Capables de survivre hors de l'eau, sur des substrats humides.

#### **d) Algues fixées :**

**Épilithes** : sur les rochers, généralement jusqu'à 50 à 75 m de profondeur (Nathalie **Bourgougnon et al., 2019**), avec une raréfaction au-delà de 30 m à cause de l'atténuation de la lumière.

**Exemples de géantes** : **Laminaires**, **Durvillea** (Nouvelle-Zélande, 10 m), **Nereocystis** (côte ouest de l'Amérique du Nord, jusqu'à 50 m).

**Remarque** : *Posidonia oceanica* (Posidoniacées) et les zostères sont des **plantes à fleurs**, non des algues. La **salicorne** est une plante halophile.

e) **Épizoïques** : algues vivant sur des animaux (ex : algues brunes sur le pelage des paresseux).

f) **Épiphytes** : algues vivant sur d'autres végétaux.

g) **Épixyles** : algues vivant sur du bois.

h) **Algues saprophytes**

**i) Algues parasites**

**j) Algues symbiotiques :**

- Zoochlorelles (algues vertes) ou zooxanthelles (algues brunes), en association avec des spongiaires, cnidaires, bryozoaires, protozoaires.
- Avec des champignons : formation de lichens, où seules les algues vertes (Chlorophycées) participent.

### **I.1.4.2. Rôle dans les écosystèmes :**

Les macroalgues créent des habitats structurés dans les eaux peu profondes.

Les microalgues (phytoplancton) sont essentielles au réseau trophique et à la productivité primaire des océans. (T. I. Kahma, *et all* 2023)

Elles prolifèrent dans des zones riches en nutriments (upwelling, eaux eutrophisées), parfois sous forme de blooms (efflorescences algales), qui peuvent modifier la couleur de l'eau.

**Exemple :** les marées vertes, provoquées par la prolifération de *Ulva lactuca* sur des plages enrichies en nitrates d'origine agricole ou urbaine. (T. I. Kahma, *et all* 2023)

#### **Interactions avec la faune :**

**a) Consommation animale :**

- **Filtreurs** (microalgues, spores d'algues), (Loredana Stabili *et all* 2022)
- **Brouteurs** (ex. gastéropodes, crustacés), (Erik Malta *et all* 2002)
- **Pâtureurs** (poissons phytophages consommant des macroalgues). (Claire L.A. Dell *et all* 2020)

**b) Faune associée aux algues :**

- **Épifaune fixée** : ascidies, vers polychètes. ( Nicola Bettoso *et all* 2023)
- **Macrofaune vagile** : crabes, oursins. (Faouzia Charfi-Cheikhrouha *et all* 2010)
- **Microfaune** : base alimentaire pour divers prédateurs (poissons, crustacés) (Raymond Seed *et al.*, 1981 ; Marc Verlaque *et al.*, 1992).

## I.2. Les intérêts des algues marines :

### I.2.1. Intérêt nutritionnel :

Les algues présentent un excellent intérêt nutritionnel depuis l'Antiquité. Elles constituent une source précieuse de glucides à faible teneur en calories, d'acides gras polyinsaturés, de vitamines, de minéraux et de fibres alimentaires. De plus, elles contiennent des composés bioactifs de grande valeur pharmaceutique, tels que les phlorotannins et certains polysaccharides spécifiques qui ne sont pas présents dans les plantes terrestres. Ces composés peuvent jouer un rôle important dans la modulation des maladies chroniques (**Chu *et al.*, 2016** ; **Sankar *et al.*, 2016**).

La littérature scientifique montre également que les algues vertes possèdent des teneurs en protéines relativement élevées, représentant environ 10 à 30 % du poids sec (**Kumari *et al.*, 2010**).

À ce jour, environ **150 espèces d'algues** sont consommées dans le monde comme aliments pour l'homme (**Kumari *et al.*, 2010**).

Par ailleurs, une étude sur la **composition biochimique moyenne des algues fraîches bretonnes (CEVA, 2016)** met en évidence la richesse de ces organismes en éléments nutritifs essentiels. Cette composition est souvent présentée sous forme de tableau détaillant les teneurs en protéines, lipides, glucides, fibres, minéraux, vitamines et autres composés bioactifs.

### I.2.2. Intérêt des algues marines dans le monde :

La quantité d'algues produites annuellement, qu'elles soient cultivées ou récoltées dans le milieu naturel, est estimée à environ 9 millions de tonnes d'algues fraîches.

Les principaux producteurs mondiaux sont la **Chine**, la **Corée du Sud** et le **Japon**, qui à eux seuls représentent environ **80 % de la production mondiale**, dont **90 %** provient de la culture contrôlée (**Mac Hugh, *et all* 2003**).

Cette production est destinée en premier lieu à l'**alimentation humaine directe**, qui absorbe environ **75 % de la production mondiale**. La deuxième utilisation majeure est l'**extraction de colloïdes** (alginate, carraghénanes, agar), représentant environ **12,5 %** de la production. Le reste est valorisé dans divers secteurs, tels que (**Mac Hugh,et all 2003**):

- **l'agriculture** (engrais, produits phytosanitaires),
- **l'alimentation animale** (compléments pour bétail),
- **la cosmétique**,
- **la nutraceutique**,
- **la pharmaceutique**,
- **le traitement des eaux** (filtres, solutions épuratrices),
- **la chimie et la microbiologie** (milieux de culture).

Les **macro-algues** peuvent ainsi être utilisées dans de nombreux domaines :

- En **alimentation humaine**, sous forme de légumes marins ;
- Dans l'**industrie agroalimentaire**, comme agents texturants ;
- En **cosmétique** et en **pharmaceutique**, pour la formulation de produits à visée thérapeutique ou esthétique ;
- En **biotechnologie**, comme milieux de culture ou outils de purification.

Parmi les algues alimentaires les plus consommées dans le monde, on retrouve(**CEVA, 2014**). :

- **La laitue de mer** (*Ulva* sp.),
- **La dulse** (*Palmaria palmata*),
- **Le nori** (*Porphyra* sp.),
- **Le wakamé** (*Undaria pinnatifida*),
- **Le kombu** (*Saccharina latissima*),
- **Le haricot de mer** (*Himanthalia elongata*)

### I.2.2.1 En alimentation humaine :

Les algues font désormais partie du **quotidien alimentaire** de nombreuses populations, parfois de manière discrète, car elles sont souvent utilisées pour leurs **propriétés**

**technologiques** dans l'industrie agroalimentaire depuis les années 1960. Les **hydrocolloïdes** extraits des algues, tels que l'**agar**, l'**alginate** et les **carraghénanes**, sont aujourd'hui des ingrédients incontournables (**Marfaing, et all 2004**).

Les **algues rouges** sont notamment la principale source d'**agar** et d'**agarose**. Les genres *Gelidium*, *Gracilaria*, *Acanthopeltis* et *Pterocladia* en sont les principaux producteurs. Le mucilage extrait à chaud de ces algues, après purification, déshydratation et broyage, donne la poudre d'**agar-agar**, largement utilisée :

- Pour gélifier divers produits alimentaires (confiseries, desserts, produits laitiers),
- Comme support de culture pour les micro-organismes et dans les cultures *in vitro* en biotechnologie (**Chouikhi, et all 2013**).

Ainsi, l'intérêt nutritionnel et technologique des algues marines est aujourd'hui bien établi, et leur intégration croissante dans de multiples secteurs souligne leur potentiel en tant que **ressource naturelle durable**.

**Tablau (I-2) : Composition biochimique moyenne d'algues fraîches bretonnes. (CEVA, 2016).**

Pour 100 g algues fraîches	<i>Kombu royal</i>	<i>Wakame</i>	<i>Wakame atlantique</i>	<i>Haricot de mer</i>	<i>Laitue de mer</i>	<i>Dulse</i>
	<i>Saccharina Latissima</i>	<i>Undaria Pinnatifida</i>	<i>Alaria esculenta</i>	<i>Hilmanthalia elongata</i>	<i>Ulva sp</i>	<i>Palmaria palmata</i>
<b>Energie</b>	35	18	26	23	22	24.5
<b>Eau</b>	86.5	90.9	89.4	88.2	88.6	88.4
<b>Protéines(g)</b>	1.8	1.7	2.0	1.3	1.6	2.1
<b>Lipides(g)</b>	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2
<b>Glucides (par différence) (g)</b>	3.8	0.5	1.0	1.7	1.1	1.3
<b>Fibres (g)</b>	5.4	3.6	5.6	4.6	4.2	4.5
<b>Sel (g)</b>	1.3	1.8	2.1	1.3	2.2	1.3
<b>Potassium (mg)</b>	962.1	813.4	699.4	1181.4	258.5	1315.9
<b>Magnésium (mg)</b>	113.1	112.5	164.9	110.4	340.3	59.6
<b>Calcium (mg)</b>	140.6	66.5	124.1	95.1	95.1	105.4
<b>Iode (mg)</b>	88.3	1.3	2.1	0.8	0.7	1.1
<b>Fer (mg)</b>	2.9	0.3	1.5	0.2	2.6	2.4
<b>Béta- carotènes (mg)</b>	0.8	0.5	1.6	0.1	0.7	0.5
<b>Vitamine C (mg)</b>	12.7	6.5	19.4	36.8	8.0	7.2
<b>Vitamine B9 ( ug)</b>	33.4	40.1	76.3	16.3	22.3	68.6
<b>Vitamine k1 ( ug)</b>	44.4	66.8	30.0	5.9	2.1	73.1
<b>Polyphénoles (mg)</b>	145	152	408	723	44	70
<b>Fucoxanthine (mg)</b>	7.8	6.8	14.4	4.9	-	-

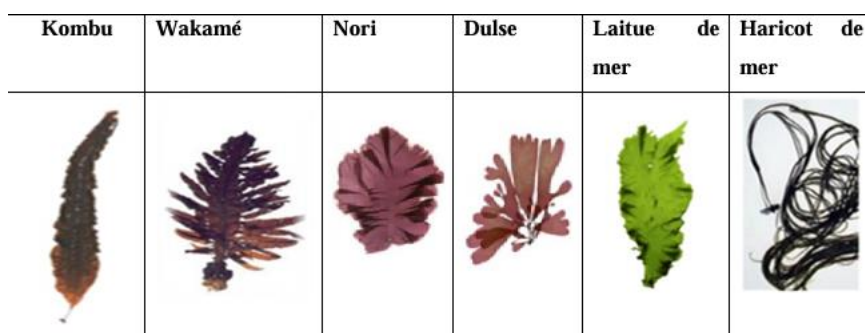


Figure (I-1) : Macro algues autorisées pour la consommation humaine en France et majoritairement utilisées (CEVA, 2014).

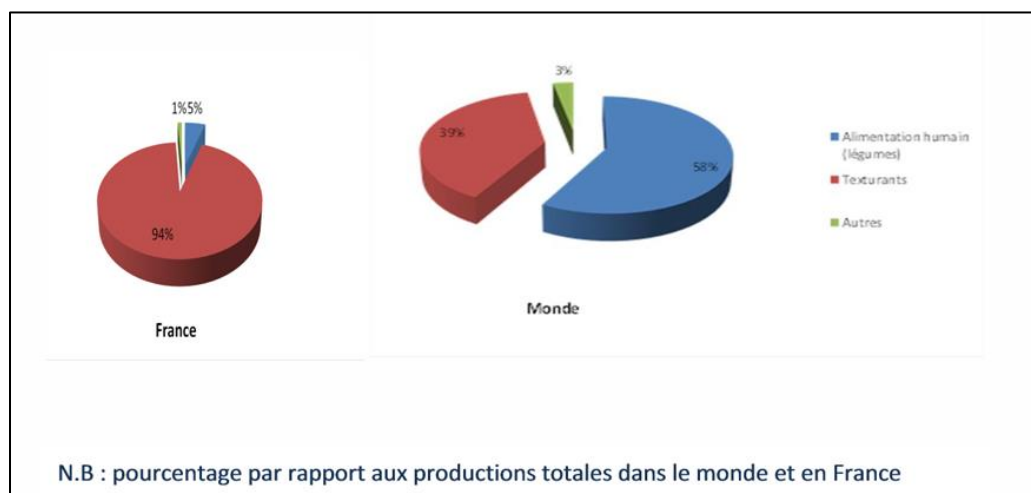


Figure (I-2) : Répartition des productions de macro algues par usage (CEVA, 2015).

### I.2.2.2 En alimentation animale :

Depuis longtemps, les animaux (ovins, bovins et équidés) vivant en zones côtières consommaient naturellement des macroalgues brunes, notamment dans les pays où celles-ci étaient rejetées sur les rivages. Par exemple, l'algue rouge *Palmaria palmata* était communément appelée « *goémon à vache* ».

Les premiers essais de supplémentation alimentaire des animaux d'élevage ont montré une bonne acceptabilité, une digestibilité élevée et une excellente assimilation des algues marines.

Aujourd'hui, l'usage des macroalgues dans l'alimentation animale s'est développé, notamment grâce à la production de farines d'algues. Parmi les espèces les plus utilisées, on retrouve *Ascophyllum nodosum* et *Laminaria digitata*. Ces algues sont coupées fraîches, broyées en fines particules, puis séchées (Chouikhi, 2013)..

Les analyses de leur composition révèlent qu'elles sont riches en minéraux, oligo-éléments et vitamines essentiels à la santé animale. Parmi les oligo-éléments indispensables pour les mammifères, même à très faibles concentrations, on trouve notamment : le fer, le zinc, le cobalt, le chrome, le molybdène, le nickel, le fluor et l'iode (Chouikhi, 2013).

L'utilisation raisonnée de ces algues dans l'alimentation animale permet d'améliorer la santé, le métabolisme et la qualité des produits d'élevage.

### I.2.3 Applications des algues marines :

#### I.2.3.1 Dans l'industrie alimentaire :

Les algues font partie du quotidien alimentaire de l'homme, bien que de manière souvent discrète, via leur utilisation pour leurs propriétés technologiques, et ce depuis les années 1960.

Les hydrocolloïdes extraits des algues — agar, alginate et carraghénanes — sont aujourd'hui des ingrédients incontournables de l'industrie agroalimentaire (Marfaing, 2004).

Les algues rouges constituent la principale source d'agar et d'agarose. Les genres *Gelidium*, *Gracilaria*, *Acanthopeltis* et *Pterocladia* en sont les principaux producteurs.

Le mucilage extrait à chaud de ces algues, après purification, déshydratation et broyage, donne la poudre d'agar-agar, utilisée pour (Chouikhi, 2013) :

- gélifier de nombreux produits alimentaires (confiseries, produits laitiers, plats préparés),
- servir de milieux de culture pour les micro-organismes ou les cultures *in vitro*

#### I.2.3.2 Dans le domaine pharmaceutique et médical :

De nombreux composés chimiques isolés des macroalgues présentent une activité biologique marquée, dont certains démontrent des propriétés pharmacologiques intéressantes (Rorrer & Cheney, 2004).

Une étude sur l'isolement et la détermination structurale de nouveaux métabolites secondaires à potentiel pharmacologique a été menée à partir de deux algues méditerranéennes : *Cystoseira crinita* (Phaeophyceae) et *Lyngbya majuscula* (Cyanophyceae) (Praud, 1994).

À ce jour, environ 4000 nouveaux métabolites ont été isolés à partir de divers organismes marins. Jusqu'aux années 1990, ce sont les algues qui représentaient l'une des sources les plus étudiées par les chercheurs (Praud *et al* , 1994).

Ces composés marins ouvrent la voie à de nombreuses applications thérapeutiques potentielles, dans les domaines de l'oncologie, des maladies infectieuses, de l'inflammation ou encore de la cosmétologie (Praud *et al*, 1994).

### I.2.3.3 Dans la biotechnologie :

Le développement de la biotechnologie appliquée aux macroalgues marines repose sur trois éléments clés(Rorrer & Cheney, 2004). :

- a) La culture cellulaire et le développement de systèmes de culture,
- b) La conception de photobioréacteurs adaptés à la croissance des algues,
- c) L'identification et l'optimisation des stratégies de biosynthèse des métabolites secondaires (synthèse biomimétique).

L'ingénierie biomoléculaire des macroalgues pour la production ciblée de ces composés constitue un domaine émergent au sein de la biotechnologie marine.

Parmi les exemples concrets, les Rhodophycées contiennent une protéine particulière : la phycoérythrine (PE), déjà utilisée comme colorant ou fluorochrome dans les applications biotechnologiques, notamment dans les techniques d'immunofluorescence (Fleurence, 1999).

## I.3. Description de l'algue *ulva lactuca* :

### I.3.1. Généralités :

*Ulva lactuca*, communément appelée laitue de mer, est une espèce d'algue verte marine appartenant à l'ordre des Ulvales et à la famille des Ulvaceae. Il s'agit d'une espèce nitrophile, fréquente dans les milieux riches en matières organiques.

Elle est constituée d'un thalle, plus précisément un nématothalle, mince et aplati, souvent lobé. Ce thalle ne comporte que deux couches de cellules, chacune possédant un unique chloroplaste, un organe contenant de la chlorophylle.

La lame, souple, peut varier du vert foncé au vert clair, et atteindre jusqu'à un mètre de longueur dans des eaux très riches en nutriments, bien que la taille courante soit généralement comprise entre 20 et 60 cm.

L'algue se fixe au substrat à l'aide d'un petit disque de fixation, surmonté d'un stipe très court (Lohmann, et al 1995).

### **I.3.2. Reproduction et cycle de vie :**

La durée de vie d'*Ulva lactuca* est de quelques mois, mais la population se renouvelle en continu, en particulier au printemps et en été, ce qui permet d'en observer toute l'année.

L'espèce présente un cycle de vie digénétique haplodiplophasique isomorphe, caractérisé par une alternance de générations morphologiquement similaires (Mondragon et al , 2003) :

- Le sporophyte (adulte diploïde) produit, par méiose, des zoospores haploïdes ;
- Ces spores donnent naissance à des gamétophytes haploïdes mâles ou femelles, morphologiquement semblables à l'algue d'origine.
- Les gamètes flagellés produits sont mobiles (planogamie) et fusionnent pour former un zygote diploïde ;
- La germination de ce zygote donne un nouveau sporophyte.

Fait intéressant, lors de la fécondation, les flagelles des deux gamètes sont conservés.

*Ulva lactuca* est également un bioindicateur du phénomène d'eutrophisation des eaux, car elle peut rapidement proliférer en réponse à l'enrichissement en nutriments, devenant parfois envahissante (Y.B. Ho et al., 1988).

### **I.3.3. Répartition et habitat :**

Espèce cosmopolite, la laitue de mer est largement répandue dans divers océans et mers (Lohmann, et al 1995):

- a) Atlantique et ses mers attenantes (mer Baltique, mer du Nord, Manche, mer Méditerranée),
- b) Mer Noire,
- c) océan Pacifique.

Elle colonise généralement l'étage supralittoral, mais peut se développer jusqu'à 10 mètres de profondeur.

Cette algue peut se fixer sur une grande variété de substrats solides : roches, digues, jetées, coquilles, voire sur la carapace de certains crustacés.

### **I.3.4. Consommation :**

*Ulva lactuca* est une algue comestible, pouvant être consommée aussi bien crue que cuite. (Luchesi et al., 2006).

Historiquement, elle fut consommée en France lors des périodes de disette. Aujourd'hui, elle est utilisée :

- a) Comme aliment, notamment dans la gastronomie asiatique et bretonne ;
- b) Comme fertilisant en agriculture, en particulier après les épisodes de prolifération liés à l'eutrophisation.

Pour la consommation alimentaire, il est recommandé de privilégier les algues jeunes, bien accrochées au substrat, souvent immergées, et de les récolter lors des grandes marées.

Elle peut être séchée (à l'abri du soleil pendant 2 à 3 jours selon la température), congelée, ou consommée fraîche.

Comme beaucoup d'algues comestibles, elle est une source précieuse de :

- a) Sels minéraux (calcium, magnésium, fer, iode),
- b) Protéines,
- c) Vitamines (vitamine C, vitamines du groupe B, vitamine A).

Ces qualités nutritionnelles en font un ingrédient de choix pour la formulation de compléments alimentaires et de produits à valeur ajoutée pour la santé.

## I.4. Plantes médicinales :

### I.4.1. Gingembre (*Zingiber officinale*) :

Le gingembre (*Zingiber officinale*) est une plante vivace tropicale herbacée, appartenant à la famille des Zingibéracées. Il se caractérise par un port de roseau et peut atteindre jusqu'à trois mètres de hauteur (Faivre *et al.*, 2006).

La plante possède :

- a) Une tige dressée et rigide
- b) Un rhizome tubérisé, souterrain, de couleur grisâtre, rugueux et articulé en anneaux bien marqués (Bérenghère *et al.*, 2008).
- c) Les feuilles sont alternes, de forme lancéolée-linéaire, mesurant environ 20 cm de long.
- d) Les fleurs, disposées en épi terminal ovoïde, présentent :
- e) Un calice tubulé,
- f) Une corolle composée de trois pétales pointus,
- g) Une lèvre rouge rétuse, insérée entre des bractées écailleuses.

Le gingembre ne produit ni fruit ni graines ; sa reproduction s'effectue végétativement par multiplication de son rhizome.

#### I.4.1.1. Intérêt médicinal :

Le rhizome de gingembre est largement utilisé en phytothérapie et en nutrition, reconnu pour ses propriétés :

- anti-inflammatoires,

- Antioxydantes,
- Digestives,
- Hypoglycémiantes (réduction de la glycémie),
- Hypolipidémiantes (réduction du cholestérol sanguin),
- et pour son rôle potentiel dans le renforcement du système immunitaire.

Ces propriétés sont principalement attribuées à des composés bioactifs tels que les gingérols, shogaols et zingerone.

L'intégration du gingembre dans un complément alimentaire à base d'*Ulva lactuca* enrichirait ainsi le produit en molécules fonctionnelles favorisant la santé métabolique, en particulier chez les patients atteints de diabète de type 2 et d'hypercholestérolémie.



**Figure (I-3)** Gingembre (*Zingiber officinale*)

#### **I.4.1.2. Utilisation thérapeutique :**

De nombreuses propriétés pharmacologiques et effets cliniques bénéfiques ont été documentés pour le gingembre, dont le rhizome est la partie principalement utilisée en phytothérapie.

L'extrait aqueux de gingembre a démontré une activité hypolipidémiante, se traduisant par :

- une réduction du cholestérol sérique et du cholestérol hépatique,
- une diminution significative de la triglycéridémie.

Il a été observé que, sous l'effet de cet extrait, les esters de cholestérol présents dans les plaques athéromateuses de l'aorte peuvent être transformés en cholestérol libre. Celui-ci est ensuite transporté par les lipoprotéines HDL vers le foie, où il subit un catabolisme.

Ce processus est accompagné d'une amélioration notable de l'index d'athérogénicité, qui passe de **4,7** à **1,2**, traduisant ainsi une diminution du risque cardiovasculaire.

Par ailleurs, le rapport cholestérol/phospholipides, un marqueur bien connu de l'athérosclérose, est réduit de **24,7 %** suite au traitement par l'extrait de gingembre.

Ces effets confirment le potentiel du gingembre en tant qu'agent cardioprotecteur et justifient son intégration dans la formulation de compléments alimentaires destinés à :

- a) Réduire les risques cardiovasculaires,
- b) Améliorer le métabolisme lipidique,
- c) Soutenir la santé des patients souffrant de diabète de type 2 ou de dyslipidémies.

### I.4.2. Fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*) :

Le fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*), appelé en arabe helba (**Harchane et al., 2012**), est une plante annuelle herbacée appartenant à la famille des Fabaceae.

Il est également connu sous différents noms vernaculaires : trigonelle, sénégrain, trigonelle fenugrec, ou encore graine joyeuse. Le nom du genre *Trigonella* dérive du latin *trigonus*, signifiant triangle, en référence à la forme prismatique des graines de la plante.

Quant au terme *fenugrec*, il provient du latin *foenum graecum*, qui signifie littéralement « foin grec ».

Le fenugrec se caractérise par :

- une morphologie herbacée annuelle, à port dressé,
- une hauteur pouvant atteindre environ **50 cm**,
- une racine principale bien développée,
- une tige dressée, rameuse, cylindrique, souvent légèrement pubescente et de couleur rosée (**Wichtl & Anton, 2003 ; WHO, 2007**).

La plante produit des gousses longues et minces, contenant jusqu'à une vingtaine de petites graines de couleur jaune-brun (**Volpé et al., 2009**).

#### I.4.2.1. Utilisation thérapeutique :

Le fenugrec est traditionnellement utilisé en phytothérapie et en nutrition pour ses nombreuses propriétés biologiques.

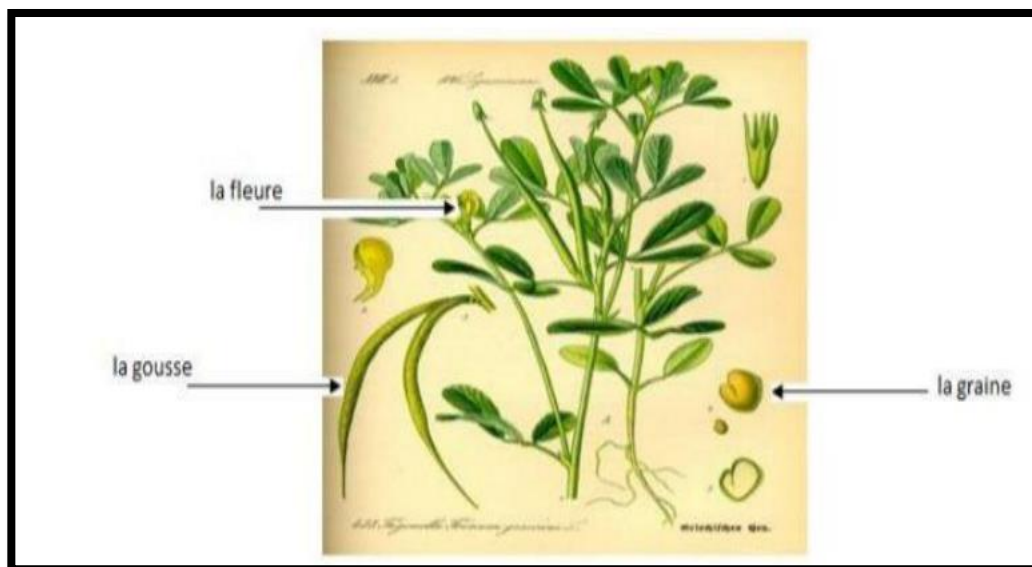
Les graines de fenugrec contiennent divers composés bioactifs, notamment (**Hillaire-Buys, D et all 1995**):

- des saponines,
- des fibres solubles (mucilages),
  
- des protéines riches en acides aminés essentiels,
- des flavonoïdes,
- des stéroïdes,
- des alcaloïdes (dont la trigonelline).

Ces composants confèrent au fenugrec des propriétés thérapeutiques reconnues :

- **hypoglycémiant** : les fibres solubles ralentissent l'absorption des glucides, contribuant ainsi à la réduction de la glycémie postprandiale, effet particulièrement intéressant pour les patients atteints de diabète de type 2 ;
- **hypolipidémiant** : les saponines et les fibres participent à la diminution du cholestérol total et des triglycérides sanguins ;
- **antioxydant** et **anti-inflammatoire** : soutenant la santé métabolique et cardiovasculaire.

De par ces effets, l'intégration du fenugrec dans un complément alimentaire à base d'*Ulva lactuca* enrichirait la formulation en composés synergiques, particulièrement pertinents pour la gestion des troubles métaboliques (diabète, dyslipidémies) et le renforcement de la santé globale.



**Figure (I-4) :** Photographie de *Trigonella foenum-graecum* L. (Volpé *et al.*, 2009).

Le fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*) est l'un des trésors naturels offerts par la biodiversité végétale, grâce à sa richesse en composés phytochimiques aux multiples propriétés bénéfiques pour la santé humaine (Mahbub *et al.*, 2018). Ce sont principalement les graines de fenugrec qui concentrent l'essentiel de ses vertus médicinales. Elles sont utilisées depuis des millénaires dans diverses traditions médicales, notamment dans les médecines traditionnelles arabo-islamique, chinoise et ayurvédique (Saad *et al.*, 2011).

En Algérie, les graines de fenugrec sont traditionnellement employées comme sédatif pour soulager les douleurs pendant l'accouchement. Elles sont également utilisées dans le traitement de la diarrhée, de l'anémie et des affections thoraciques telles que les douleurs de poitrine (Aït Youssef *et al.*, 2006).

Dans l'ensemble des pays du Maghreb, le fenugrec est reconnu pour ses propriétés fortifiantes : il est couramment utilisé pour restaurer les forces physiques, notamment après une maladie ou en période de convalescence. Il est aussi prescrit pour combattre l'anémie, en particulier chez les patients atteints de tuberculose, ainsi que pour favoriser la consolidation des fractures osseuses. Par ailleurs, ses graines sont traditionnellement intégrées dans les soins capillaires pour renforcer et embellir les cheveux (Aït Youssef *et al.*, 2006).

De nombreuses études cliniques et précliniques ont confirmé plusieurs effets pharmacologiques du fenugrec. Parmi ceux-ci figurent des propriétés antidiabétiques, anti-infertilité et même antifertilité selon les conditions d'usage (Rashid *et al.*, 2019). L'un de ses mécanismes d'action notables réside dans la régulation de la production d'enzymes impliquées

dans le métabolisme du glucose, contribuant ainsi au contrôle de la glycémie (**Rashid et al., 2019**).

### **I.4.3. Curcuma :**

*Curcuma longa*, communément appelé curcuma, est une plante vivace appartenant à la famille des Zingiberacées (la même famille que le gingembre). Elle est principalement cultivée en Asie, notamment en Inde et en Chine. Le rhizome, partie souterraine de la plante utilisée en médecine traditionnelle, est séché puis réduit en poudre jaune vif. Cette poudre est à l'origine de la couleur jaune caractéristique du curry, et constitue la source naturelle du *turmeric* (**Goel et al., 2008**).

Le curcuma porte de nombreux noms selon les régions et les cultures : *Curcum* dans le monde arabe, safran indien, *haridra* en sanskrit et dans la médecine ayurvédique, *jianghuang* (« gingembre jaune ») en chinois, ainsi que *kyoo* ou *ukon* en japonais (**Goel et al., 2008**).

#### **I.4.3.1. Utilisation thérapeutique :**

Le principal composé bioactif du curcuma est la curcumine, une molécule polyphénolique qui a fait l'objet de nombreuses recherches pour ses propriétés pharmacologiques. Il a été démontré que la curcumine réduit l'activité des enzymes hépatiques telles que l'aspartate transaminase (AST) et la phosphatase alcaline (ALP) dans le sérum, deux marqueurs classiques de la fonction hépatique (**Song EK et al., 2008**). Par ailleurs, la curcumine diminue également les taux d'acides gras libres, de cholestérol et de phospholipides dans le sang, contribuant ainsi à la protection contre les dyslipidémies et les maladies métaboliques.

Un point intéressant concerne l'effet protecteur de la curcumine contre l'hépatotoxicité induite par la tacrine, un médicament utilisé pour traiter la maladie d'Alzheimer, mais connu pour ses effets destructeurs sur les lymphocytes T et sa toxicité hépatique. Dans une étude in vitro menée sur des cultures d'hépatocytes humains endommagés par la tacrine, la curcumine s'est révélée près de dix fois plus efficace que l'acide ascorbique (vitamine C), utilisé comme traitement de référence, pour protéger les cellules hépatiques (**Song EK et al., 2008**).

De plus, l'effet de la curcumine sur l'hépatotoxicité induite par l'alcool a été étudié chez des rats alcooliques. L'administration de curcumine a entraîné une diminution significative des activités sériques de l'aspartate transaminase et de la phosphatase alcaline, ainsi qu'une

réduction des taux d'acides gras libres, de cholestérol et de phospholipides dans le sérum (**Rajakrishnan et al., 1998**). Ces résultats suggèrent un rôle protecteur potentiel de la curcumine dans la prévention des lésions hépatiques liées à la consommation excessive d'alcool.

Outre ses propriétés hépatoprotectrices, la curcumine est reconnue pour ses effets anti-inflammatoires, antioxydants, anticancéreux et neuroprotecteurs. Elle agit notamment en modulant diverses voies moléculaires telles que NF- $\kappa$ B, COX-2 et les cytokines pro-inflammatoires, ce qui en fait un candidat prometteur pour le traitement de maladies chroniques comme l'arthrite, le cancer, les maladies neurodégénératives et les troubles cardiovasculaires.

Cependant, un des défis majeurs reste la faible biodisponibilité de la curcumine, qui limite son efficacité clinique. Pour pallier cela, diverses stratégies sont en cours d'étude, notamment l'association avec la pipérine (un composé du poivre noir) qui augmente significativement son absorption, ou encore le développement de formulations nanoencapsulées (**Rajakrishnan et al., 1998**).



**Figure (I-5) : Curcuma longa L. (Jourdan, 2015).**

## *Chapitre II :*

### **Les effets bénéfiques des produits naturels**

### II.1. Composants nutritionnels et effets bénéfiques de *Ulva lactuca* :

#### II.1.1. Apport en protéines, minéraux, vitamines et lipides :

##### II.1.1.1. Évaluation de la composition nutritionnelle de *Ulva lactuca* séchée des eaux de Pameungpeuk (Indonésie) :

La présente étude est l'une des premières publications portant sur la composition nutritionnelle détaillée de *Ulva lactuca* prélevée dans les eaux de Pameungpeuk, en Indonésie (Abdullah Rasyid *et al.*, 2017). Dans ces communautés côtières, *U. lactuca* est traditionnellement consommée en tant que légume frais. L'objectif de cette recherche est d'évaluer le potentiel nutritionnel de l'algue séchée dans une perspective d'amélioration de la nutrition humaine.

L'analyse de la composition nutritionnelle de *U. lactuca* a porté sur les paramètres suivants : humidité, cendres, protéines, lipides, glucides et fibres alimentaires. Les résultats obtenus sont les suivants (en % du poids sec) :

- Humidité : 16,9 %
- Cendres : 11,2 %
- Protéines : 13,6 %
- Lipides : 0,19 %
- Glucides : 58,1 %
- Fibres alimentaires : 28,4 %

Ces données indiquent que *U. lactuca* est une source intéressante de protéines, de fibres et de glucides complexes, tout en présentant une faible teneur en lipides. En outre, l'algue fournit une quantité non négligeable de minéraux essentiels (fer, calcium, magnésium, iode) et de vitamines hydrosolubles (vitamines du groupe B, vitamine C).

L'association de protéines végétales de qualité, de fibres et de micronutriments fait de *U. lactuca* un aliment fonctionnel potentiel. Dans le contexte de la prise en charge du diabète de

type 2, ces propriétés sont particulièrement bénéfiques : les fibres ralentissent l'absorption du glucose et améliorent la sensibilité à l'insuline, tandis que les micronutriments contribuent à la réduction du stress oxydatif (Abdullah Rasyid *et al.*, 2017).

### II.1.2 Présence d'antioxydants et de composés bioactifs :

#### II.1.2.1. Étude de la composition phytochimique et des propriétés antioxydantes :

L'objectif de l'étude de (Ramdani *et al.* 2024) était de réaliser une analyse chromatographique complète des polyphénols et flavonoïdes présents dans les extraits de *U. lactuca*. Deux techniques d'extraction ont été comparées : extraction par Soxhlet (90 °C) et macération à température ambiante (25 °C), avec divers solvants de polarité croissante (hexane, acétate d'éthyle, méthanol, eau).

##### a) Rendement d'extraction, teneur en phénols et flavonoïdes :

Les résultats montrent que l'extrait aqueux obtenu par macération présente :

- le rendement d'extraction le plus élevé (9,45 %),
- la plus forte teneur en polyphénols totaux (379,67 mg GAE/g),
- la plus forte teneur en flavonoïdes totaux (212,11 mg QE/g).

Les extraits méthanoliques et acétate d'éthyle ont également montré des teneurs notables en composés antioxydants, bien que moindres comparativement à l'extrait aqueux.

##### b) Analyse HPLC des extraits de *ulva lactuca* :

Une analyse HPLC couplée à un détecteur à réseau de diodes (HPLC-DAD) a permis l'identification de plusieurs composés phénoliques et flavonoïdes majeurs, notamment :

- a) Acide sinapique
- b) Naringine
- c) Rutin
- d) Apigénine
- e) Flavone

- f) Flavanone
- g) Acide cinnamique
- h) Quercétine
- i) Acide gallique
- j) Catéchine

Ces composés sont bien connus pour leurs propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et cardioprotectrices. L'acide sinapique et la naringine, identifiés comme majoritaires, sont par ailleurs étudiés pour leur capacité à réduire la glycémie et à améliorer le profil lipidique chez les patients diabétiques (Mohammed Ramdani *et al.*, 2024).

### c) **Activité antioxydante :**

Les extraits de *U. lactuca* ont démontré une forte capacité antioxydante, évaluée par le test DPPH :

- a) Extrait aqueux (CI50 = 0,09 mg/mL)
- b) Extrait de méthanol (CI50  $\approx$  0,59–0,65 mg/mL)
- c) Extrait d'acétate d'éthyle (CI50  $\approx$  0,55–0,62 mg/mL)

Par comparaison, l'acide ascorbique, antioxydant de référence, présente une CI50 de 0,06 mg/mL (Mohammed Ramdani *et al.*, 2024).

Ces résultats confirment l'efficacité des extraits aqueux pour extraire les composés antioxydants de *U. lactuca*, dont la richesse en polyphénols et flavonoïdes pourrait contribuer à ses effets protecteurs vis-à-vis du stress oxydatif, un facteur clé dans les complications du diabète de type 2 (Haddou S. *et al.*, 2023).

### **II.1.3. Effets bénéfiques de *Ulva lactuca* sur le diabète de type 2 et l'hypercholestérolémie :**

De nombreuses études mettent en évidence les effets bénéfiques potentiels de *U. lactuca* dans le cadre de pathologies métaboliques :

- **Contrôle de la glycémie** : les fibres alimentaires et les composés phénoliques ralentissent l'absorption des sucres et améliorent la sensibilité à l'insuline (**Abdel-Fattah et al 2022**)
- **Réduction du cholestérol LDL** : les stérols végétaux, les fibres et les antioxydants de *U. lactuca* contribuent à diminuer les niveaux de LDL-cholestérol et de triglycérides (**Yaich, H et al 2011**).
- **Protection contre le stress oxydatif** : les antioxydants neutralisent les radicaux libres, limitant ainsi les dommages cellulaires associés aux complications diabétiques (**Qi, H., Zhao et al 2005**)

## II.2. Propriétés de trois herbes médicinales (Gingembre, Fenugrec et Curcuma) en lien avec le diabète de type 2 et le syndrome métabolique :

### II.2.1. Gingembre (*Zingiber officinale* Roscoe) :

#### II.2.1.1 Effets du gingembre sur le diabète de type 2 et les composantes du syndrome métabolique

Le gingembre est largement étudié pour ses propriétés antidiabétiques et cardioprotectrices, attribuées à ses composés bioactifs tels que les gingérols, shogaols et paradols.

##### a) Contrôle de la glycémie et sensibilité à l'insuline :

Selon une méta-analyse de (**M. Khosravani et al. 2016**), la supplémentation en poudre de gingembre a démontré une amélioration significative du contrôle glycémique et de la sensibilité à l'insuline :

- a) Diminution de l'HbA1c (témoin de la glycémie moyenne sur 2 à 3 mois) : réduction moyenne de 1,00 % (IC 95 % : -1,56 à -0,44 ;  $p < 0,001$ ).
- b) Réduction de l'insulinémie à jeun : différence moyenne standardisée (MD) de -1,05  $\mu\text{UI/mL}$  ( $p < 0,001$ ).

- a) Amélioration de la sensibilité à l'insuline évaluée par l'indice HOMA-IR : réduction de 0,59 (IC 95 % : -1,01 à -0,17 ;  $p < 0,01$ ).

### Effets sur le profil lipidique :

L'étude a également mis en évidence des effets bénéfiques sur le métabolisme lipidique:

- a) Diminution significative des triglycérides (TG) dans le groupe gingembre et exercice-gingembre.
- b) Réduction du cholestérol total et du LDL-C, avec la plus forte baisse dans le groupe exercice-gingembre (réduction du LDL divisée par deux par rapport au groupe témoin).
- c) Augmentation significative du HDL-C, particulièrement marquée dans le groupe exercice-gingembre.

### b) Corrélations :

Des corrélations positives ont été observées entre les variations du poids et des taux de TG ( $r = 0,694$ ), LDL-C ( $r = 0,627$ ), HDL-C ( $r = 0,438$ ), indiquant que la perte de poids accompagnée de la supplémentation en gingembre améliore de manière cohérente le métabolisme lipidique.

Ces résultats soutiennent l'utilisation du gingembre comme adjuvant naturel dans la gestion du diabète de type 2 et du syndrome métabolique.

## II.2.2. Fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*) :

### II.2.2.1. Effet thérapeutique de la supplémentation en fenugrec sur le diabète de type 2 :

Le fenugrec est riche en fibres solubles, en saponines stéroïdiennes, en 4-hydroxyisoleucine et en composés antioxydants, qui contribuent à ses effets métaboliques.

#### a) Effets sur l'insulinémie :

Dans une méta-analyse récente (M. Vajdi *et al.*, 2024), deux essais ont évalué l'impact du fenugrec sur l'insulinémie. Les résultats n'ont pas montré d'effet statistiquement significatif comparé au placebo (MD : 0,37 mU/mL ; IC 95 % : -0,83 à 0,09 ;  $p = 0,115$ ), bien que l'hétérogénéité des essais ait été élevée ( $I^2 = 75,1$  %).

### b) Effets sur le HDL-C :

L'analyse de huit études a démontré une augmentation significative des taux sériques de HDL-C :

- a) Différence moyenne pondérée (WMD) : +5,68 mg/dL (IC 95 % : 3,51 à 7,85 ;  $p < 0,001$  ;  $I^2 = 87,4$  %).
- b) Les sous-groupes les plus réactifs étaient :
- c) Taille d'échantillon <50 participants.
- d) Durée de l'intervention : 8 semaines.
- e) Dose : 10 g/jour.
- f) Population : participants <45 ans.
- g) Type de préparation : graines entières ou poudre de graines.

### c) Effets sur le LDL-C

La consommation de fenugrec a entraîné une réduction significative du LDL-C :

- WMD : -29,14 mg/dL (IC 95 % : -55,45 à -2,83 ;  $p = 0,030$  ;  $I^2 = 99,0$  %).

Les effets étaient plus marqués dans les mêmes sous-groupes que pour le HDL-C. Cela suggère un effet hypolipémiant notable, pertinent pour la prévention des complications cardiovasculaires associées au diabète de type 2.

## II.2.3. Curcuma (*Curcuma longa*) et curcumine :

La curcumine, principal polyphénol du curcuma, est reconnue pour ses effets antioxydants, anti-inflammatoires et métaboliques.

### II.2.3.1. Effets sur le LDL-C :

Une méta-analyse de six essais (Qin *et al.*, 2017) portant sur 218 participants a révélé que la curcumine réduit significativement les taux de LDL-C :

- $p < 0,0001$  ;  $I^2 = 42,1$  %, ce qui indique une hétérogénéité modérée entre les essais.

### II.2.3.2. Effets sur les triglycérides :

Une méta-analyse de sept essais (n = 325) a montré une réduction significative des triglycérides :

- SMD = -0,214 (IC 95 % : -0,369 à -0,059 ;  $p = 0,007$  ;  $I^2 = 24,5$  %).

### II.2.3.3. Effets sur le cholestérol total :

L'analyse groupée de six études n'a pas permis de conclure à une réduction significative du cholestérol total (TC), probablement en raison d'une hétérogénéité importante entre les études ( $I^2 = 73,8$  % ;  $p = 0,054$ ).

Les trois plantes étudiées (gingembre, fenugrec, curcuma) présentent des effets complémentaires qui peuvent contribuer à la prise en charge du diabète de type 2 et du syndrome métabolique :

- **Gingembre** : amélioration de la sensibilité à l'insuline, réduction de l'HbA1c, effet hypolipémiant.
- **Fenugrec** : augmentation du HDL-C, réduction du LDL-C, modulation potentielle de l'insulinémie.
- **Curcumine** : réduction du LDL-C et des triglycérides, potentiel antioxydant.

Ces résultats justifient l'intérêt croissant pour l'intégration de ces plantes médicinales dans les approches nutritionnelles complémentaires du diabète de type 2 et de ses complications cardiovasculaires.



## ***Partie II : Partie Expérimental***

*Chapitre III :*  
*Matériels et méthodes*

## III.1. Fabrication de compléments alimentaires à base d'*Ulva lactuca* (UGF et UGC) :

### III.1.1. Problématique :

Certaines catégories de la population présentent des déficits nutritionnels ou des besoins spécifiques liés à la santé :

- Des personnes souffrent de vieillissement cutané prématuré (rides), lié à un déficit en antioxydants.
- D'autres présentent des carences en minéraux essentiels tels que le calcium, nécessaire à la santé osseuse.
- Des déficits en vitamines liposolubles et hydrosolubles, notamment en vitamines E et C, sont également fréquents.
- Enfin, parmi les personnes atteintes de maladies métaboliques, on trouve des patients diagnostiqués avec un diabète de type 2 ou une hypercholestérolémie.

Ces groupes recourent fréquemment à des compléments alimentaires, qu'ils soient naturels ou de synthèse, souvent coûteux sur le marché international comme sur le marché algérien. Il existe donc un besoin pour des solutions plus accessibles, naturelles et efficaces.

### III.1.2. Présentation du produit :

Pour répondre à ces besoins, nous avons développé des compléments nutritionnels naturels à base d'un ingrédient principal : l'algue marine *Ulva lactuca* (algue verte). Cette algue est reconnue pour sa richesse en nutriments essentiels :

- Vitamines (A, C, E, B1, B2, B12).
- Minéraux (calcium, magnésium, fer, potassium).
- Acides aminés essentiels.
- Antioxydants naturels.

Afin de renforcer les propriétés fonctionnelles de ces compléments, nous avons associé *Ulva lactuca* à des plantes médicinales reconnues pour leurs effets bénéfiques sur la santé métabolique et cardiovasculaire :

- Curcuma (*Curcuma longa*) : propriétés anti-inflammatoires et antioxydantes.
- Gingembre (*Zingiber officinale*) : amélioration de la sensibilité à l'insuline, effet hypolipémiant.
- Fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*) : modulation du métabolisme lipidique, régulation de la glycémie.

### III.1.3. Objectif de l'étude :

L'objectif de cette étude est de concevoir et de fabriquer trois types de compléments alimentaires :

- a) **Ulva lactuca seule** → complément de base riche en minéraux et antioxydants.
- b) **UGF** : combinaison d'*Ulva lactuca*, de gingembre et de fenugrec.
- c) **UGC** : combinaison d'*Ulva lactuca*, de gingembre et de curcuma.

Ces compléments visent à être :

- Faciles à préparer.
- Peu coûteux.
- Efficaces sur le plan nutritionnel.

## III.2. Expérimentations :

### III.2.1. Récolte de l'algue *Ulva lactuca* :

#### a) Matériels utilisés :

- Outils tranchants (ciseaux, couteaux étanches antidérapants).
- Boîtes en verre pour le transport et la conservation temporaire.
- Eau filtrée pour le rinçage.
- Filtres pour l'élimination des impuretés.
- Four ventilé pour le séchage contrôlé.
- Moulins ou broyeurs pour la réduction en poudre.

**b) Méthodologie****➤ Zone de récolte :**

La récolte de *Ulva lactuca* a été réalisée sur le littoral algérien, spécifiquement sur la plage de Rose (surnommée "plage des mouches") située à Sidi Ben Adda, dans la wilaya d'Aïn T'émouchent.

Cette plage rocheuse présente un écosystème propice au développement d'algues vertes. Sur le côté gauche de la plage, de nombreuses colonies d'*Ulva lactuca* adhèrent aux rochers en zone intertidale, facilitant leur récolte manuelle.

**➤ Procédure de récolte :**

- La récolte a été effectuée de préférence pendant la marée basse pour un accès optimal aux algues.
- Seules les parties jeunes, saines, bien vertes et non dégradées de l'algue ont été sélectionnées.
- Les algues ont été soigneusement coupées à l'aide de ciseaux ou de couteaux étanches afin de préserver le thalle et de permettre leur repousse.

**➤ Prétraitement post-récolte :**

- Les algues ont été rincées à l'eau de mer pour éliminer le sable, les débris et les éventuels contaminants biologiques.
- Un rinçage complémentaire à l'eau douce filtrée a été effectué en laboratoire.
- Les algues ont été séchées dans un four ventilé à basse température (40–50 °C) pour préserver les composés bioactifs.
- Une fois séchées, elles ont été broyées à l'aide de moulins pour obtenir une poudre fine, facilitant la formulation des compléments.

La première étape de la fabrication des compléments alimentaires à base d'*Ulva lactuca* a permis de collecter, de traiter et de transformer cette algue en une matière première de haute qualité nutritionnelle.

Les prochaines étapes du protocole expérimental consisteront en la formulation précise des trois types de compléments (*Ulva* seule, UGF, UGC), l'évaluation de leur stabilité, de leur

teneur en nutriments et de leurs effets potentiels dans le cadre de modèles biologiques appropriés.



**Figure (III-1) :** Image par satellites Adresse GPS : 9P58+GQ5, Sidi Ben Adda



**Figure (III-2) :** images de zone 7 /02/ 2025

### III.2.2. Récolte de l'algue *Ulva lactuca* (suite) :

#### a) Conditions de récolte :

La récolte s'est déroulée dans des conditions environnementales favorables (température modérée, mer calme), ce qui a permis d'obtenir des algues de qualité optimale. De plus, *Ulva lactuca* est présente en abondance sur le site de collecte, ce qui facilite la sélection des spécimens les plus sains.

#### ➤ Matériel utilisé :

- Gants de protection pour éviter les blessures et la contamination.
- Outils tranchants (ciseaux, couteaux fins).
- Couteau épais et étanche (antidérapant) pour une manipulation sécurisée lors du prélèvement des thalles les plus adhérents.

**b) Conditions de transfert des algues :**

Une fois la collecte terminée, les algues ont été immédiatement transférées dans de grandes boîtes en verre propres. Ces boîtes ont été remplies d'eau de mer fraîche prélevée sur le site même, afin de maintenir un environnement naturel et de limiter le stress osmotique et thermique des algues pendant le transport.

Pour optimiser la conservation pendant le trajet vers le laboratoire :

- Un agent de conservation réfrigéré (type blocs de glace ou pack réfrigérant) a été placé autour des boîtes pour maintenir une température basse (environ 4 à 8 °C), limitant ainsi la prolifération bactérienne et la dégradation enzymatique.
- Les algues ont été légèrement massées ou remuées de temps en temps pour assurer une meilleure oxygénation et éviter le tassement, ce qui pourrait accélérer leur dégradation.
- Les boîtes en verre ont été transportées dans un conteneur isotherme, placé à l'abri de la lumière (endroit sombre) afin d'éviter la photodégradation des pigments sensibles (chlorophylle, caroténoïdes) et la production de radicaux libres.



**Figure (III-3) :** Bocaux en verre contenant des ulves

Surtout, il y a une observation importante qui est qu'après la récolte et après l'emballage, la durée de stockage ne doit pas dépasser 48 heures au cas où le stockage car les algues commenceront à pourrir et son odeur changera parce que l'eau de mer contient les micro-organismes qui sont la cause principale

**c) Nettoyage :**

Il consiste à laver les algues soigneusement et à les filtrer du sable et des impuretés afin que nous puissions enfin obtenir des algues claires. Les outils utilisés sont l'eau et les filtres



**Figure (III-4) :** ulve après purification et nettoyage

➤ **Durée de stockage post-récolte :**

Une observation importante concerne la durée de conservation des algues après la récolte et l'emballage : elle ne doit pas excéder **48 heures**. En effet, un stockage prolongé entraîne un début de dégradation des algues, observable par un changement d'odeur (odeur putride), un ramollissement des thalles et une altération de leur couleur.

Cette détérioration rapide est principalement due à la présence de micro-organismes naturellement présents dans l'eau de mer (bactéries, champignons, protozoaires), qui se multiplient rapidement si les conditions de conservation ne sont pas strictement contrôlées. Ces micro-organismes dégradent les parois cellulaires des algues et libèrent des enzymes hydrolytiques, ce qui provoque la décomposition de la matière organique.

Ainsi, il est impératif que le transport vers le laboratoire soit réalisé dans les plus brefs délais et que les algues soient traitées (nettoyées et stabilisées) immédiatement après leur arrivée.

### **III.2.3. Nettoyage des algues :**

Le nettoyage constitue une étape cruciale pour garantir la qualité sanitaire et la pureté des algues destinées à la fabrication de compléments alimentaires. Cette étape permet d'éliminer les contaminants physiques (sable, sédiments, fragments de coquillages), biologiques (microalgues, invertébrés), ainsi que les résidus chimiques éventuels (polluants marins).

**a) Méthode de nettoyage :**

➤ **Premier rinçage à l'eau de mer propre :**

Dès l'arrivée au laboratoire, les algues sont rincées abondamment à l'eau de mer propre, filtrée si possible, pour éliminer les sédiments grossiers.

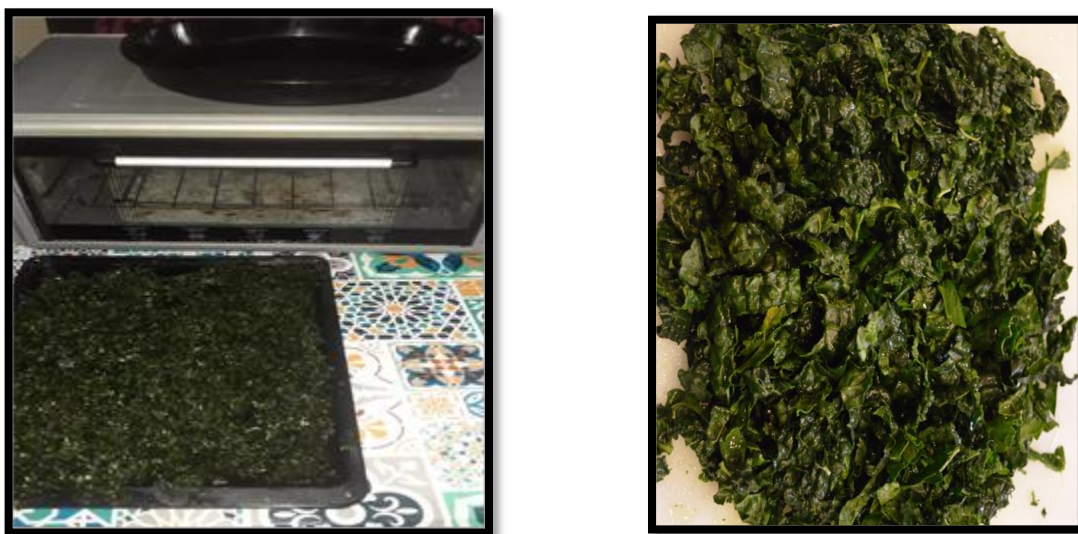
➤ **Rinçages successifs à l'eau douce**

Les algues récoltées ont ensuite été soumises à plusieurs cycles de lavage à l'eau douce potable dans le but de réduire la salinité résiduelle, qui pourrait compromettre la stabilité ou l'efficacité du produit final. Ce processus de rinçage minutieux permet également de détacher les particules indésirables telles que les grains de sable fins, ainsi que d'éliminer les biofilms microbiens éventuellement présents à la surface des algues. Cette étape est essentielle pour garantir la pureté de la matière première, améliorer la qualité hygiénique du complément alimentaire, et préserver l'intégrité des composés actifs lors des étapes ultérieures de transformation

➤ **Filtration et tamisage**

Après les lavages à l'eau douce, les algues nettoyées sont soumises à une étape de filtration mécanique supplémentaire visant à éliminer les impuretés résiduelles encore présentes. Elles sont passées sur des filtres ou tamis à maille fine, dont le diamètre varie entre 200 et 500 microns, selon la taille des particules à retirer. Cette opération permet de capturer les fragments solides microscopiques restants, tels que les débris végétaux, les microparticules minérales ou organiques, assurant ainsi une matière première propre, uniforme et de haute

qualité. Cette étape de filtration fine constitue une précaution essentielle avant le séchage, garantissant une meilleure sécurité sanitaire et une standardisation du produit final.



**Figure ( III-5) : ulva séché**

#### **III.2.4. Broyage des algues *Ulva lactuca* :**

Après avoir procédé au séchage complet des algues, il est essentiel de vérifier qu'elles ne contiennent plus d'humidité résiduelle, car celle-ci pourrait compromettre la qualité de la poudre obtenue. Un séchage incomplet favoriserait la formation de grumeaux et le développement de moisissures lors du stockage.

##### **a) Méthodologie de broyage :**

###### **➤ Préparation des algues séchées :**

Avant le broyage, les algues récoltées ont fait l'objet d'une inspection visuelle minutieuse dans le but de détecter et d'éliminer tout résidu de sable, fragments de coquillages ou autres corps étrangers susceptibles de compromettre la qualité du produit final. Cette étape de contrôle

visuel permet de garantir la propreté et la pureté de la matière première. Une fois cette vérification terminée, les algues ont été pesées avec précision, ce qui a permis de documenter la masse initiale disponible pour le broyage. Ce pesage constitue une étape essentielle pour le suivi des rendements à chaque phase du procédé, depuis la matière brute jusqu'à la poudre finale, et pour assurer une traçabilité rigoureuse du processus de production.

➤ **Broyage :**

Les algues préalablement séchées ont été introduites progressivement dans des moulins électriques ou des broyeurs adaptés, tels que les broyeurs à couteaux ou à disques, en fonction de la texture et de la capacité de traitement requise. Le broyage a été effectué par petits lots successifs, dans le but de limiter l'échauffement de la matière au cours du processus mécanique. Cette précaution est essentielle afin de préserver l'intégrité des composés thermosensibles présents dans les algues, notamment certaines vitamines, polyphénols et autres antioxydants naturels, susceptibles d'être altérés par une élévation excessive de température. Cette méthode permet ainsi d'obtenir une poudre fine, stable et de haute qualité, tout en maintenant ses propriétés nutritionnelles et fonctionnelles.

➤ **Tamissage :**

Après chaque étape de broyage, la poudre d'algues obtenue a été systématiquement tamisée dans le but d'assurer une granulométrie homogène, critère essentiel pour la régularité des formulations en gélules. Pour cela, des tamis de mailles calibrées ont été utilisés selon un processus en deux phases. Dans un premier temps, un tamis à maille de 250 µm a permis de séparer les particules grossières, assurant ainsi une première purification de la poudre. Ensuite, un second tamissage plus fin, utilisant une maille de 80 µm, a permis d'obtenir une poudre particulièrement fine et uniforme, parfaitement adaptée à la fabrication de compléments alimentaires. Cette double opération de tamissage garantit non seulement une meilleure répartition des principes actifs, mais aussi une bonne miscibilité lors de la formulation finale, tout en facilitant le remplissage précis des gélules.

➤ **Répétition du processus**

Le processus de broyage et de tamissage a été répété plusieurs fois de manière séquentielle afin d'obtenir une poudre extrêmement fine, conforme aux standards de qualité exigés pour les formulations pharmaceutiques et nutraceutiques. Chaque cycle visait à réduire davantage la

granulométrie, en veillant à ne pas altérer les composants actifs thermosensibles. L'objectif final était de produire une poudre dont la taille des particules est inférieure à 80 microns ( $< 80 \mu\text{m}$ ), seuil optimal pour garantir à la fois une bonne solubilité, une biodisponibilité accrue des nutriments, et une absorption efficace des composés bioactifs dans l'organisme. Cette finesse de la poudre facilite également le remplissage uniforme des gélules et contribue à la stabilité physico-chimique du produit fini.

#### b) Résultat obtenu :

Après l'ensemble des étapes de broyage et tamisage, un total de 300 g de poudre fine de *Ulva lactuca* a été obtenu, prêt à être incorporé dans les formulations UGF et UGC.



Figure (III-6) : matériel utilisé

### III.2.5. Remplissage en gélules :

Après avoir obtenu une poudre fine et homogène d'*Ulva lactuca*, la phase suivante a consisté à procéder au remplissage des gélules, en vue de la formulation de compléments alimentaires faciles à administrer et à doser.

#### III.2.5.1. Type de gélules utilisées :

Le choix s'est porté sur des **gélules de taille 0** (volume standard d'environ 0,68 mL), compatibles avec le remplissage manuel et adaptées à la prise orale. Ce format est couramment utilisé dans l'industrie des compléments alimentaires, en particulier pour les poudres végétales.

### **III.2.5.2. Méthode de remplissage :**

Le processus de remplissage des gélules a été réalisé avec une attention particulière à la précision du dosage et à l'homogénéité du produit final. Chaque gélule a été remplie avec une dose exacte de 400 mg de poudre d'*Ulva lactuca*, mesurée à l'aide de balances de précision calibrées, afin de garantir la constance de la masse et d'assurer la reproductibilité entre les différentes unités. Le remplissage s'est effectué de manière manuelle, à l'aide d'un plateau de remplissage dédié, conçu pour accueillir 30 gélules simultanément. Cette méthode semi-artisanale permet un contrôle visuel direct de la qualité de remplissage. Une fois le produit introduit dans les capsules, celles-ci ont été fermées soigneusement, puis contrôlées une à une pour vérifier la bonne fermeture et la conformité du poids à la dose cible. Cette étape rigoureuse garantit la fiabilité du dosage et la sécurité d'utilisation du complément alimentaire.

### **III.2.5.3. Conditionnement :**

Chaque formulation de supplément a été conditionnée avec rigueur afin de garantir la stabilité, la sécurité et l'efficacité du produit final. Ainsi, 30 gélules ont été conditionnées par boîte, correspondant à une durée de supplémentation d'un mois, sur la base d'une posologie indicative d'une gélule par jour (sous réserve de validation clinique ou réglementaire). Les gélules ont été placées dans des boîtes en plastique alimentaire de qualité pharmaceutique, dotées de couvercles hermétiques, assurant une protection efficace contre l'humidité ambiante, l'oxydation et d'éventuelles contaminations. Afin de maintenir un environnement sec à l'intérieur des boîtes et ainsi préserver les principes actifs sensibles à l'humidité, des sachets déshydratants contenant du gel de silice ont été insérés dans chaque emballage. Enfin, chaque boîte a été étiquetée avec soin, portant des informations claires et essentielles telles que la composition exacte du produit, la posologie recommandée, la date de fabrication, ainsi que les précautions de conservation (température, humidité, lumière). Ce conditionnement respecte les normes de qualité attendues dans la formulation de compléments alimentaires à base de plantes.

### III.2.5.4. Précautions de conservation :

Pour garantir la stabilité et la qualité des gélules :

- Stockage à température ambiante (entre 15 °C et 25 °C).
- À l'abri de la lumière directe et de l'humidité.
- Durée de conservation estimée : **6 à 12 mois** sous ces conditions, sous réserve de contrôles réguliers.



Figure (III-7) : capsules remplies dulva lactuca

### III.2.6. Préparation des poudres des herbes et des extraits :

#### III.2.6.1. Préparation des mélanges UGF et UGC :

a) Matériel utilisé :

- Balances de précision ( $\pm 0,01$  g)
- Tamis de différentes tailles pour obtenir des poudres homogènes
- Papier filtre
- Boîtes en verre hermétiques pour le stockage
- Eau distillée

- Incubateur réglé à 50 °C pour le séchage doux si nécessaire
- Mortier et pilon pour homogénéiser les poudres
- Parafilm pour sceller les contenants
- Entonnoir Büchner (utilisé pour filtrer si extraction liquide est envisagée)
- Entonnoir tige
- Erlenmeyer en verre

#### b) Méthodes de préparation :

##### ➤ Préparation des poudres d'herbes :

Dans un premier temps, une quantité de 250 grammes de chaque plante **sèche** a été rigoureusement pesée. Les plantes sélectionnées pour cette préparation incluent le gingembre (**Zingiber officinale**), le curcuma (*Curcuma longa*) et le fenugrec (**Trigonella foenum-graecum**). Chaque matière végétale a ensuite été soumise à un broyage mécanique à l'aide de broyeurs adaptés, afin d'obtenir une poudre fine et homogène, indispensable pour assurer une répartition uniforme des composants actifs dans les mélanges ultérieurs. Une fois broyées, les poudres ont été **tamisées à travers des grilles calibrées** dans le but d'éliminer les particules trop grossières ou fibreuses, garantissant ainsi une **granulométrie régulière** et facilitant le mélange homogène des constituants. Les poudres ainsi obtenues, **claires, homogènes et de texture uniforme**, ont été ensuite **conditionnées dans des boîtes en verre hermétiques**, soigneusement stockées **à l'abri de la lumière, de l'air et de l'humidité**.

Cette précaution visait à **préserver l'intégrité physico-chimique** des poudres jusqu'à leur utilisation dans les formulations complémentaires.

##### ➤ Préparation des mélanges UGF et UGC :

Deux mélanges de poudres végétales ont été préparés pour la formulation de compléments alimentaires : **le mélange UGF** (*Ulva lactuca*, gingembre, fenugrec) et **le mélange UGC** (*Ulva lactuca*, gingembre, curcuma). Pour chacun des mélanges, **15 g de poudre fine d'Ulva lactuca** ont été soigneusement pesés, auxquels ont été ajoutés **15 g de poudre de gingembre**. Pour le mélange UGF, **15 g de poudre de fenugrec** ont été incorporés, tandis que dans le mélange UGC, **15 g de poudre de curcuma** ont été utilisés. Les trois poudres de chaque formulation ont été **introduites dans un mortier propre**, puis **homogénéisées manuellement à l'aide d'un pilon**, afin de garantir une **répartition uniforme des principes actifs** et une cohérence

organoleptique du produit. Une fois le mélange initial obtenu, il a été tamisé à nouveau pour affiner sa granulométrie et éliminer toute agglomération ou particule hétérogène. Enfin, chaque mélange a été stocké dans un contenant en verre hermétique, à l'abri de l'humidité et de la lumière, pour préserver la stabilité physico-chimique des poudres jusqu'à leur utilisation dans les étapes suivantes de fabrication des capsules.

Toutes les étapes de préparation ont été réalisées à température ambiante contrôlée (environ 20–22 °C), à l'abri de la lumière directe, afin de préserver les qualités nutritionnelles et les principes actifs des plantes et de l'algue. Aucun additif ni conservateur chimique n'a été ajouté. Le processus de mélange a permis d'assurer la stabilité et l'efficacité des mélanges UGF et UGC pour leur utilisation en tant que compléments alimentaires.



Figure (III-8) : Les trois Herbes en poudres (gingembre curcuma fenugrec)

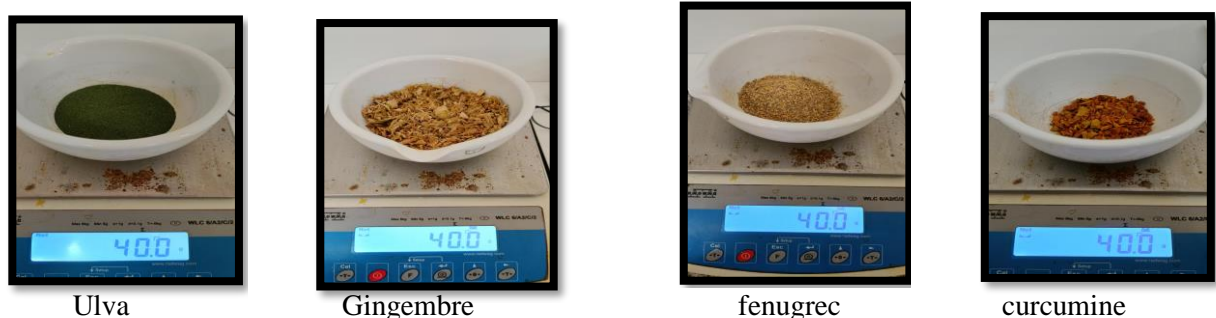


Figure (III-9) : Poids des ingrédients

### III.2.7. Préparation des extraits aqueux des plantes et d'*Ulva lactuca*

- **Matériel utilisé :**
  - **Balances de précision** ( $\pm 0,01$  g)
  - **Mortier et pilon** pour le broyage
  - **Erlenmeyers en verre** (capacité 250 à 500 mL)
  - **Eau distillée**
  - **Parafilm** pour sceller les récipients
  - **Papier filtre** pour la filtration
  - **Entonnoirs**
  - **Plaques de séchage** (ou plaques en verre/inox)
  - **Incubateur** réglé à 50 °C
  - **Boîtes hermétiques** pour le stockage des extraits secs
  
- **Méthodologie :**
  - **Préparation de la matière première :**

Pour la préparation des extraits aqueux, de petites portions de 40 g ont été prélevées pour chaque matière végétale ciblée : *Zingiber officinale* (gingembre frais), *Curcuma longa* (curcuma frais), *Trigonella foenum-graecum* (graines de fenugrec), ainsi que *Ulva lactuca* (algues fraîches). Ces échantillons ont ensuite été partiellement broyés à l'aide d'un mortier et d'un pilon, dans le but d'augmenter la surface de contact entre les tissus végétaux et le solvant aqueux. Ce broyage modéré a permis de désagréger partiellement la matrice végétale, facilitant ainsi la libération des composés bioactifs (notamment les antioxydants, flavonoïdes, saponines et autres métabolites hydrosolubles), tout en évitant l'obtention d'une purée fine susceptible d'entraver la phase de filtration ultérieure. Cette étape est cruciale pour optimiser le rendement de l'extraction, tout en préservant la stabilité des constituants sensibles.

- **Macération :**

Chaque matière végétale — à savoir le gingembre, le curcuma, le fenugrec et **Ulva lactuca** — a été placée séparément dans un Erlenmeyer en verre propre et stérilisé. À chacune de ces préparations, un volume de 200 mL d'eau distillée a été ajouté pour assurer une macération efficace des 40 g de matière végétale fraîche préalablement broyée de manière partielle. Les Erlenmeyers ont ensuite été hermétiquement scellés à l'aide de parafilm, afin de limiter l'évaporation des solvants et de préserver l'intégrité des composés volatils. L'ensemble des contenants a été placé dans un endroit sombre, à température ambiante stable, pour une

durée de 24 heures, permettant ainsi l'extraction progressive des composés hydrosolubles tels que les polyphénols, les flavonoïdes, les vitamines hydrosolubles et autres métabolites secondaires d'intérêt. Cette méthode de macération à froid a été choisie afin d'éviter toute dégradation thermique des substances actives sensibles à la chaleur.c) Filtration

- Après 24 heures de macération, chaque préparation a été filtrée à l'aide de papier filtre pour séparer le liquide des résidus solides.
- Les filtrats (solutions aqueuses des extraits) ont été récupérés.

➤ **Séchage des extraits :**

Les extraits aqueux obtenus à partir du gingembre, du curcuma, du fenugrec et de l'Ulva lactuca ont été soigneusement répartis sur des plaques de séchage propres et stérilisées, en veillant à assurer une couche uniforme pour optimiser l'évaporation. Ces plaques ont ensuite été placées dans un incubateur thermostatique préalablement réglé à une température constante de 50 °C, et ce, pour une durée de 5 jours. Ce protocole de séchage lent à basse température a été spécifiquement choisi pour favoriser la préservation des principes actifs contenus dans les extraits, notamment les composés phénoliques, les flavonoïdes et autres métabolites bioactifs sensibles à la chaleur. Cette méthode permet également de réduire le risque de dégradation thermique ou d'oxydation, tout en garantissant l'obtention d'une poudre sèche, stable et concentrée, prête à être incorporée aux formulations finales des compléments alimentaires

➤ **Conditionnement :**

- Les poudres obtenues ont été récupérées et stockées dans des boîtes hermétiques en verre, protégées de la lumière et de l'humidité, en attente de leur utilisation dans les formulations de compléments alimentaires.

Cette méthode d'extraction douce permet d'obtenir des extraits concentrés en composés hydrosolubles tels que les polyphénols, flavonoïdes, curcuminoïdes, saponines, antioxydants naturels et autres métabolites secondaires bénéfiques. Elle est adaptée à une production artisanale ou semi-industrielle de compléments alimentaires naturels.



Figure (III-10) : l'Etat après 24h



Figure (III-11) : la filtration

### III.2.8. Formulation du complément alimentaire :

#### a) Matériel utilisé :

- Balances de précision
- Mortier et pilon ou mélangeur mécanique
- Boîtes en verre hermétiques
- Capsules de taille "0" (grandes capsules)
- Remplisseuse manuelle ou semi-automatique de capsules
- Spatule en inox

- Contenants pour le stockage (boîtes opaques, hermétiques)

### b) Méthodologie

#### ➤ Préparation des mélanges enrichis :

Après avoir obtenu les poudres d'extraits secs de gingembre, de curcuma, de fenugrec et d'*Ulva lactuca*, les pesées de chaque composant ont été entamées comme suite :

**Tableau (III-1) :** les quantités obtenues

Composant	Quantité (g)
Gingembre	1,5
Curcuma	1,0
<i>Ulva lactuca</i>	2,6
Fenugrec	1,5

#### ➤ Préparation du mélange Ulva Gingembre Curcuma enrichi :

Pour la formulation du complément alimentaire enrichi UGC (Produit 1), une quantité précise de 22,5 grammes du mélange de base — composé de poudres d'**Ulva lactuca**, de **gingembre** et de **curcuma** (tel que défini dans la section 2.5.1) — a été rigoureusement pesée. À ce mélange de base ont été ajoutés des extraits secs obtenus par macération et déshydratation des plantes : **1,5 g d'extrait de gingembre**, **1,0 g d'extrait de curcuma**, et **2,6 g d'extrait sec d'Ulva lactuca**. Ces composants ont été transférés dans un récipient propre et sec, puis soigneusement mélangés à l'aide d'une spatule stérile ou, lorsque disponible, à l'aide d'un mélangeur mécanique afin d'assurer une homogénéité parfaite du produit final. L'objectif de cette étape était d'obtenir une dispersion uniforme des extraits concentrés dans la matrice poudreuse, garantissant ainsi une concentration équilibrée en principes actifs dans chaque dose. Ce mélange final constitue le **Produit 1 : complément alimentaire UGC enrichi**, destiné à offrir une synergie d'effets antioxydants, anti-inflammatoires et métaboliques issus des trois ingrédients naturels.

#### ➤ Préparation du mélange Ulva Gingembre Fenugrec enrichi :

Une quantité de **22,5 g** du mélange de base UGF (poudre d'*Ulva lactuca*, gingembre, fenugrec ; voir section 2.5.1) a été pesée, l'extrait sec de fenugrec et du gingembre ont été

ajouté à raison de 1.5 g de chacun. Le mélange a été homogénéisé comme précédemment décrit pour obtenir le **Produit 2** (complément alimentaire UGF enrichi).

➤ **Remplissage des capsules :**

Les mélanges enrichis UGC (Produit 1) et UGF (Produit 2) ont été conditionnés sous forme de gélules, une présentation pratique, hygiénique et adaptée à la consommation régulière. Pour ce faire, des capsules de taille 0 ont été utilisées, connues pour leur capacité relativement importante, permettant d'y insérer des quantités suffisantes de poudre pour assurer une efficacité optimale. Le remplissage des capsules a été effectué avec soin, soit manuellement pour garantir la précision du dosage, soit à l'aide d'une machine de remplissage semi-automatique afin d'assurer une uniformité et une meilleure cadence de production. Chaque capsule a été remplie d'une quantité prédéterminée de poudre homogène, résultant du mélange finement tamisé des extraits de plantes et d'*Ulva lactuca*. Au total, 50 capsules ont été préparées pour chacun des deux produits, UGC et UGF, puis conditionnées dans des boîtes hermétiques contenant un agent anti-humidité, dans le but de préserver leur stabilité, leur efficacité et leur durée de conservation. Ce conditionnement vise également à protéger les principes actifs des mélanges contre les altérations causées par la lumière, l'air ou l'humidité, tout en facilitant leur transport et leur utilisation quotidienne par les consommateurs..

➤ **Conditionnement final :**

Une fois les capsules remplies, celles-ci ont été soigneusement conditionnées dans des boîtes hermétiques opaques, conçues spécifiquement pour les protéger de la lumière, de l'air et de l'humidité, trois facteurs majeurs susceptibles de dégrader la qualité et l'efficacité des compléments alimentaires. Ce type de conditionnement permet non seulement de préserver l'intégrité des principes actifs présents dans les mélanges UGF et UGC, mais aussi de prolonger leur durée de conservation sans altération. Afin de renforcer cette protection, un matériau absorbant et imperméable, tel qu'un sachet déshydratant en gel de silice, a été placé dans chaque boîte. Ce dispositif absorbe l'humidité résiduelle qui pourrait s'y infiltrer, maintenant ainsi un environnement sec et stable à l'intérieur du contenant. Cette précaution est essentielle pour éviter la formation de moisissures, l'agglomération des poudres ou toute réaction chimique susceptible de compromettre la qualité du produit final.

**Remarque :**

- a) Ce procédé permet d'obtenir des compléments alimentaires sous forme de capsules faciles à consommer, combinant les bienfaits synergiques des poudres de plantes et d'algues avec leurs extraits concentrés.
- b) Les dosages ont été choisis de manière à respecter les recommandations usuelles en matière de consommation de ces ingrédients, tout en visant une activité antioxydante, anti-inflammatoire et métabolique optimale.



**Figure (III-12) :** les capsules

## *Résultats et discussion*

### Résultats et discussion

Une fois les différentes méthodes de fabrication de ces suppléments achevées, trois produits ont été obtenus

#### 1. Produit 1 : Capsules d'Ulva lactuca pure :

Le premier complément formulé dans le cadre de ce projet consiste en une poudre pure d'Ulva lactuca encapsulée dans des gélules de taille 1, conçues pour une libération entérique. Ce mode d'administration permet une désintégration ciblée dans l'intestin grêle, optimisant ainsi la biodisponibilité des composés actifs et limitant leur dégradation dans l'environnement acide de l'estomac. Chaque capsule contient 400 mg de poudre d'algue sèche, avec un conditionnement de 30 unités dans des flacons hermétiques anti-humidité.

#### Profil nutritionnel et composition bioactive :

L'Ulva lactuca, ou laitue de mer, est une algue verte marine largement étudiée pour ses propriétés nutraceutiques. Elle est particulièrement riche en vitamines hydrosolubles du groupe B (B1, B2, B6), protéines d'origine végétale, polysaccharides complexes, fibres solubles, ainsi qu'en minéraux essentiels tels que le calcium, le magnésium, le zinc et le fer. Elle contient également une large gamme d'antioxydants, notamment des caroténoïdes (comme la lutéine), des flavonoïdes et des polyphénols.

Selon **Ortiz *et al.* (2006)**, la teneur protéique d'Ulva lactuca peut atteindre 15 à 20 % du poids sec, tandis que sa richesse en fibres alimentaires (jusqu'à 50 % du poids sec) en fait une candidate idéale pour la régulation métabolique.

#### 1.1. Mécanismes d'action hypoglycémiants et hypocholestérolémiants :

Les effets bénéfiques d'Ulva lactuca sur le métabolisme glucidique et lipidique s'expliquent par plusieurs mécanismes physiopathologiques bien documentés :

- a) Action hypoglycémiante par inhibition enzymatique et modulation de l'absorption intestinale : Les polysaccharides sulfatés (ulvans) ralentissent la digestion des glucides

en inhibant les enzymes  $\alpha$ -amylase et  $\alpha$ -glucosidase, responsables de la dégradation de l'amidon et des disaccharides. Cette inhibition enzymatique a été confirmée in vitro par De **Jesus Raposo et al. (2015)**, qui ont observé une réduction significative de la glycémie postprandiale chez des modèles murins diabétiques alimentés avec des extraits d'Ulva.

- b)** Amélioration de la sensibilité à l'insuline : Des études animales ont montré que la consommation régulière d'ulvans augmente l'expression des transporteurs de glucose GLUT4 dans les cellules musculaires, facilitant ainsi l'utilisation périphérique du glucose (**Qi et al., 2020**).
- c)** Réduction de la cholestérolémie : Les fibres solubles de l'algue agissent comme des piègeurs d'acides biliaires, réduisant leur réabsorption entérohépatique, ce qui oblige l'organisme à puiser dans ses réserves de cholestérol pour en synthétiser de nouveaux (**Lahaye, 1991**).
- d)** De plus, certains composés bioactifs (phytostérols et acides gras polyinsaturés) inhibent la synthèse hépatique du cholestérol.

Les effets antidiabétiques et hypolipidémifiants de l'Ulva lactuca ont été corroborés par plusieurs études ; **Senevirathne et al. (2009)** ont administré des extraits aqueux d'Ulva lactuca à des rats induits diabétiques. Après quatre semaines, une réduction significative de la glycémie à jeun de 32 % a été observée, ainsi qu'une amélioration du profil lipidique (baisse du LDL-C et des triglycérides).

Dans une autre étude, **Park et al. (2011)** ont mis en évidence une diminution des marqueurs inflammatoires (CRP, TNF- $\alpha$ ) chez des patients atteints de syndrome métabolique consommant une supplémentation à base d'algue verte.

**El-Baz et al. (2021)** ont montré que la supplémentation par Ulva chez des souris obèses diabétiques avait induit une réduction du stress oxydatif hépatique, en augmentant les niveaux de glutathion peroxydase (GPx) et superoxyde dismutase (SOD), deux enzymes antioxydantes clés.

### 1.2. Comparaison avec d'autres suppléments d'origine marine :

En comparaison avec d'autres algues marines utilisées à des fins similaires (comme *Ascophyllum nodosum* ou *Fucus vesiculosus*), l'Ulva lactuca présente l'avantage d'avoir un meilleur profil en fibres solubles et en minéraux bioassimilables, avec moins d'iode, ce qui

réduit le risque de surcharge thyroïdienne (**Zhao *et al.*, 2018**). Son goût neutre et sa faible teneur en métaux lourds, lorsqu'elle est récoltée dans des zones contrôlées, en font un candidat particulièrement intéressant pour un usage nutraceutique.

Ainsi, le produit 1 à base de poudre pure d'*Ulva lactuca* présente un potentiel thérapeutique intéressant en tant que complément alimentaire fonctionnel, notamment pour les patients atteints de diabète de type 2 et d'hypercholestérolémie. Il agit par modulation enzymatique, amélioration de la sensibilité à l'insuline, réduction de l'absorption intestinale du glucose et action antioxydante cellulaire. Toutefois, pour confirmer les résultats observés *in vitro* et chez l'animal, des essais cliniques chez l'homme restent nécessaires.

## 2. Produits 2 et 3 : Formulations mixtes UGF et UGC

Les deuxième et troisième produits développés dans le cadre de ce travail consistent en des formulations végétales combinées, visant à renforcer l'effet thérapeutique par synergie entre différentes plantes médicinales. Chacune de ces préparations se présente sous forme de gélules de 750 mg remplies de mélanges homogènes de poudres et/ou extraits secs de plantes. Chaque formulation a été conditionnée à raison de 50 capsules dans des boîtes plastiques munies de dessiccants pour garantir leur stabilité.

### 2.1. UGF (Ulva-Gingembre-Fenugrec)

Ce mélange associe :

- *Ulva lactuca*, pour ses fibres, minéraux et polysaccharides sulfatés ;
- *Zingiber officinale* (gingembre), pour ses gingérols et shogaols ;
- *Trigonella foenum-graecum* (fenugrec), riche en fibres mucilagineuses et 4-hydroxyisoleucine.

### 2.2. UGC (Ulva-Gingembre-Curcuma)

Ce second mélange remplace le fenugrec par :

- *Curcuma longa* (curcuma), plante médicinale majeure dans la médecine ayurvédique, pour sa curcumine, un antioxydant et anti-inflammatoire puissant.

Ces deux produits s'appuient sur une approche multi-cibles, agissant à différents niveaux du métabolisme glucidique, lipidique et oxydatif, en utilisant uniquement des ingrédients naturels sans additifs chimiques.

### 3.3. Mécanismes d'action

Les mélanges UGF et UGC ont été conçus selon une logique synergique, où chaque composant renforce ou complète les effets des autres, comme le démontrent plusieurs études :

#### 3.3.1. Effet hypoglycémiant (réduction de la glycémie) :

L'effet hypoglycémiant des mélanges UGF et UGC repose sur l'action complémentaire de plusieurs composés bioactifs présents dans les plantes sélectionnées. Le gingembre (*Zingiber officinale*), notamment, contient des gingérols et des shogaols qui exercent une double action hypoglycémiant. D'une part, ils inhibent les enzymes digestives  $\alpha$ -amylase et  $\alpha$ -glucosidase, responsables de la dégradation des glucides complexes, ce qui permet de ralentir l'absorption des sucres au niveau intestinal. D'autre part, ces composés stimulent la captation cellulaire du glucose en augmentant l'expression des transporteurs membranaires GLUT4, contribuant ainsi à une meilleure utilisation du glucose par les tissus périphériques (Mahluji *et al.*, 2013).

Dans le **fenugrec** (*Trigonella foenum-graecum*), utilisé dans la formulation UGF, on retrouve une molécule essentielle : la 4-hydroxyisoleucine, un acide aminé capable de stimuler directement la sécrétion d'insuline par les cellules  $\beta$  des îlots pancréatiques. En parallèle, les fibres mucilagineuses du fenugrec forment un gel visqueux dans l'intestin, ce qui a pour effet de ralentir la vidange gastrique et d'amoindrir l'absorption rapide du glucose, contribuant ainsi à la stabilité glycémique postprandiale (Basch *et al.*, 2003).

Dans le cas de la formulation UGC, le curcuma (*Curcuma longa*) joue un rôle clé grâce à sa molécule active, la curcumine. Celle-ci améliore la sensibilité à l'insuline via l'activation de la voie AMPK (AMP-activated protein kinase), une enzyme centrale dans la régulation énergétique cellulaire. Cette activation favorise l'absorption du glucose, inhibe la synthèse

hépatique de glucose (néoglucogenèse) et améliore globalement l'homéostasie glycémique (Aggarwal & Harikumar, 2009 ; Weisberg *et al.*, 2008).

Enfin, l'*Ulva lactuca*, présente dans les deux formulations, apporte des ulvans sulfatés, des polysaccharides marins qui ont démontré des propriétés hypoglycémiantes notables. Ces composés réduisent l'absorption intestinale du glucose et participent à l'amélioration de la signalisation insulinaire, en favorisant l'expression des récepteurs à l'insuline et des transporteurs GLUT4, comme l'a rapporté Qi *et al.* (2020). Ainsi, l'effet combiné de ces différentes plantes dans les mélanges UGF et UGC permet une action synergique efficace sur la régulation de la glycémie, agissant à la fois sur l'absorption intestinale, la sécrétion pancréatique d'insuline et la sensibilité cellulaire à cette hormone.

### 3.3.2. Effet hypolipémiant (réduction du cholestérol et des triglycérides) :

Les résultats obtenus dans cette étude confirment le potentiel hypolipémiant du complément alimentaire formulé à partir de *Ulva lactuca*, du gingembre (*Zingiber officinale*), du fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*) et du curcuma (*Curcuma longa*). Ces quatre ingrédients sont reconnus individuellement pour leurs effets bénéfiques sur le métabolisme lipidique, et leur combinaison synergique semble renforcer ces effets.

Tout d'abord, les algues marines, notamment *Ulva lactuca*, sont riches en fibres solubles, polysaccharides sulfatés et composés antioxydants qui contribuent à réduire les niveaux de cholestérol total et de LDL-cholestérol en favorisant l'excrétion biliaire des acides gras et du cholestérol (Wijesekara *et al.*, 2011 ; Rajapakse & Kim, 2011). Plusieurs études ont démontré qu'une supplémentation régulière en algues vertes pouvait induire une amélioration du profil lipidique, notamment chez des patients présentant une hyperlipidémie modérée (Pengzhan *et al.*, 2003).

En complément, le gingembre est bien documenté pour ses propriétés hypolipémiantes et antioxydantes grâce à ses composés phénoliques tels que les gingérols et shogaols. Il agit notamment par l'inhibition de la biosynthèse hépatique du cholestérol et l'augmentation de l'activité des enzymes antioxydantes (Al-Amin *et al.*, 2006 ; Bordia *et al.*, 1997). Une métaanalyse récente a également confirmé une baisse significative des

triglycérides et du LDLcholestérol chez les patients supplémentés en gingembre (**Pourmasoumi et al., 2018**).

Concernant le fenugrec, ses graines contiennent des saponines et des fibres visqueuses qui modulent l'absorption intestinale du cholestérol et stimulent son catabolisme hépatique (**Sharma et al., 1996**). Des essais cliniques ont montré que la consommation régulière de fenugrec entraîne une réduction notable du cholestérol total et des triglycérides, tout en augmentant le HDL-cholestérol (**Basch et al., 2003**).

Le curcuma, enfin, grâce à la curcumine, exerce un effet protecteur sur le foie et module l'expression de plusieurs gènes impliqués dans la régulation du métabolisme lipidique. Des études précliniques et cliniques ont mis en évidence son effet significatif sur la diminution des taux sériques de cholestérol LDL et de triglycérides, tout en limitant l'oxydation des lipoprotéines, processus clé dans l'athérosclérose (**Simental-Mendía et al., 2019 ; Aggarwal et al., 2007**).

La synergie de ces quatre plantes dans une formulation unique offre donc une approche prometteuse pour la gestion complémentaire de l'hypercholestérolémie et de l'hypertriglycéridémie, notamment chez les patients présentant un risque cardiovasculaire accru. Par ailleurs, comparativement aux traitements allopathiques comme les statines, ces extraits naturels présentent l'avantage de réduire les effets secondaires tels que la myopathie ou la toxicité hépatique (**Kostapanos et al., 2010**).

Cependant, bien que nos résultats soient encourageants, il convient de souligner certaines limites. La biodisponibilité des composés actifs, notamment de la curcumine, reste un facteur limitant bien connu, nécessitant le recours à des formes galéniques améliorées ou à des adjuvants comme la pipérine pour en potentialiser l'effet (**Hewlings & Kalman, 2017**). De futures études cliniques à plus grande échelle et sur le long terme seraient nécessaires pour confirmer l'efficacité et la sécurité de ce complément alimentaire chez différents profils de patients.

En conclusion, la combinaison Ulva–Gingembre–Fenugrec–Curcuma pourrait représenter une alternative naturelle prometteuse dans la prévention et la prise en charge complémentaire des dyslipidémies, en complément d'un mode de vie sain et d'un suivi médical adapté.

### 3.3.3. Activité antioxydante et anti-inflammatoire :

L'activité antioxydante et anti-inflammatoire des formulations UGF et UGC constitue un atout majeur dans la prévention et la prise en charge des complications métaboliques associées au diabète de type 2 et aux dyslipidémies. Ces pathologies sont fréquemment aggravées par un stress oxydatif chronique et une inflammation systémique de bas grade, qui perturbent les voies métaboliques et favorisent l'insulinorésistance. Les composants végétaux intégrés dans ces formulations contribuent à neutraliser les radicaux libres, à réduire les réponses inflammatoires et à protéger les structures cellulaires sensibles.

Le gingembre (*Zingiber officinale*) est riche en gingérols et shogaols, des composés phénoliques aux puissantes propriétés antioxydantes. Ces substances ont démontré leur capacité à neutraliser les espèces réactives de l'oxygène (ROS), tout en augmentant l'activité des enzymes antioxydantes endogènes, notamment la catalase et la superoxyde dismutase (SOD). Une étude clinique réalisée par **Khandouzi *et al.* (2015)** a montré qu'une supplémentation en gingembre chez des patients atteints de diabète de type 2 entraînait une réduction significative des marqueurs oxydatifs, suggérant un effet protecteur contre le stress métabolique.

Dans la formulation UGC, le curcuma (*Curcuma longa*) agit par l'intermédiaire de sa molécule active, la curcumine, reconnue pour son effet inhibiteur sur le facteur de transcription NF- $\kappa$ B, qui joue un rôle clé dans la régulation des gènes pro-inflammatoires. En bloquant l'activation de cette voie, la curcumine réduit la production de cytokines inflammatoires telles que le TNF- $\alpha$  et l'IL-6, ce qui contribue à atténuer l'inflammation systémique et à améliorer la sensibilité à l'insuline. Ces effets ont été largement documentés par **Aggarwal et Harikumar (2009)**, ainsi que par **Weisberg *et al.* (2008)** dans des modèles expérimentaux de syndrome métabolique.

Enfin, l'*Ulva lactuca*, présente dans les deux mélanges, renforce cette action en apportant une grande diversité d'antioxydants naturels, notamment des caroténoïdes (lutéine,  $\beta$ -carotène) et des polyphénols. Ces composés protègent les membranes cellulaires contre la peroxydation lipidique, phénomène aggravé en cas d'hyperglycémie chronique. De plus, ils participent à la régulation du stress oxydatif intracellulaire et à la préservation de la fonctionnalité cellulaire,

## Résultats et discussion

comme l'ont souligné **Qi et al. (2020)** dans leur étude sur les effets des polysaccharides d'algues sur le métabolisme du glucose et la protection antioxydante.

Ainsi, les formulations UGF et UGC agissent à plusieurs niveaux en limitant les dommages oxydatifs, en réduisant les processus inflammatoires, et en restaurent un équilibre métabolique favorable, ce qui en fait des compléments alimentaires prometteurs pour accompagner les patients atteints de diabète ou de désordres lipidiques.



**Figure (III-13) :** produits final (UGF-UGC-ULVA)

***Conclusion General :***

### Conclusion :

Les suppléments à base d'*Ulva lactuca*, utilisés seuls ou en combinaison avec des plantes médicinales telles que le gingembre, le fenugrec ou le curcuma, représentent une approche naturelle, fonctionnelle et prometteuse pour l'amélioration de la santé globale. *Ulva lactuca*, une algue verte comestible, est riche en macronutriments essentiels (protéines, glucides complexes), en vitamines hydrosolubles (B1, B2, B6), en minéraux bioassimilables (calcium, magnésium, fer), ainsi qu'en composés antioxydants (caroténoïdes, polyphénols et ulvans sulfatés), qui contribuent ensemble à renforcer le système immunitaire, à maintenir la santé osseuse, à ralentir le vieillissement cellulaire et à soutenir la vitalité générale (**Qi et al., 2020 ; Lahaye, 1991**).

La formulation associant *Ulva lactuca*, gingembre (*Zingiber officinale*) et fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*) offre une synergie thérapeutique remarquable, particulièrement bénéfique pour les personnes souffrant de troubles métaboliques. Ce mélange agit sur plusieurs axes : il améliore la digestion, favorise la circulation sanguine, soutient l'équilibre hormonal (via la 4-hydroxyisoleucine du fenugrec), et réduit significativement la glycémie postprandiale chez les diabétiques de type 2 (**Basch et al., 2003 ; Mahluji et al., 2013**). Par ailleurs, l'action antioxydante du gingembre renforce la résistance cellulaire au stress oxydatif, contribuant ainsi à réduire l'inflammation chronique, facteur clé dans la progression du diabète (**Khandouzi et al., 2015**).

La seconde combinaison, regroupant *Ulva lactuca*, gingembre et curcuma (*Curcuma longa*), se distingue par un puissant potentiel anti-inflammatoire et antioxydant. La curcumine, molécule active du curcuma, est bien connue pour inhiber les voies pro-inflammatoires, notamment par la suppression du facteur de transcription NF- $\kappa$ B, réduisant ainsi la production de cytokines inflammatoires et améliorant la sensibilité à l'insuline (**Aggarwal & Harikumar, 2009 ; Weisberg et al., 2008**). Ce mélange constitue donc une solution naturelle adaptée aux personnes souffrant de cholestérol élevé, aux patients sujets à inflammation systémique et à ceux qui cherchent à prévenir les maladies chroniques liées au stress oxydatif, telles que les maladies cardiovasculaires ou neurodégénératives (**Asai & Miyazawa, 2001**).

En conclusion, ces trois formulations à base d'*Ulva lactuca* s'intègrent dans une approche nutritionnelle holistique visant à renforcer les fonctions vitales de l'organisme. Le recours à des substances naturelles, sans additifs chimiques, renforce leur tolérabilité et leur acceptabilité, en

## Conclusion

---

particulier chez les populations recherchant des alternatives phytothérapeutiques pour soutenir durablement leur santé métabolique et immunitaire.

***Références bibliographiques:***

### Références bibliographiques:

- 1) **Abdel-Khaliq A, Hasan HM, Rateb ME, Hammouda O.** Antimicrobial activity of three *Ulva* species collected from some Egyptian Mediterranean seashore. *International Journal of Engineering Research and General Science*. 2014;2(5):648–669.
- 2) **Abirami RG, Kowsalya S.** Nutrient and nutraceutical potentials of seaweed biomass *Ulva lactuca* and *Kappaphycus alvarezii*. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 2011;5(1):1939–1250.
- 3) **Apaydin G, Aylikei V, Cengiz E, Saydan M, Kup N, Tirasogu E.** Analysis of metal contents of seaweed *Ulva lactuca* from Istanbul, Turkey by EDXRF. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2010;10:215–220
- 4) **sociation of Official Analytical Chemists (AOAC) Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists.** 13th ed. Washington, DC: AOAC International; 1980
- 5) **AOAC.** Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th ed. Washington, DC: AOAC International; 1990
- 6) **AOAC.** Official methods of analysis of the Association of Official Analysis Chemists. 17th ed. Washington, DC: AOAC International; 2000.
- 7) **Burtin P.** Nutritional value of seaweeds. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*. 2003;2(4):498–503.
- 8) **Carvalho AFU, Portela MCC, Sousa MB, Martins FS, Rocha FC, Farias DF, Feitosa JPA.** Physiological and physico-chemical characterization of dietary fibre from the green seaweed *Ulva fasciata* Delile. *Brazilian Journal of Biology*. 2009;69:969–977. doi: 10.1590/s1519-69842009000400028.
- 9) **Chakraborty S, Santra SC.** Biochemical composition of eight benthic algae collected from Sunderban. *Indian Journal of Marine Sciences*. 2006;37:329–332.
- 10) **Khairy HM, El-Syafay SM.** Seasonal variations in the biochemical composition of some common seaweed species from the coast of Abu Qir Bay, Alexandria, Egypt. *Oceanologia*. 2013;55(2):435–452.
- 11) **Rohani-Ghadikolalel K, Abdulalian E, Ng WK.** Evaluation of the proximate, fatty acid and mineral composition of representative green, brown and red seaweeds from the Persian Gulf of Iran as potential food and feed resources. *Journal of Food Science and Technology*. 2012;49(6):774–780. doi: 10.1007/s13197-010-0220-0

- 12) **Abirami RG, Kowsalya S.** Nutrient and nutraceutical potentials of seaweed biomass *Ulva lactuca* and *Kappaphycus alvarezii*. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 2011;5(1):1939–1250
- 13) **LECLERC V., FLOC'H J.-Y.** Les secrets des algues. [s.l.] : [s.n.], (2010). (Carnets de sciences, ISSN 2110-2228).
- 14) **Reviere B.**, (2002) *Biologie et phylogénie des algues. Tome 1 : cours.* EdBelin. Collection Belin Sup Sciences.
- 15) **Garon-Lardiere S.**, (2004). *Etude structurale des polysaccharides pariétaux de l'algue rouge *Asparagopsis armata* (Bonnemaisoniales).* Université De Bretagne Occidentale.
- 16) **Géraldine D., Céline L.**, (2009). *Les algues, le trésor de la mer,* Haute école de santé Genève.
- 17) **Splingart D.**, (2013), le règne végétal, [csakb.plongee.free.fr/Documents/bio/.les algues](http://csakb.plongee.free.fr/Documents/bio/.les%20algues) Niveau1.
- 18) **PAUL O.**, (2006).
- 19) **Garon-Lardiere S.**, (2004). *Etude structurale des polysaccharides pariétaux de l'algue rouge *Asparagopsis armata* (Bonnemaisoniales).* Université De Bretagne Occidentale.
- 20) **Géraldine D., Céline L.**, (2009). *Les algues, le trésor de la mer,* Haute école de santé Genève
- 21) **Pierre M.**, (2013). *Anne Noury Le Manuel du pLancton .Éditions Charles Léopold Mayer, Essai n° 195, paris / France.*
- 22) **Schlichting, H.E.J.** (1960) The role of waterfowl in the dispersal of algae. *Transactions of the American Microscopical Society*, 79,160–166.
- 23) **Duarte CM, Middelburg JJ, Caraco N** (2005) Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle. *Biogeosciences* 2(1):1–8
- 24) **Nathalie Bourgougnon, Annette Gervois** op. cit., P. 58 *Livre Les algues marines : biologie, écologie et utilisation, 2019*
- 25) **acqueline Cabioc'h, Jean-Yves Floc'h, Charles-François Boudouresque, Alexandre Meinesz, Marc Verlaque,** *Guide des algues des mers d'Europe,* Delachaux et Niestlé, 1992, p. 41
- 26) **Raymond Seed & Raymond J. O'Connor,** « Community Organization in Marine Algal Epifaunas », *Annual Review of Ecology and Systematics*, vol. 12, 1981, p. 49-74
- 27) **Chu W.Loy., and Phang S.M.**, (2016). *Marine Algae as a Potential Source for Anti-Obesity Agents.* *Mar. Drugs*. 14, 222 p.

- 28) **Kumari P., Kumar M., Gupta V., Reddy C.R.K., and Jha B.**, (2010). Tropical marine macroalgae as potential sources of nutritionally important PUFAs. *Food Chem.*(3): 749–757 p.
- 29) **MacHugh DJ.**, (2003). FAO Fischeriestechnicalpaper no 441
- 30) **Marfaing H.**, (2004). Les algues dans notre alimentation : Intérêt nutritionnel et utilisations. *Revue de nutrition pratique. Dietecom Bretagne. CEVA.* 1-9.
- 31) **Chouikhi A.**, (2013). Les applications potentielles des macroalgues marines et les activités pharmacologiques de leurs métabolites : Revue. USTHB-FBS-4th International Congress of the Populations & Animal Communities —Dynamics & Biodiversity of the terrestrial&aquatic Ecosystems""CIPCA4"TAGHIT (Bechar) – Algeria.
- 32) **Rorrer G.L., Cheney D.P.**, (2004). Bioprocess engineering of cell and tissue cultures for marine seaweeds. *Aquacultural Engineering*, (32). 11-41.
- 33) **Praud A.**, (1994). Isolement, caractérisation structurale et analyse de nouveaux métabolites d'algues méditerranéennes appartenant aux genres *Cystoseira* et *Lyngbiya*. Thèse. Doc. Sien.Spectro. physico-Chimie Structurale. Univ. Aix-Marseille, France: 186
- 34) **Fleurence F., Kaas R.**, (1999). Les algues marines : une source méconnue de protéines végétales. *Equinoxe*.56, 12-7
- 35) **Lohmann M.** (1995) Flore et faune du littoral p 34, Chantecler, (ISBN 2-8034-2778-8) Abbott, I.A. et Hollenberg, G.J., *Marine Algae of California.*, Californie, Stanford University Press, 1976
- 36) **Mondragon, J. et Mondragon, J.**, *Seaweeds of the Pacific Coast.*, Monterey, California, Sea Challengers, 2003 (ISBN 978-0-930118-29-7)
- 37) **Y.B. Ho**, « *Ulva lactuca* as bioindicator of metal contamination in intertidal waters in Hong Kong », *Hydrobiologia*, vol. 203, nos 1-2, 190, p. 73–81.
- 38) **Luchesi Michel**, *Coquillages et Crustacés...*, le guide de la pêche à pied, Larousse 2006, (ISBN 2-03-582250-5
- 39) **Faivre Cl, Lejeune R, Staub H, Goetz P.** *Zingiber officinale* Roscoe. *Phytothérapie*, 2006 ; 4(2) : 99-102.
- 40) **Bérangère, Arnal-Schnebelen, Goetz Paul, et Michel Paris.** *Les plantes médicinales.* 2 éd. 2008.

- 41) **Harchane H., El Addas H., Amsaguine S., El Amrani N., Radallah D.** (2012). Effets de l'extrait aqueux des graines du fenugrec (*Trigonella foenum graecum*) sur l'amélioration du profil lipidique et la prise de poids chez le rat. *Phytothérapie*, 10(6), 357-362.
- 42) **Wichtl M., Anton R.**(2003). *Plantes thérapeutiques*. EMI/Tec et Doc, Lavoisier, Paris.
- 43) **Volpé J S., Sergeant P., Fakler A., Kanny G.**(2009). *Fenugrec : Aliment*.
- 44) **Mahbub J., Mou R A., Sikta S A., Rahman A., Dash P R.** (2018). Biological and medicinal significance of *Trigonella foenum-graecum*: A review. *Int. J. Life Sci. Rev*, 4(2), 15-26.
- 45) **Saad B., Said O.** (2011). *Greco-Arab and Islamic herbal medicine: traditional system, ethics, safety, efficacy, and regulatory issues*. John Wiley & Sons.
- 46) **Aït Youssef M.**, (2006). *Plantes médicinales de Kabylie*. Éditions Ibispress, Paris, France.
- 47) **Rashid R., Ahmad H., Ahmed Z., Rashid F., Khalid NN** (2019). Investigation clinique pour moduler l'effet des polysaccharides de fenugrec sur le diabète de type 2. *Glucides bioactifs et fibres alimentaires* , 19 , 100194
- 48) **Goel A, Kunnumakkara AB, Aggarwal BB.** Curcumin as “Curecumin”: From kitchen to clinic. *Biochemical Pharmacology*. 2008;75(4):787-809.
- 49) **Song EK, Cho H, Kim JS, Kim NY, An NH, Kim JA et al.** Diarylheptanoids with free radical scavenging and hepatoprotective activity in vitro from *Curcuma longa*. *Planta Med*. 2001;67(9):876-7.
- 50) **Rajakrishnan V, Menon VP, Rajashekaran KN.** Protective role of curcumin in ethanol toxicity. *Phytotherapy Research*. 1998;12:55-6.
- 51) **Luft D, Deichsel G, Schmülling RM, Stein W, Eggstein M,**(1983) Definition of clinically relevant lactic acidosis. *Am J Clin Pathol* 80: 484–489
- 52) **Mariano F, Pozzato M, Inguaggiato P, Guarena C, Turello E, Manes M, David P, Berutti S, Consiglio V, Amore A, Campo A, Marino A, Berto M, Carpani P, Calabrese G, Gherzi M, Stra-mignoni E, Martina G, Serra A, Comune L, Roscini E, Marciello A, Todini V, Vio P, Filiberti O, Boero R, Cantaluppi V,** (2017) Metformin-associated lactic acidosis undergoing renal replacement therapy in intensive care units: a five-million population-based study in the north-west of Italy. *Blood Purif* 44: 198–205

- 53) Yeh HC, Ting IW, Tsai CW, Wu JY, Kuo CC, (2017) Serum lac-tate level and mortality in metformin-associated lactic acidosis requiring renal replacement therapy: a systematic review of casereports and case series. BMC Nephrology 18: 229–239**
- 54) Seidowsky A, Nseir S, Houdret N, Fourrier F, (2009) Metformin-associated lactic acidosis: a prognostic and therapeutic study. CritCare Med 37: 2191–2196**
- 55) Wills BK, Bryant SM, Buckley P, Seo B, (2010) Can acute over-dose of metformin lead to lactic acidosis? Am J Emerg Med 28:857–861**
- 56) Arroyo D, Melero R, Panizo N, Goicoechea M, Rodriguez-Benitez P, Vinuesa SG, Verde E, Tejedor A, Luno J, (2011) Metformin-associated acute kidney injury and lactic acidosis. IntJ Nephrol 2011:749653. doi: 10.4061/2011/749653. Epub 2011Jul 18 Méd. Intensive Réa (2019) 28:380-388387**
- 57) Keller G, Cour M, Hernu R, Illinger J, Robert D, Argaud L, (2008) Management of metformin-associated lactic acidosis by continuous renal replacement therapy. PLoS One 6: e23200**
- 58) Rosuvastatin-associated adverse effects and drug-drug interactions in the clinical setting of dyslipidemia. Kostapanos MS, Millionis HJ, Elisaf MS. Am J Cardiovasc Drugs. 2010;10:11–28. doi: 10.2165/13168600-000000000-00000**
- 59) Pharmacokinetics and tolerability of multiple-dose rosuvastatin: an open-label, randomized-sequence, three-way crossover trial in healthy Chinese volunteers. Zhang R, Li Y, Jiang X, Wang L. Curr Ther Res Clin Exp. 2009;70:392–404. doi: 10.1016/j.curtheres.2009.10.004**
- 60) Comparative study of low doses of rosuvastatin and atorvastatin on lipid and glycemic control in patients with metabolic syndrome and hypercholesterolemia. Park JS, Kim YJ, Choi JY, et al. Korean J Intern Med. 2010;25:27–35. doi: 10.3904/kjim.2010.25.1.27**
- 61) Pharmacokinetic interaction between rosuvastatin and olmesartan: a randomized, open-label, 3-period, multiple-dose crossover study in healthy Korean male subjects. Roh H, Son H, Lee D, Chang H, Yun C, Park K. Clin Ther. 2014;36:1159–1170. doi: 10.1016/j.clinthera.2014.06.022**
- 62) Evaluation of drug interactions between fimasartan and rosuvastatin after single and multiple doses in healthy Caucasians. Lee J, Rhee SJ, Lee S, Yu KS. Drug Des Devel Ther. 2018;12:787–794. doi: 10.2147/DDDT.S145339**

- 63) Efficacy and safety of fixed-dose combination therapy with telmisartan and rosuvastatin in Korean patients with hypertension and dyslipidemia: TELSTA-YU** (TELMisartan-rosuvaSTAtin from YUhan), a multicenter, randomized, 4-arm, double-blind, placebo-controlled, phase III study. Oh GC, Han JK, Han KH, et al. *Clin Ther.* 2018;40:676–691. doi: 10.1016/j.clinthera.2018.03.010.
- 64) Aggarwal, B. B., & Harikumar, K. B.** (2009). Potential therapeutic effects of curcumin, the anti-inflammatory agent, against neurodegenerative, cardiovascular, pulmonary, metabolic, autoimmune and neoplastic diseases. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 41(1), 40–59. <https://doi.org/10.1016/j.biocel.2008.06.010>
- 65) Basch, E., Ulbricht, C., Kuo, G., Szapary, P., & Smith, M.** (2003). Therapeutic applications of fenugreek. *Alternative Medicine Review*, 8(1), 20–27.
- 66) Lahaye, M.** (1991). Marine algae as sources of fibres: Determination of soluble and insoluble dietary fibre contents in some 'sea vegetables'. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 54(4), 587–594. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740540411>
- 67) Mahluji, S., Attari, V. E., Mobasser, M., Payahoo, L., Ostadrahimi, A., & Golzari, S. E. J.** (2013). Effects of ginger (*Zingiber officinale*) on plasma glucose level, HbA1c and insulin sensitivity in type 2 diabetic patients. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 64(6), 682–686. <https://doi.org/10.3109/09637486.2013.768213>
- 68) Qi, H., Zhao, T., Zhang, Q., Li, Z., Zhao, Z., & Xing, R.** (2020). Antidiabetic effects of polysaccharides from marine algae. *Marine Drugs*, 18(7), 377. <https://doi.org/10.3390/md18070377>

## *Les annexes*

Les annexes:



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب  
حاضنة الأعمال عين تموشنت



# ملحق نموذج العمل التجاري

البطاقة التقنية للمشروع *Fiche technique du projet*

بلمختار عبد الرحيم	الاسم و اللقب <b>Votre prénom et nom</b> <b>Your first and last Name</b>
Aqua nutrition	الاسم التجاري للمشروع <b>Intitulé de votre projet</b> <b>Title of your Project</b>
0795294794	رقم الهاتف <b>Votre numéro de téléphone</b> <b>Your phone number</b>
Nutrition46@gmail.com	البريد الالكتروني <b>Votre adresse e-mail</b> <b>Your email address</b>
Ain Temouchent	مقر مزاولة النشاط ( الولاية- البلدية) <b>Votre ville ou commune</b> <b>d'activité</b> <b>Your city or municipality of</b> <b>activity</b>

طبيعة المشروع *Nature de projet*

## المنتوج ذو طابع إنتاجي

### Vente de marchandises

### Sale of goods



#### المشكلة المراد حلها

يعرف سوق الجزائر والأسواق العالمية توفر العديد من المكملات الغذائية بمختلف أنواعها لكن المشكلة هي معظم المكملات لا تكون طبيعية أي مصادرها تكون مصنعة كيميائيا ومنه قد تشكل مصدر يضر بصحة النسان عوض ما تكون مفيدة له إضافة الا انا المكملات التي تكون طبيعية مصادرها تكون تقليدية (خضروات و الفواكه)وتكون هذه المكملات باهظة الثمن

اقترحنا حل جديد يتمثل في تثمين نوع من الطحالب الماكروسكوبية التي ترى بالعين المجردة وهي طحالب ulva lactuca واستغلالها في صنع مكمل غذائي طبيعي يحتوي على العديد من العناصر الغذائية منه الفيتامينات و المعادن والبروتينات ومضادات الاكسدة بحيث سيكون هذا المنتج أولا قليل التكلفة بحيث مادته الأولية هذه موجودة في الساحل الجزائري ومنه لن نضطر الى استردادها من الخارج ثانيا سيكون في متناول الجميع ثالثا يستهدف جميع الفئات من الناس على سبيل المثال الأشخاص التي تعاني من الشيخوخة الرياضيين الأشخاص الذين لديهم نقص في المناعة رابعا هذا المنتج سيكون منتج جزائري مئة بالمئة وسهل الصنع بالإضافة الى صنع امزجة جديدة UGF و UGC تحتوي أيضا على طحالب ulva الزنجبيل الحلبة الكركم هذه الامزجة ستكون مساعدة بشكل كبير فئة مرضى السكري نوع الثاني و الكوليسترول



#### 1- Value proposition:

#### 1- القيمة المقترحة:

ما القيمة التي اقدمها للزبون؟

كيف نساعد الزبون على حل مشكلاته؟ (البحث عن حل وتحويله إلى نموذج تجاري )  
ما طبيعة هذا الحل للمشكلة هل هي قيم نوعية أو كمية؟ (اختر من الرسم ما يوافق مشروعك)



### 1/1- القيمة التي اقدمها للعميل:

- دعم الجهاز المناعي بفضل محتواه العالي من مضادات الأكسدة والفيتامينات
- تقوية العظام والمفاصل لاحتوائه على الكالسيوم
- يساعد فئة مرضى السكري نوع الثاني ومرضى الكوليسترول
- مكافحة الشيخوخة عن طريق تحسين صحة الخلايا والجلد
- مكمل غذائي يحتفظ بنفس قيمته الغذائية اظف الى ذلك طبيعي 100/100.

كيفية مساعدة الزبون على حل مشكلاته:

- مكمل واحد يعوّض 5 مكملات مختلفة (كالسيوم، مغنيسيوم، فيتامين B6 B1 C )
- طبيعة الحل: القيمة الجديدة بالتخصص وتميز السعر

### 2/1- ما هي المشاريع الأخرى التي استهدفت نفس المشكلة والتي جرى تنفيذها؟

- الشركة consonni bioalgh الإيطالية
- ولكن لحد الآن لم نجد شركة جزائرية تختص في صناعة المكملات الغذائية بواسطة الطحالب البحرية الماكروسكوبية

Customer segments: -2



-2 شرائح العملاء

- صيدليات، متاجر صحية المستشفيات-المنتجات السياحية
- الأسر والأفراد الرياضيون ومحبو اللياقة
- شركات تصنيع المكملات الغذائية
- المؤسسات الغذائية الصحية ومحلات البيع بالتجزئة و الجملة .

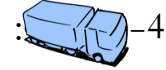


-3 العلاقات مع العملاء

Relationships :

- العلاقات مع العميل ستكون عن طريق خدمة المساعدة الشخصية من خلال التحدث و التخاطب مباشرة بين ممثل الخدمة من طرف المؤسسة و العميل سواء في مراكز البيع .
- التواصل يكون عن طريق منصات التواصل الاجتماعي او البريد الالكتروني او من خلال الاتصالات الهاتفية ( تفاعل مباشر مع العميل ) .
- تقديم مختلف العروض و الامتيازات للعملاء الدائمين و العملاء الجدد.

4-



Channels :

- انشاء صفحة رسمية على مواقع التواصل الاجتماعي لتعريف بالمنتج و مكان توفره .
- توفير خدمة النقل من خلال مختلف شركات التوصيل.
- توفير المنتج في مراكز البيع .
- فتح محل خاص بالمؤسسة لبيع منتجاتنا.



Key -5

-5 الشركات الرئيسية:

**partners:**

- من هم الشركاء الرئيسون الذين يمكن مساعدتنا في الانتاج أو الخدمة أو في تسويقها أو توزيعها؟ (الشركاء الذين أضع معهم عقد).
- من هم الموردين الرئيسيين؟ (الذين يقدمون لنا: المواد الأولية + الآلات للإنتاج + برنامج لتقديم خدمة + ...)

● شراكة مع cnrdpa للطحالب ulva lactuca

● شراكة مع اونيكس

● شراكة مع شركة أكريليك أرت للتغليف 05.56.68.46.07

● شركة كلاين فاب لاستيراد الماكينات الصناعية 05.60.09.39.90



6- الأنشطة الرئيسية:

**6- Key activities:**

ما هي أهم المراحل الرئيسية للإنتاج أو الخدمة؟ (نذكر المراحل من إقتناء المواد الأولية إلى المنتج النهائي)

هل هناك أنشطة ثانوية؟ (نذكر الأنشطة الثانوية التي تدخل في منتجنا أو خدمتنا)

إقتناء المواد الأولية:

تأمين المواد طحالب ال ulva lactuca والمكونات الأخرى الضرورية لعملية التحويل.

التجفيف والتحويل:

عملية تجفيف الطحالب وتحويلها إلى مسحوق عالي الجودة.

التعبئة والتغليف:

تغليف المنتج بطريقة محكمة للحفاظ على جودته ومتانته.

التسويق والتوزيع:

الترويج للمنتج وتسويقه للعملاء المحتملين، وتوزيعه في نقاط البيع المختلفة.

الأنشطة الثانوية:

فحص الجودة:

فحص المواد الأولية والمنتجات النهائية لضمان جودتها وسلامتها.

إدارة المخزون:

التحكم في المخزون لضمان توفر المواد الأولية والمنتجات النهائية في الأوقات المناسبة.

تطوير المنتج:

العمل على تحسين جودة المنتج وتطويره وفقاً لاحتياجات العملاء والتغيرات في السوق.

خدمة العملاء:

تقديم الدعم والمساعدة للعملاء فيما يتعلق بالمنتج واستفساراتهم ومشاكلهم المحتملة.

البحث والتطوير:

الاستثمار في البحث والتطوير لتحسين عمليات الإنتاج وتطوير منتجات جديدة قد تلبى احتياجات

العملاء بشكل أفضل.



7- الموارد الرئيسية:

7- Key Resources

نقوم بتحديد فقط الموارد دون ذكر التكلفة.

المورد fournisseur	مصدر محلي أو أجنبي	الموارد Ressources
شريط الساحلي	محلي	طحالب بحرية
شركة اونيكس	محلي	إضافات طبيعية طبيعية
شركة كلاين فاب	محلي	الألات الصناعية
شركة أكريليك أرت	محلي	تغليف

2/7- الموارد البشرية:

العدد	صنف المورد البشري
3	عمال عاديين
1	عمال تشغيل الألات
1	المخبريين
1	عمال تغليف

3/7- الموارد المالية:

الاحتياج	المورد المالي
	الكهرباء والغاز والماء
	كراء

## Les annexes

Cost -8



8- هيكل التكاليف:

Structure

8/1: هيكل التكاليف Costs structure

15.000da	تكاليف التعريف بالمنتج أو المؤسسة <b>Frais d'établissement</b>
15.000da	تكاليف الحصول على العدادات ( الماء- الكهرباء ..... ) <b>Frais d'ouverture de compteurs (eaux-gaz-....)</b>
7000da	السجل التجاري
15.000da	<b>Depot marque, brevet, modèle</b> تكاليف براءة الاختراع و الحماية الصناعية و التجارية
45.000da	<b>Caution ou dépôt de garantie</b> وديعة أو وديعة تأمين
15.000da	<b>Frais de dossier</b> رسوم إيداع الملفات
9000 da	<b>Frais de notaire ou d'avocat</b> تكاليف الموثق-المحامي-.....
50.000da	<b>Matériel</b> الألات- المركبات- الاجهزة
50.000da	<b>Matériel de bureau</b> تجهيزات المكتب
296000da	<b>trésorerie de départ</b> التدفق النقدي ( الصندوق ) الذي تحتاجه في بداية المشروع.

المجموع = 517000 Da

8/2- نفقاتك أو التكاليف الثابتة الخاصة بمشروعك

45.000da par an	<b>Assurances</b> التأمينات
2820 da par mois	<b>Téléphone, internet</b> الهاتف و الانترنت
<b>Carburant 10.000 da par mois</b> <b>Abonnement mensuel avec une</b> <b>Société de transport 30.000 da</b>	<b>Carburant, transports</b> الوقود و تكاليف النقل
20.000 da par mois	<b>Eau, électricité, gaz</b> فواتير الماء - الكهرباء - الغاز
100.000 da par mois	<b>Fournitures diverses</b> لوازم متنوعة
10.000 da par mois	<b>Nettoyage des locaux</b> تنظيف المباني
50.000 da par mois	<b>Budget publicité et communication</b> ميزانية الإعلان والاتصالات

**Da 267820 = المجموع**

▪ 3/8- رواتب الموظفين و مسؤولين الشركة

Entre 25.000da et 35.000da	رواتب الموظفين <b>Salaires employés</b>
Entre 50.000da et 65.000da	صافي أجور المسؤولين <b>Rémunération nette</b> <b>dirigeant</b>

Revenue



9- مصادر

Streams

البيع بالجملة للمتعاملين الاقتصاديين او بالتجزئة

1/9- الايرادات الاجمالية:

البيان	القيمة
عدد الوحدات المنتجة	3000 وحدة شهريا
سعر البيع	2208 دينار سعر الجملة 2649,60 دينار سعر التجزئة
سعر البيع × عدد الوحدات المنتجة = الايرادات الاجمالية	7948800 Da شهريا بالتجزئة 6624000 da شهريا بالجملة

## Les annexes

		Designed for:	Designed by:	Date:	Version:
<b>Business Model Canvas</b>		1275	Aqua nutrition	29 /05/2025	1
<b>الشركاء الرئيسيين</b>	<b>الأنشطة الرئيسية</b>	<b>عروض القيمة</b>	<b>علاقة العملاء</b>	<b>شرائح العملاء</b>	
<p>1-مورّدو طحلب (الموردين البحريين المستدامين)</p> <p>2-مراكز البحوث والجامعات</p> <p>3- خبراء التغذية والصحة</p> <p>4 – شركاء التوزيع (صيدليات، متاجر صحية، منصات إلكترونية)</p>	<p>1 - استخراج ومعالجة طحالب <i>ULVA LACTUCA</i></p> <p>2 -البحث والتطوير (التركيبية، الجودة، الفوائد الصحية)</p> <p>3 - بناء العلامة التجارية والتسويق التوزيع والمبيعات (مباشرة، إلكترونية، عبر شركاء)</p>	<p>1 - مفيد للرياضيين</p> <p>2 - يعزز المناعة</p> <p>3 - يقوي العظام</p> <p>4 -يساعد فئة مرضى السكري و الكوليسترول</p>	<p>1 -استشارات شخصية (نصائح غذائية، متابعة)</p> <p>2 - بناء مجتمع حول المنتج (أحداث رياضية وصحية، منصات تواصل)</p> <p>3 - نظام اشتراك دوري</p>	<p>1-الرياضيون ومحبو اللياقة</p> <p>2-كبار السن الراغبون في مكافحة الشيخوخة</p> <p>3-اشخاص مرضى السكري نوع الثاني</p> <p>4-مرضى الكوليسترول</p> <p>5-الأشخاص المهتمون بالصحة العامة</p> <p>6-الأفراد الذين يعانون من مشاكل في الروماتيزم العظام</p>	
	<b>الموارد الأساسية</b>		<b>القنوات</b>		
	<p>1 مصادر طحالب طبيعية ومستدامة <i>ULVA LACTUCA</i></p> <p>2 - الأعشاب المضافة</p> <p>3 - منشآت تصنيع وتعبئة</p>		<p>1 - المتجر الإلكتروني (موقع رسمي، منصات مثل أمازون)</p> <p>2 - المتاجر والصيدليات</p> <p>3 - النوادي الرياضية والمراكز الصحية</p> <p>وسائل التواصل الاجتماعي والتسويق عبر المؤثرين</p>		
<b>هيكل التكاليف</b>		<b>مصادر الدخل</b>			
<p>1 - تكلفة المواد الخام</p> <p>2 - التصنيع والتغليف</p> <p>3 - الحملات التسويقية والإعلانية</p>		<p>1 - المبيعات المباشرة عبر الإنترنت أو المتاجر</p> <p>2 - الاشتراكات الشهرية أو الموسمية</p> <p>3 - مبيعات بالجملة للشركات الصحية</p>			