

Université Abdelhamid  
Ibn Badis-Mostaganem  
Faculté des Sciences de la  
Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد بن باديس  
مستغانم  
كلية علوم الطبيعة والحياة

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MER ET DE L'AQUACULTURE

## MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

**Taieb errahmani Rofia**  
**Douar Amira**  
**Benhamadi Hadj Bouabdallah**

Pour l'obtention du diplôme de

**MASTER EN HYDROBIOLOGIE MARINE ET CONTINENTALE**  
**Spécialité: Bioressources Marines**

### THÈME

**Valorisation de la spiruline en bonbons gélifiés**

Soutenue le 10-10-2023

DEVANT LE JURY

Président :	Dr. Belbachir Noredine	MCA	U. Mostaganem
Encadreur :	Dr. Benzidane Dehiba	MCB	U. Mostaganem
Co- Encadreur :	Pr .Nemchi Fadela	Prof	U. Mostaganem
Examineur :	Dr. Bilami Malika	MAA	U. Mostaganem
Responsable de l'Incubateur:	Dr. MEDJAHED Mostefa	MCB	U. Mostaganem
Partenaire Economique :	Mme. Bougueroua Karima		K-Marine

*Année universitaire 2023/2024*

## *Remerciement*

On remercie Dieu le tout-puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu voir le jour sans l'aide et l'encadrement de Dr. BENZIDANE D., on la remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnelle, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant la préparation de ce mémoire.

Nos remerciements s'adressent à notre Co-encadreur Pr. BELHAKEM F., pour son soutien moral, son aide et ses encouragements.

Nos remerciements au membre de jury, Monsieur le Président Dr. BELBACHIR N., nous sommes très honorées par votre présence parmi notre jury de mémoire, et l'examinatrice Mme. BILAMI M., on vous remercie infiniment, pour l'honneur que vous nous faites en acceptant de juger notre travail.

Nos remerciements s'adressent également à tous nos professeurs pour leur générosité et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leur charge académique et professionnelle. Nos remerciements au responsable de l'incubateur de Mostaganem Dr. MEDJAHED M., pour son soutien et ses encouragements.

## ***Dédicace***

*« La route n'était pas facile, mais je l'ai fait à l'aide d'Allah »*

*Je dédie ce travail*

*A ma moitié la source de ma joie **ma grande mère***

*C'est vrai qu'elle n'est pas avec nous aujourd'hui mais elle reste toujours la plus présente  
pour moi.*

*À mais très chers parents*

*La lumière de mes jours, source de la vie, d'amour et d'affection, qui ont été toujours à mes  
côtés et m'ont soutenu durant ces longues années d'études.*

*À mes **sœurs et mon frère***

*AMINA, CHAHINEZ, MAYA et CHAMSS EDDINE.*

*À toute **la famille***

*TAIEB ERRAHMANI et HAMBLI.*

*À mon **binôme***

*AMIRA avec qui j'ai élaboré ce travail, qui m'a aidé par ses conseils, son amour et son  
soutiens à traversé les moments difficiles et à célébré les moments heureux*

*À mes **collègues***

*KARIM et RABAH qui nous ont beaucoup aidés dans ce travail.*

**TAIEB ERRAHMANI ROFIA**

## ***Dédicace***

*« La route n'était pas facile, mais je l'ai fait à l'aide d'Allah »*

*Je dédie ce travail*

*A mon cher père « Mozeyenne », pour son soutien, son affection et la confiance qu'il m'a accordé*

*A ma tendre mère « Khadîdja », mon idole dans la vie pour son amour, ses encouragements et ses sacrifices*

*A mon bras droit, mon porte bonheur, mon cher frère « ABDELKADER »*

*A ma jumelle, ma meilleure amie, ma sœur « Djamila »*

*A mon petit ange « Maissaa »*

*A mes précieuses amies, mes partenaires dans mon chemin, mes premiers supporteurs, mes confidentes « Halima; Yosra »*

*A mon binôme « Rofia » avec qui j'ai élaboré ce travail, qui m'a aidé par ses conseils, son amour et son soutiens à traversé les moments difficiles et à célébré les moments heureux*

*A mes collègues « Rabah ; Karim »*

***DOUAR AMIRA***

## ***Dédicace***

*Aux deux meilleures femmes au monde, ma grand-mère et ma tante qui sont comme des mères pour moi, qui m'ont supporté toute ma vie spécialement ma mère ( ma tante ) qui a tout laissé pour m'élever et donner la meilleure version de moi. A ma grand-mère qui m'a aidé toute ma vie et m'a élevé, il n'y a pas de mots qui puissent décrire mon amour et mes sentiments pour elles. Merci pour vos sacrifices.*

*A mes parents qui m'ont donné la vie, sans vous deux je n'existerais pas.*

*A mes frères, mes sœurs fatma, Asma, Batoul, Zoulikha, Ahmed, Habib et Ibrahim.*

*A mon oncle, sa femme et ces petits enfants.*

*A mes tantes.*

*A tous mes amis qui sont aussi mes frères et sœurs, Hamidou, Ilyes, Ismail, Dahman, Walid, Imane.*

*A mes collègues et frères Rabah et Karim.*

*Et tous ceux que j'aime, je vous dédie mon mémoire de fin de d'étude.*

***BENHAMADI HADJ BOUABDALLAH***

---

## Résumé

La spiruline « *Arthrospira platensis* », est une microalgue ou plus précisément une cyanobactérie qui pousse dans les lagons et dans les lacs des zones tropicales. Elle se caractérise par une haute valeur nutritionnelle ce qui en fait le complément alimentaire idéal. Aujourd'hui la spiruline est présentée sur le marché algérien comme un superaliment en poudre ou en comprimés. Cependant, la spiruline a un très léger goût de salé du fait de sa richesse minérale. L'absence de goût sucré la rend moins appréciable par les consommateurs et principalement les enfants. D'où l'intérêt de proposer la spiruline sous forme de bonbons gélifiés.

La première étape consiste à produire de la biomasse d'*A. platensis* dans des photobioréacteurs cylindriques avec un système d'éclairage composé de deux lampes de 70W. Une détermination de la cinétique de croissance et un suivi de la teneur en pigment a été effectué pendant 15 jours de culture. Après chaque cycle de production, la biomasse a été filtrée et séchée pour enfin la réduire en poudre. La deuxième étape a commencé lorsque nous avons atteint la quantité de biomasses requise. Dans cette partie, nous avons valorisé la biomasse de spiruline en complément alimentaire présenté sous forme de bonbons gélifiés que nous avons surnommé « SPIRUBON ». Lors de la dernière étape, des analyses biochimiques de la biomasse et des bonbons ont été effectués. En parallèle, nous avons soumis un questionnaire aux clients potentiels dans le but de recueillir des feedbacks sur notre supplément alimentaires.

Nos résultats montrent une productivité volumique de la culture d'*A. platensis* égale à 146,02 mg MES/L/J. Ce résultat prouve que les conditions de culture appliquées sont très productives et que le milieu de culture utilisé est efficace. L'analyse biochimique de la biomasse d'*A. platensis* et des bonbons gélifiés a révélé des teneurs protéiques très intéressantes avec des valeurs de  $65 \pm 3,1$  % et  $50,3 \pm 5,7$  %, respectivement. Les informations recueillies du questionnaire (qui aborde plusieurs aspects) nous permettront de mieux comprendre les besoins des clients et de prendre des mesures pour améliorer notre produit fini, et cela, afin de satisfaire d'avantage les consommateurs potentiels.

**Mots-clés :** *Arthrospira platensis*, spiruline, valorisation, culture, complément alimentaire, bonbon gélifié.

---

---

## Abstract

The spirulina «*Arthrospira platensis*», is a microalgae or more precisely a cyanobacteria that grows in lagoons and lakes of tropical zones. It is characterized by a high nutritional value which makes it the ideal food compliment. Today spirulina is presented on the Algerian market as a superfood in powder or tablets form . However, spirulina has a very slight salty taste due to its mineral richness. The absence of a sweet taste makes it less noticeable by consumers and especially children. Hence the interest of proposing spirulina in the form of gummies.

The first step was to produce *A. platensis* biomass in cylindrical photobioreactors with a lighting system consisting of two 70W lamps. Growth kinetics were determined and pigment content monitored for 15 days of cultivation. After each production cycle, the biomass was filtered and dried before being ground into powder. The second step began when we had reached the required quantity of biomass. In this step, we turned the spirulina biomass into a dietary supplement in the form of gummies, which we dubbed "SPIRUBON". In the final step, biochemical analyses of the biomass and gummies were carried out. At the same time, we submitted a questionnaire to potential customers to gather feedback on our dietary supplement .

Our results show a volumetric productivity of the *A. platensis* culture equal to 146.02 mg MES/L/J. This result proves that the culture conditions applied are highly productive and that the culture medium used is effective. Biochemical analysis of *A. platensis* biomass and gummies revealed very interesting protein contents, with values of  $65\pm 3.1\%$  and  $50.3 \pm 5.7\%$ , respectively. The information gathered from the questionnaire (which covers several aspects) will enable us to better understand customer needs and take steps to improve our finished product, in order to further satisfy potential consumers.

**Keywords:** *Arthrospira platensis*, spirulina, valorization, culture, dietary supplement, gummies.

---

## المخلص

السيبرولينا "*Arthrospira platensis*" هي طحالب دقيقة أو بالأدق هي بكتيريا زرقاء تنمو في بحيرات و المناطق الاستوائية تتميز بجودتها الغذائية مما يجعلها مكمل غذائي مثالي. في يومنا هذا السيبرولينا حاضرة في السوق الجزائرية على أساس غذاء ممتاز و على شكل مسحوق و أقراص . و مع ذلك فإن السيبرولينا لها طعم مالح طفيف جدا بسبب ثرائها المعدني. عدم وجود الطعم الحلو يجعلها أقل تقديرا من قبل المستهلكين و خاصة الأطفال. من هنا تأتي الفائدة من اقتراح السيبرولينا على شكل حلوى هلامية.

تتميز المرحلة الأولى في إنتاج الكتلة الحيوية *A. platensis* في مفاعلات حيوية ضوئية اسطوانية الشكل ، مع نظام إضاءة مكون من مصباحين 70 واط. تم تحديد حركية النمو و متابعة محتوى الصبغة لمدة 15 يوم من الاستزراع، بعد كل دورة إنتاج كانت الكتلة الحيوية تصفى و تجفف لتقليصها في النهاية إلى مسحوق. تبدأ المرحلة الثانية عند وصولنا للكمية المطلوبة من الكتلة الحيوية ، في هذا الجزء قمنا بتحويل مسحوق السيبرولينا الناتج إلى مكمل غذائي مقدم على شكل حلوى ذات قوام هلامي التي أطلقنا عليها اسم "SPIRUBON". خلال الخطوة الأخيرة ، تم إجراء التحاليل البيوكيميائية للكتلة الحية و المكمل الغذائي معاً، قمنا كذلك بعمل استنبان مع العملاء المحتملين من اجل جمع التعليقات على مكملنا الغذائي.

تظهر نتائجنا التي تحصلنا عليها من استزراع *A. platensis* إنتاجية حجم تساوي 146.02 (mg MES/L/J) تثبت هذه النتيجة إن ظروف الاستزراع المطبقة مثمرة للغاية و أن وسط الاستزراع المستخدم فعال. كشف التحليل البيوكيميائي للكتلة الحيوية و المكمل الغذائي عن محتوى بروتين مثير للاهتمام بقيمة  $3,1 \pm 65\%$  و  $5,7 \pm 50,3\%$  على التوالي. تسمح لنا المعلومات التي جمعناها من الاستنبان ( الذي يغطي عدة جوانب) بفهم احتياجات العملاء بشكل أفضل و اتخاذ خطوات لتحسين منتجنا النهائي من أجل إرضاء المستهلكين المحتملين بشكل أفضل.

**الكلمات المفتاحية :** *Arthrospira platensis* , سيبرولينا, تقييم, استزراع, مكمل غذائي, حلوى هلامية.



# *TABLE DES MATIÈRES*

## **LISTE DES FIGURES**

## **LISTE DES TABLEAUX**

## **INTRODUCTION** 1

### **CHAPITRE I. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE**

<b>I. Généralité sur la spiruline</b>	3
1.Histoire	3
2.Biologie	4
2.1. Morphologie	4
2.2. Taxonomie	4
2.3. Reproduction et cycle biologique	4
3.Distribustion géographique naturelle	6
4.Composition nutritionnelle	6
4.1. Protéines et acides aminés	7
4.2. Lipides	8
4.3. Glucides	8
4.4. Minéraux et oligo-éléments	8
4.5. Vitamines	9
5.Application	10
5.1. Domaine de santé	11
5.2. Domaine de cosmétique	11
5.3. Domaine alimentaire	11
5.3.1. Alimentation humaine	12
5.3.2. Alimentation animale	12
<b>II. Culture de la spiruline</b>	12
1.Condition de culture	12
1.1. Température	13
1.2. Lumière	13
1.3. pH	13
1.4. Agitation	13
1.5. Nutriments	14
2.Les systèmes de culture des microalgue	14
2.1. Les systèmes ouverts	15
2.2. Systèmes fermé	16
3. Modes de fonctionnement des cultures algales	18
3.1. Culture batch	18

3.2. Culture continue	19
3.3. Culture semi-continue	19
4. Les différentes étapes de production de la spiruline	20
4.1. La filtration	20
4.2. Le pressage	21
4.3. L'extrusion	21
4.4. Le séchage	21
4.5. Le broyage et mise en conditionnement	21

### **III. Généralité sur la confiserie** 21

1. Définition et classification	21
2. Les bonbons gélifiés	22
2.1. Description	22
2.2. Composition	22
2.2.1. Gélifiant	22
b) Pectine	23
c) Gélatine	23
d) Agar-Agar	23
2.2.2. Sucre	24
2.2.3. Jus de fruits	24
3. Utilisation comme complément alimentaire	24
	25

### **IV. Objectif de notre travail**

## **CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES**

1. Matériel biologique	26
2. Observation et identification de la souche utilisée	26
3. Préparation du milieu de culture	26
4. Photobioréacteur	28
5. Détermination des paramètres de la cinétique de croissance en mode batch	29
5.1. Modèles utilisés pour suivre la cinétique de croissance	29
5.1.1. Modèle malthusien	29
5.1.2. Modèle Verhulst	29
5.1.3. Modèle appliqué pour notre expérience	29
5.2. Détermination du temps de dédoublement cellulaire	30
5.3. Détermination de la productivité volumique	31
6. Suivre de la croissance	31
6.1. Calibration des souches étudiées	31
6.2. Mesure de l'absorbance	31
6.3. Détermination de la matière en suspension	32
6.4. Détermination de la concentration des pigments	32
7. Récolte de la biomasse	33
8. Les Analyses effectuées	34

8.1. Les lipides	34
8.2. Les protéines	36
8.3. Glucides	37
8.4. Détermination du taux d'humidité	38
8.5. Détermination du taux de matière organique	38
9. Fabrication des bonbons	39
9.1. Pesé des ingrédients	39
9.2. Cuisson	39
9.3. Démoulage	40
10. L'emballage utilisé et étiquetage	41
11. Questionnaire	41
12. Analyses statistiques des résultats	41

### **CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION**

1. Cinétique de croissance.	42
2. Paramètres de croissance.	42
3. Suivi de la teneur en pigment.	43
4. Analyses biochimique de la biomasse et des bonbons fabriqués.	44
5. Résultat du questionnaire.	46
5.1. Sexe et tranches d'âge des personnes questionnées.	46
5.2. État des connaissances sur la spiruline.	46
5.3. Qualité sensorielle des bonbons.	47
5.4. Évaluation de l'apparence des bonbons et de l'emballage utilisé.	49
5.5. Évaluation du prix éventuel des bonbons.	51
5.6. Propositions et suggestions pour l'amélioration de l'arôme des bonbons.	51
5.7. Proposition et suggestion pour l'amélioration de la qualité des bonbons.	53

<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVES</b>	54
-----------------------------------	----

<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	56
------------------------------------	----

<b>ANNEXE</b>	63
---------------	----

## Liste des figures

<b>Figure 1.</b> Récolte de la Spiruline par les Aztèques (Hernán Cortès,1485-1587).	3
<b>Figure 2.</b> Récolte de spiruline au Tchad (Hernán Cortès, 1485-1587).	3
<b>Figure 3.</b> Morphologies typiques de Spiruline (Jarisoa, 2005).	4
<b>Figure 4.</b> Vue microscopique de <i>Arthrospira</i> sp. (40 $\times$ ). (Rybner, 2016)	5
<b>Figure 5.</b> Cycle de vie de <i>Arthrospira</i> sp. (Ciferri , 1983).	6
<b>Figure 6.</b> Diversité du champ d'application des microalgues (Machado <i>et al.</i> , 2022).	11
<b>Figure 7.</b> Condition de culture de la spiruline (Soizic, 2019).	13
<b>Figure 8.</b> Les systèmes de culture des microalgues( Ying shen <i>et al.</i> , 2009).	14
<b>Figure 9.</b> Les trois différentes groupe de système ouverts (a :les racewys ,b :bassin circulaire, c : bassin naturel ) (Ying shen <i>et al.</i> , 2009) .	15
<b>Figure 10.</b> Deux conceptions différentes des plaques PBRs (Ying shen <i>et al.</i> , 2009).	16
<b>Figure 11.</b> Différentes conceptions de PBR tubulaires (Ying shen <i>et al.</i> , 2009).	17
<b>Figure 12.</b> Exemple de Photobioréacteur sac en plastique (Huang <i>et al.</i> , 2017).	17
<b>Figure 13.</b> Courbe de croissance théorique d'une population de microalgues en fonction du temps (Richmond <i>et al.</i> , 2004).	18
<b>Figure 14.</b> Les différentes étapes de production de la spiruline (Soizic, 2019).	20
<b>Figure 15.</b> Les grandes familles de confiseries (Richard, 2023).	22
<b>Figure 16.</b> Application de la gélatine (Alipa <i>et al.</i> , 2020) .	23
<b>Figure 17.</b> Les composition des compléments alimentaire (Brigitte <i>et al.</i> , 2013).	25
<b>Figure 18.</b> Observation de la souche <i>A. platensis</i> au microscope optique.	26
<b>Figure 19.</b> Photobioréacteur.	28
<b>Figure 20.</b> Comparaison entre les deux modèles Malthus et Verhulst (Campbell <i>et al.</i> , 2007 ; Philippe <i>et al.</i> , 2009).	30
<b>Figure 21.</b> Les étapes de la détermination des MES.	21
<b>Figure 22.</b> Détermination de la composition des pigments.	33
<b>Figure 23.</b> Dispositif de filtration à vide .	34
<b>Figure 24.</b> Appareil Soxhlet (A) et rotavapeur (B)	35
<b>Figure 25.</b> La coloration des tubes due au réactif de Biuret.	36
<b>Figure 26.</b> Les étapes de dosage des glucides.	37
<b>Figure 27.</b> Les étapes de détermination de taux d'humidité	38
<b>Figure 28.</b> Les étapes de détermination de taux de matière organique.	39

<b>Figure 29.</b> Les étapes de préparation des bonbons gélifiés.	40
<b>Figure 30.</b> Aspect des bonbons gélifiés à base de spiruline.	40
<b>Figure 31.</b> Logo de la marque « SPIRUBON » et emballage choisis pour le produit.	41
<b>Figure 32.</b> Cinétique de croissance d' <i>Arthrospira platensis</i> cultivé en photobioréacteur.	42
<b>Figure 33.</b> Suivie de la teneurs quotidiennes en pigments (Chlorophylle-a et Caroténoïde)	44
<b>Figure 34.</b> Sexe (A) et tranches d'âge (B) des personnes questionnées	46
<b>Figure 35.</b> Réponses aux questions : Est-ce-que vous connaissez la spiruline ? (A) et Savez-vous que la spiruline est un complément alimentaire ? (B)	47
<b>Figure 36.</b> Évaluation du goût des bonbons à base de spiruline.	48
<b>Figure 37.</b> Évaluation de la texture des bonbons à base de spiruline.	48
<b>Figure 38.</b> Réponse la question : Recommanderiez-vous nos bonbons à base de spiruline à votre entourage ?	49
<b>Figure 39.</b> L'avis des clients potentiel sur l'apparence visuelle de nos bonbons à base de spiruline.	50
<b>Figure 40.</b> Réponse la question : Combien êtes-vous prêt à dépenser pour une boîte de bonbon à base de spiruline ?	51
<b>Figure 41.</b> Les goûts proposés par les personnes questionnées.	52

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1.</b> Composition nutritionnelle de la spiruline et rôle de chaque composant (Goulamabasse <i>et al.</i> , 2018).	7
<b>Tableau 2.</b> Composition en acide aminés de la spiruline (Hajati <i>et al.</i> , 2019).	8
<b>Tableau 3.</b> Composition en minéraux de la spiruline en µg/g de sa matière sèche (Falquet <i>et al.</i> , 2006).	9
<b>Tableau 4.</b> Vitamines liposolubles contenues dans la biomasse de <i>Spirulina platensis</i> (mg/100g de matière sèche) (Babadzhanov, 2004 ; Falquet <i>et al.</i> , 2006).	9
<b>Tableau 5.</b> Composition du milieu de culture spirulina (Robert, 2015).	27
<b>Tableau 6.</b> Solution des métaux traces (Robert, 2015).	27
<b>Tableau 7.</b> Solution stock de vitamine (Robert, 2015).	28
<b>Tableau 8.</b> Le pourcentage de chaque ingrédient	39
<b>Tableau 9.</b> Paramètres de croissance de <i>Arthrospira platensis</i> .	43
<b>Tableau 10.</b> Composition biochimique de la biomasse et des bonbons de <i>A. platensis</i> .	45
<b>Tableau 11.</b> Réponse la question : Est-ce que vous avez déjà goûté la spiruline ?	47
<b>Tableau 12.</b> Évaluation de l'emballage des bonbons à base de spiruline en termes d'attrait visuel.	51

# *Introducción*

**Introduction**

Les microalgues sont des organismes photosynthétiques qui poussent dans une variété d'habitats, principalement des environnements aquatiques, elles sont capables de convertir l'énergie lumineuse et une source de carbone, le dioxyde de carbone ou « CO<sub>2</sub> », en une variété de matière organique ou « biomasses » (Filali, 2012).

Les microalgues sont très diversifiées et environ 30 000 espèces ont déjà été analysées. Les quatre classes les plus communes au niveau de l'abondance relative sont les diatomées (bacillariophycées), les algues vertes (chlorophycées), les cyanobactéries ou algues bleues (cyanophycées) et les algues dorées (chrysophycées) (Berberoglu *et al.*, 2009). Parmi les cyanobactéries les plus connues, on retrouve la spiruline, c'est une microalgue (0,3 mm de long), vieil comme le monde dont le nom scientifique est « *Arthrospira platensis* » (Jordan, 2006).

*Arthrospira platensis* est une microalgue bleu-vert qui est devenue de plus en plus populaire en tant que superaliment en raison de sa valeur nutritionnelle exceptionnelle. Elle est riche en protéines, en acides aminés essentiels, en vitamines, en minéraux et en antioxydants. De plus, la spiruline contient des pigments bénéfiques tels que la chlorophylle et la phycocyanine, qui ont démontré des propriétés antioxydants et anti-inflammatoires. Des études ont démontré que la spiruline pouvait avoir des effets bénéfiques sur la santé, tels que la stimulation du système immunitaire, la réduction de l'inflammation, la régulation de la glycémie et la protection contre les radicaux libres. On peut l'utiliser dans l'alimentation humaine comme un complément alimentaire (Soizic, 2019).

Aujourd'hui, la spiruline est présentée comme un superaliment et est proposée au consommateur en paillettes, en poudre ou en comprimés, elle fait partie des aliments qui permettent d'améliorer notre santé et notre bien-être. Cependant, la spiruline a un très léger goût de salé du fait de sa richesse minérale, et une absence de goût sucré, acide ou amer. L'absence de goût sucré la rend moins appréciée par les consommateurs et principalement les enfants. Le présent travail s'intègre dans cette démarche globale pour la mise en valeur de *A. platensis* en se focalisant sur deux étapes, à savoir : la production de la biomasse et la valorisation de cette dernière en complément alimentaire présenté sous forme de bonbon gélifié destiné à toutes les catégories d'âge.



Ce manuscrit est organisé de la façon suivante :

- Chapitre 1 : une synthèse bibliographique divisée en trois parties, la première partie est dédiée aux généralités sur la spiruline, la deuxième partie concerne la culture de la spiruline et la dernière partie aborde la production de compléments alimentaires à base de spiruline (bonbons gélifiés).
- Chapitre 2 : une présentation du matériel et des méthodes utilisées.
- Chapitre 3 : une analyse des résultats obtenus est réalisés et enfin les conclusions essentielles sur l'ensemble de ce travail ainsi que les perspectives de sa continuité seront dégagées.

# CHAPITRE I

## *Synthèse Bibliographique*

## I. Généralité sur la spiruline

### 1. Histoire

La spiruline était utilisée par plusieurs civilisations anciennes, comme les Aztèques. Selon la légende, au XV<sup>e</sup> siècle, les soldats de l'empereur Montezuma parcouraient des centaines de kilomètres pour transporter du poisson, mangeant de la spiruline à chaque pause. En effet, les Aztèques récoltaient de la boue bleu-vert du lac Texcoco (Figure 1) et la séchaient au soleil avant de la découper en petites briques (Zarrouk, 1966). Ils consommaient de la spiruline sans le savoir (Ciferri, 1983)



**Figure 1.** Récolte de la Spiruline par les Aztèques (Hernán Cortès,1485-1587).

Les Kanenbow vivent dans la région du Kanem au nord-est du Tchad. D'une tradition ancestrale, les femmes Kanenbou récoltaient la spiruline, une sorte de pulpe verte qui y pousse naturellement, à la surface de certains étangs fréquentés par les flamants roses. Une fois séchée, elles sont soit proposé sur le marché local soit mis directement dans la marmite (Ciferri, 1983) (Figure 2).



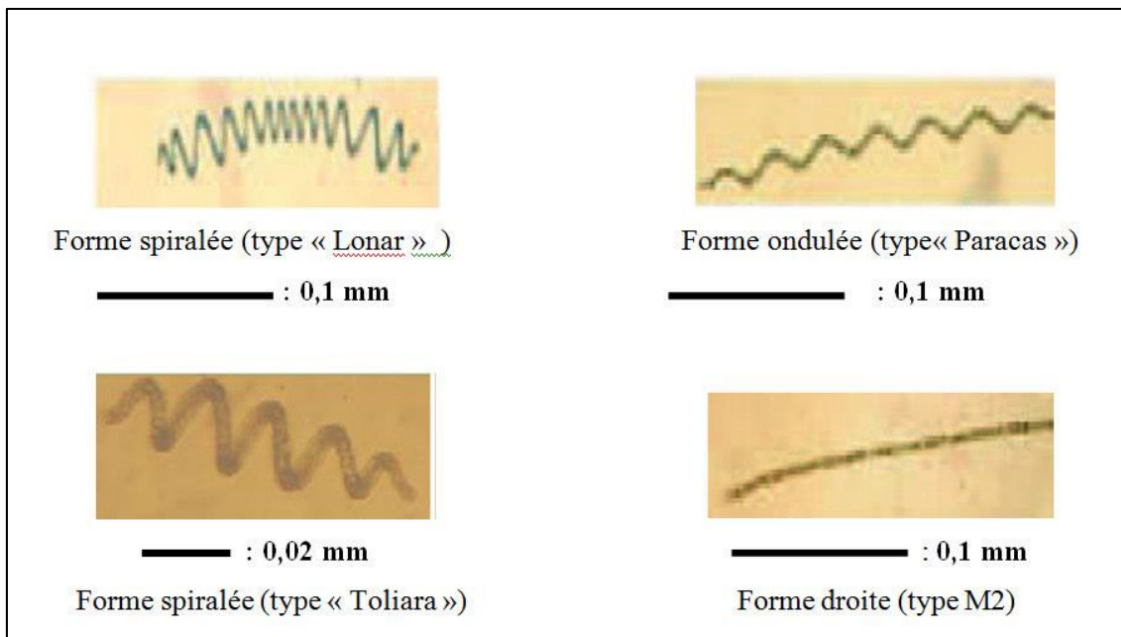
**Figure 2.** Récolte de spiruline au Tchad (Hernán Cortès, 1485-1587).

## 2. Biologie

### 2.1. Morphologie

Lorsqu'il y a 7 spirales, la spiruline a une longueur moyenne de 250  $\mu\text{m}$ . Le terme "spiruline" est dérivé de sa structure, qui se compose de filaments mobiles (10-12  $\mu\text{m}$  de diamètre), non ramifiés et enroulés en spirales. Cependant, il existe également des formes ondulées et occasionnellement angulaires de spiruline (Geitler, 1932). Les termes "spirales", "ondulées" et "droites" sont utilisés pour décrire les différentes formes des filaments d'*Arthrospira platensis* (Jarisoa, 2005) (Figure 3):

- **Spirales** fait référence à des tissus tels que le "Lonar" (Inde) et le "Toliara" dont les fibres ressemblent à une queue de cochon.
- **Ondulées** fait référence à des objets dont les filaments ont été tordus en spirales, tels que le "Paracas" (Pérou).
- **Droites** fait référence à des fils tellement brûlés qu'ils ont une forme presque rectiligne. On les appelle "chaussettes droites".



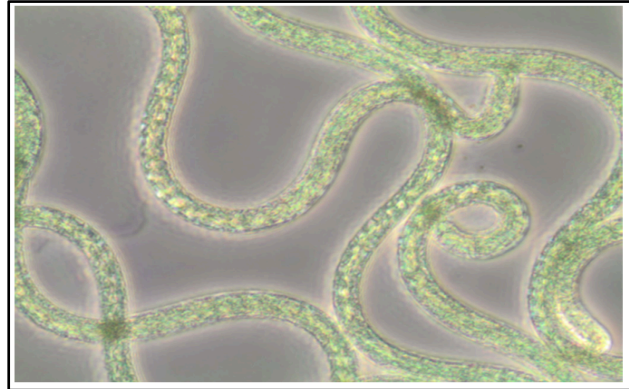
**Figure 3.** Morphologies typiques de Spiruline (Jarisoa, 2005).

### 2.2. Taxonomie

En 1960, une distinction claire a été faite entre les procaryotes et les eucaryotes en fonction des différences organisation cellulaire. Les procaryotes comprennent des organismes sans

compartiments cellulaires, tandis que les eucaryotes comprennent des organismes avec des organites, notamment des noyaux et des mitochondries (Durand-Chastel, 1993). Stanier et ses collègues ont découvert en 1962 que cette cyanobactérie n'avait pas de compartiments cellulaires et appartenait donc aux procaryotes. Ils ont donc proposé de nommer cette bactérie « Cyanobactérie » (Figure 4). On la class selon Ripley Fox (1999) comme suite :

- **Règne** *Monera*
- **Sousrègne** *Prokaryota*
- **Phylum** *Cyanobacteria*
- **Classe** *Cyanophyceae*
- **Ordre** *Nostocales*
- **Famille** *Oscillatoriceae*
- **Genre** *Arthrospira*
- **Espèces** *Arthrospira platensis*



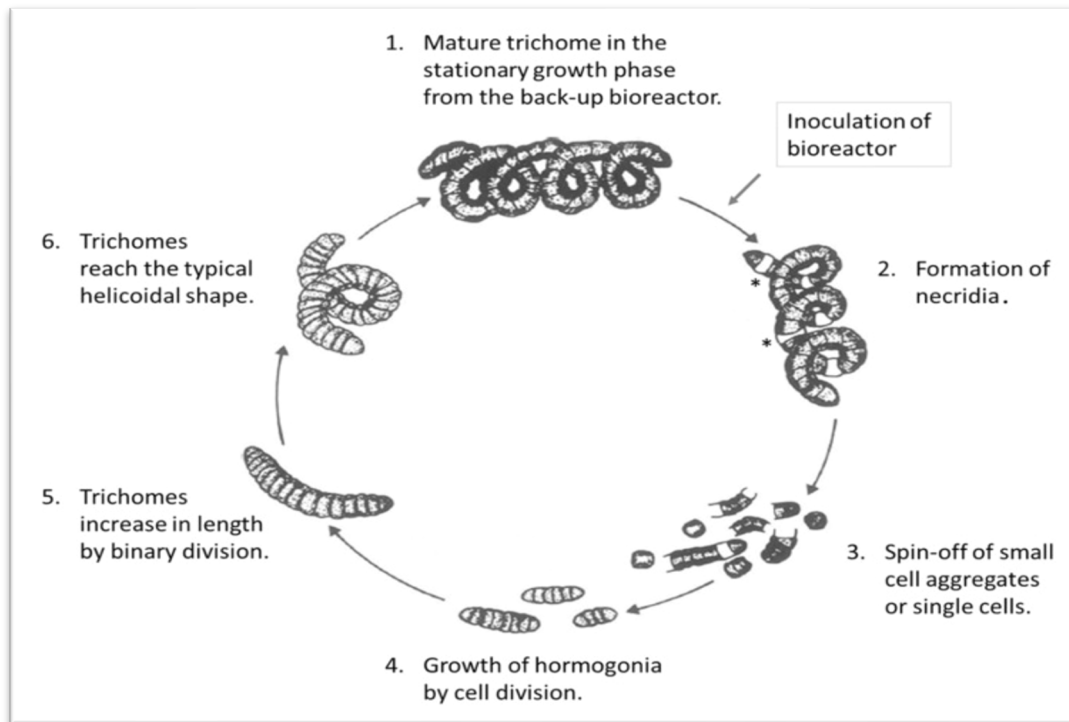
**Figure 4.** Vue microscopique de *Arthrospira* sp. (40×). (Rybner, 2016)

En 1999, Ripley Fox a analysé les caractéristiques génétiques de la spiruline et a découvert qu'il n'y avait que deux espèces d'*Arthrospira* (*Platensis* et *Maxima*). De même, en 2009, la Fondation Antenna Technology, en collaboration avec l'Université de Genève, a mené une étude sur la taxonomie de différentes souches d'*Arthrospira* et a constaté que parmi ces souches il n'y a que deux espèces génétiquement distinctes. Ces deux espèces sont *Arthrospira platensis*, originaire du Tchad, et *Arthrospir ageitleri* ou *maxima*, du Mexique (Ahounou, 2018).

### 2.3. Reproduction et cycle biologique

Le mode de reproduction est la bipartition par scission simple. C'est une reproduction asexuée, par segmentation des filaments ; ce processus ne doit pas être confondu avec la mitose, laquelle n'existe que chez les eucaryotes (König, 2005). Sa vitesse de multiplication est particulièrement rapide dès que la température dépasse 30°C à l'ombre ; lorsque ces conditions sont réunies et que le milieu est favorable, le temps de régénération est très court 7 heures (Zarrouk, 1966). Les filaments microscopiques se développent simultanément et ils constituent des "fleurs d'eau" également appelés "blooms" (Fox, 1999).

Les cellules d'hormogonie subissent des processus d'agrandissement et de maturation, chaque individu va donner deux individus par scissiparité, qui lui sont identiques génétiquement et plus ou moins morphologiquement et prendre la forme typique hélicoïdal, suivant un cycle de développement décrit dans la Figure 5 (Théodore, 2017).



**Figure 5.** Cycle de vie de *Arthrospira sp.* (Ciferri , 1983).

### 3. Distribution géographique naturelle

Selon Fox (1999), La spiruline croit naturellement dans les lacs alcalins contenant du carbonate de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ou du bicarbonate de sodium ( $\text{NaHCO}_3$ ), d'autres minéraux, et une source d'azote fixée. On trouve de tels lacs alcalins sur tous les continents, y compris l'Antarctique, très souvent près des volcans ou même dans la caldeira d'un ancien cratère. On en trouve aussi dans les déserts, là où se ramasse l'eau minérale qui dévale occasionnellement des montagnes (Annexe 1) (Fox, 1999).

### 4. Composition nutritionnelle

La spiruline est composée de 70% de protéines, 15% de glucides, 5% de lipides, 7% de minéraux et 3% d'eau (Goulamabasse *et al.*, 2018). Cette composition est très complète et polyvalente. Excellent apport en protéines, répartition équilibrée des graisses, glucides,

vitamines, minéraux et oligo-éléments. La composition nutritionnelle est représentée dans le tableau 1 ci-dessous :

**Tableau 1.** Composition nutritionnelle de la spiruline et rôle de chaque composant (Goulamabasse *et al.*, 2018)

Composition nutritionnelle	Composition pour 10g	Rôle
<b>Protéines (végétales)</b>	55 à 70 %	Construction du corps
<b>Glucides</b>	15 à 25 %	Apporte de l'énergie à l'organisme
<b>Lipides</b>	4 à 7 %	Réserve énergétique, fabrication des hormones, bon fonctionnement de l'organisme
<b>Minéraux</b>	7 à 13 %	
<b>Fibres</b>	2 à 8 %	Amélioration du transit intestinal

#### 4.1. Protéines et acides aminés

Les protéines sont les molécules organiques essentielles et les plus abondantes dans le corps humain. Ils existent sous forme d'enzymes, d'hormones et d'anticorps qui réparent les tissus et sont essentiels à l'équilibre acido-basique. Vingt acides aminés forment la base des protéines. Seuls 12 d'entre eux peuvent être produits par l'organisme, les 8 restants sont considérés comme essentiels et doivent être fournis par l'alimentation.

La spiruline contient ces huit acides aminés essentiels dans des proportions intéressantes directement assimilables. La teneur en protéines de la spiruline est élevée et varie entre 10 et 15 % selon le moment de la récolte. Plus la luminosité est élevée, plus la teneur en protéines est élevée. Il représente 10 à 11 % de poids humide et 60 à 70 % de poids sec. Ce pourcentage est nettement supérieur à celui du poisson (20%), du soja (40%), de la viande (25%), du lait (5%) et de l'œuf (15%) (Toudert *et al.*, 2020).

La spiruline contient la plupart des acides aminés, en particulier tous les acides aminés essentiels, qui représentent près de 60 % du poids total des protéines (Tableau 2). La leucine, la valine et l'isoleucine ont les valeurs les plus élevées. Acides aminés soufrés (méthionine et

cystéine) et autres acides aminés non soufrés (tryptophane, lysine, histidine) (Hajati *et al.*, 2019).

**Tableau 2.** Composition en acide aminés de la spiruline (Hajati *et al.*, 2019)

Acide aminé	%	Acide aminé	%
<b>Asp</b>	0,9	Met*	0,8
<b>Thr</b>	0,5	Ile*	1,3
<b>Ser</b>	0,6	Leu*	0,8
<b>Glu</b>	1	Tyr	3,3
<b>Pro</b>	0,3	Phe	2,5
<b>Gly</b>	0,6	His	4,7
<b>Ala</b>	1	Lys*	1,9
<b>Val</b>	1,3	Arg	2,1

#### 4.2. Lipides

La spiruline n'est pas un aliment gras, généralement seulement 6 à 8% de son poids sec est lipidique, mais selon la méthode d'extraction et la souche de spiruline utilisée, ce pourcentage peut atteindre 11%. La composition lipidique globale est caractérisée par un bon équilibre en acides gras saturés et polyinsaturés (AGPI). Il est divisé en deux sections. Fraction saponifiable "acides gras" (83%) et fraction insaponifiable (17%) (Flaquet *et al.*, 2006).

#### 4.3. Glucides

Les glucides représentent généralement 15 à 25 % de la matière sèche de la spiruline. La plupart des glucides assimilables sont composés de polymères tels que glucosannes aminés (1,9 % du poids sec), rhamnosannes aminés (9,7 %) ou encore le glycogène (0,5 %). Les glucides simples se trouvent en très petites quantités. Ce sont le glucose, le fructose et le saccharose. Il existe également des polyols tels que la glycérine, le mannitol et le sorbitol. (Flaque *et al.*, 2006).

#### 4.4. Minéraux et oligo-éléments

Les minéraux spécialement intéressants chez la spiruline sont le fer, le zinc, le magnésium, le calcium, le phosphore et le potassium (Falquet *et al.*, 2006). La teneur en minéraux et oligo-élément est représentée dans le tableau 3.



**Tableau 3.** Composition en minéraux de la spiruline en µg/g de sa matière sèche (Falquet *et al.*, 2006)

Minéraux	Teneur de la spiruline sèche (mg/kg)	Doses requises (mg/jour)
Calcium	1300-14000	1200
Phosphore	6700-9000	1000
Magnésium	2000-4000	250-350
Fer	600-6000	18
Zinc	21-6000	15
Cuivre	8-2000	1,5-3
Chrome	2,8	0,5-2
Manganèse	25-37	5
Sodium	4500	500
Potassium	6400-15400	3500
Sélénium	0.01-50	0,05

#### 4.5. Vitamines

La spiruline contient diverses vitamines. Il existe 13 types de vitamines : 4 types de vitamines liposolubles (A, D, E, K) et 9 types de vitamines hydrosolubles (B1, B2, B5, B6, B12, C, PP). La spiruline contient beaucoup de ces vitamines, en particulier les vitamines B dans le rapport optimal (Babadzhanov, 2004 ; Falquet *et al.*, 2006). Ci-dessous le tableau 4 qui représente les vitamines (liposolubles et hydrosolubles) et leurs quantités chez la spiruline.

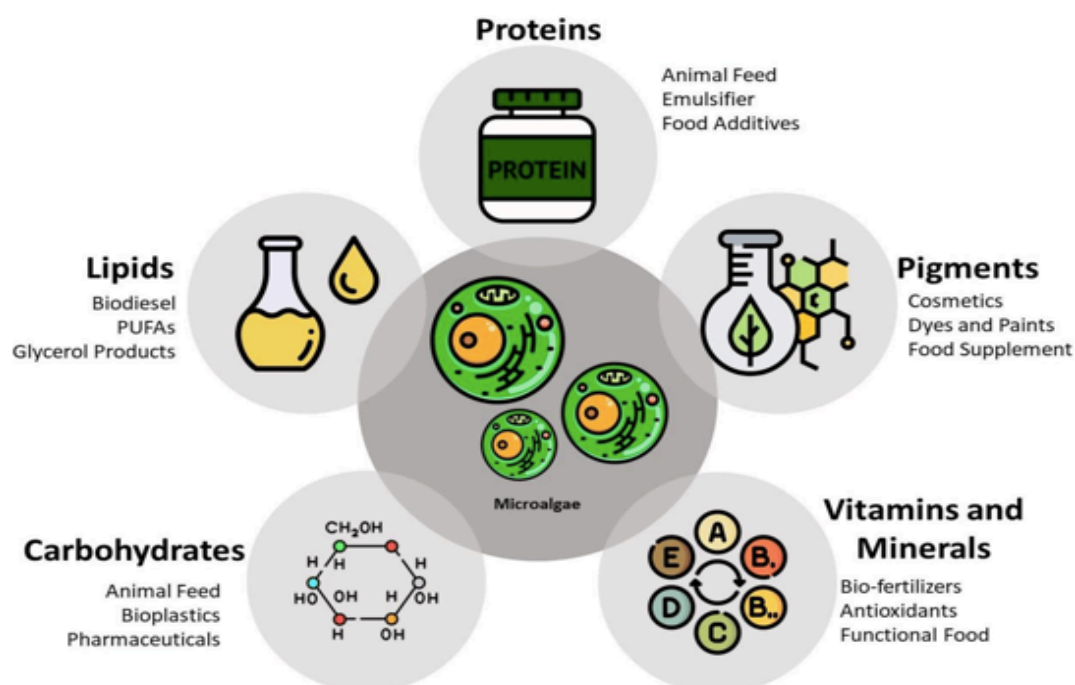
**Tableau 4.** Vitamines liposolubles contenues dans la biomasse de *Spirulina platensis* (mg/100g de matière sèche) (Babadzhanov, 2004 ; Falquet *et al.*, 2006).

Vitamine	Quantités
<i>Vitamines liposolubles :</i>	
β-carotène (provitamine A)	64 à 200 mg/100g
Tocophérol (Vitamine E)	10 à 19 mg/100g
Vitamine D	12000 U soit 0,3 mg/100g
<i>Vitamines hydrosolubles :</i>	

<b>B1 (thiamine)</b>	34 – 50
<b>B2 (riboflavine)</b>	30 – 46
<b>B3 (niacine)</b>	130
<b>B5 (pantothénate)</b>	4,6 -25
<b>B6 (pyridoxine)</b>	5 – 8
<b>B8 (biotine)</b>	0,05
<b>B9 (folate)</b>	0,5
<b>B12 (cobalamine)</b>	0,10 – 0,34*
<b>C (acide ascorbique)</b>	Traces

## 5. Application

En raison de leur biodiversité et de leur composition biochimique, les microalgues contribuent à de nombreuses applications dans divers domaines tels que la médecine, l'alimentation, l'environnement et les énergies renouvelables (Bruno *et al.*, 2013 ; Machado *et al.*, 2022) (Figure 6).



**Figure 6.** Diversité du champ d'application des microalgues (Machado *et al.*, 2022).

### **5.1. Domaine de santé**

Dans les pays développer, pendant des années dans quelques régions d'Afrique, la spiruline est consommée comme un complément alimentaire "Utile pour la santé". La spiruline n'est pas un médicament, elle est vendu dans le secteur des produits dits "bio" (Charpy *et al.* , 2008).

Dans ce domaine la spiruline peut être prise pour un Régime équilibré : Grâce à la teneur en micronutriments et aussi elle aide les athlètes à améliorer leurs performances grâce à sa teneur en fer régénérant, en vitamine B12 et en bêta-carotène, ainsi elle Peut ralentir le vieillissement cellulaire grâce aux propriétés antioxydantes du bêta-carotène et de la vitamine E , a des Effets hypocholestérolémiants des acides gras polyinsaturés oméga-3 et oméga-6 Charpy *et al.* , 2008).

### **5.2. Domaine de cosmétique**

Elle est utilisée comme agent cicatrisant et antiseptique, elle entre dans la composition des masques et crème anti âge grâce à son action sur le renouvellement cellulaire et la tonicité des tissus (Audrey, 2016).

### **5.3. Domaine alimentaire**

#### **5.3.1. Alimentation humaine**

Grâce à son excellent profil nutritionnel, la spiruline permet de réaliser de nombreux gains de performances. En prévenant la malnutrition, elle est utilisée par les humanitaires et les médecins sous forme de poudre à mélanger avec des céréales ou de l'eau pour sauver les enfants sévèrement malnutris. Elle se révèle plus efficace que les médicaments pour corriger tous les défauts et traiter les effets des maladies liées à la famine telles que le marasme ou la kwashiorkor (Fox, 1999).

La spiruline convient très bien aux femmes enceintes car elle leur permet d'accéder à tous les nutriments essentiels. Grâce à la phycocyanine, qui augmente l'oxygénation musculaire et limite les contractions utérines, ces femmes peuvent mieux se préparer à l'accouchement et mieux récupérer de la fatigue de l'allaitement ,il en de même pour les sportifs, sa consommation facilite l'effort et permet une meilleure récupération. (Audrey, 2016).

### 5.3.2. Alimentation animale

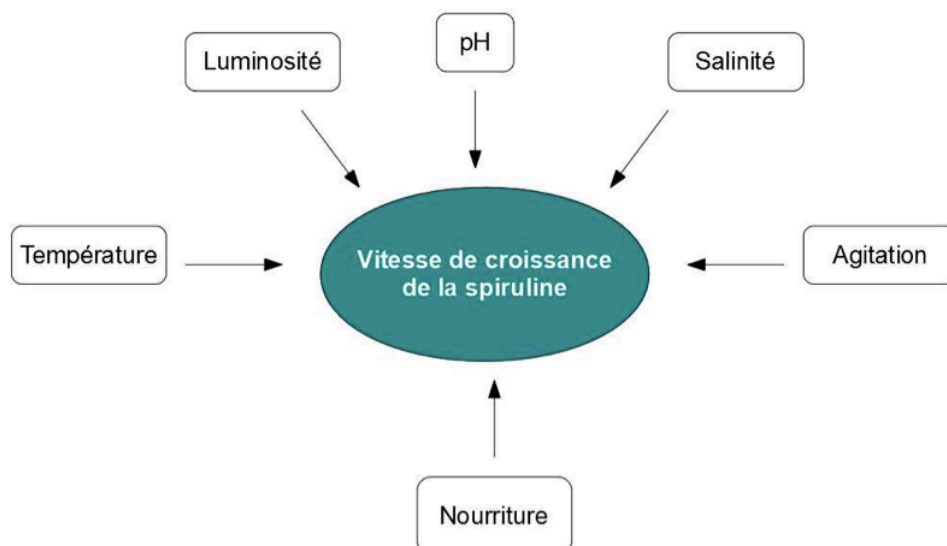
Semblable à l'homme, la spiruline renforce également les défenses naturelles des animaux. Cela joue un grand rôle dans le maintien de son système immunitaire et lui permet de se battre elle prévient certaines maladies et agit sur le vieillissement et la fatigue. Les chiens, les chats, les poissons et les chevaux sont des animaux chez lesquels la spiruline est couramment utilisée. Chez les chevaux, sa consommation est très fréquente dans la croissance, la compétition ou la récupération (Casal, 2019).

Notons aussi que les bons éleveurs de poules n'hésitent pas à ajouter de la spiruline à leur alimentation. C'est une pratique de connaisseur qui participe à la ponte d'œuf d'une qualité nettement supérieure. Aussi La spiruline utilisée dans la nutrition des mollusques tels que les larves de moule : *mytilusprovincialis*, des gastéropodes, crustacés. La spiruline accélère la croissance des animaux d'élevage (Casal, 2019).

## II. Culture de la spiruline

### 1. Condition de culture

Lors de la production de spiruline, plusieurs paramètres sont à prendre en compte dont essentiellement le climat, l'agitation et la nutrition de celle-ci. D'autres paramètres sont présents sur la figure 7 :



**Figure 7.** Condition de culture de la spiruline (Soizic, 2019).

### **1.1. Température**

La spiruline pousse dans une large plage de température généralement entre 25°C et 35°C. Une température constante et contrôlée est essentielle pour une croissance optimale. La spiruline pousse mieux lorsque la température moyenne est de 37°C (Falquet, 1999).

### **1.2. Lumière**

La spiruline a besoin d'une forte intensité lumineuse pour la photosynthèse. Elle est souvent cultivée dans des bassins ou des photobioréacteurs exposée à la lumière du soleil ou à une source de lumière artificielle (Fox, 1999).

### **1.3. pH**

La spiruline se développe dans une gamme de pH alcalin, généralement entre 8 et 11. Le pH doit être régulièrement surveillé et ajusté si nécessaire (Fox, 1999).

### **1.4. Agitation**

Une agitation régulière mais douce (2 à 4 fois par jour) est aussi nécessaire (Soizic, 2019). L'agitation aide à fournir de l'oxygène et prévenir l'agglutination des filaments de spiruline. Une "roue à aubes" est le système d'agitation le plus courant (Fox, 1999).

### **1.5. Nutriments**

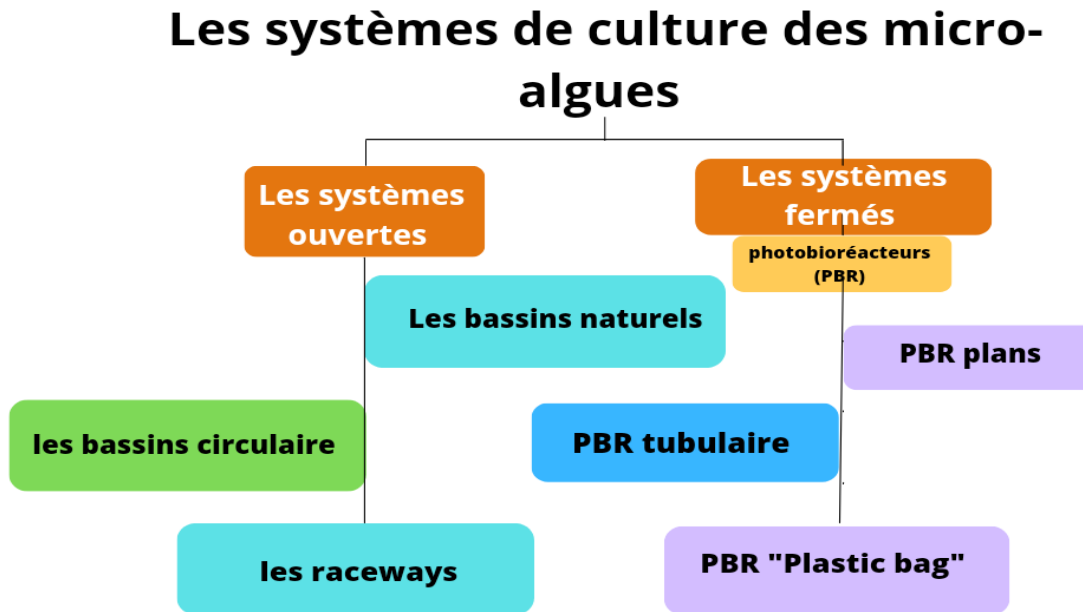
Pour la photosynthèse la spiruline a besoin de carbone inorganique, il peut être apporté par enrichissement de l'air insufflé (car l'air ambiant ne contient pas assez de CO<sub>2</sub> pour la culture intensive des microalgues) ou sous formes de sels (bicarbonate), qui doit être solubilisé pour que les microalgues puissent l'utiliser lors de la photosynthèse, en fonction de pH le CO<sub>2</sub> qui peuvent prendre plusieurs formes (Bernard, 2008).

Le phosphore et le soufre sont également importants. Le phosphore est un élément indispensable à la division des cellules et est donc un élément essentiel pour la croissance des microalgues. Le soufre participe à la composition des acides aminés essentiels (méthionine et cystéine), qui sont responsables de la structure tridimensionnelle des protéines (Enamala *et al.*, 2018). Un autre facteur important, qui a une grande influence sur la croissance ainsi que sur le métabolisme biochimique des microalgues, c'est l'azote. Le taux de croissance des

microalgues change considérablement selon la concentration et la source d'azote utilisée (urée, nitrite, nitrate) (Enamala *et al.*, 2018).

## 2. Les systèmes de culture des microalgues

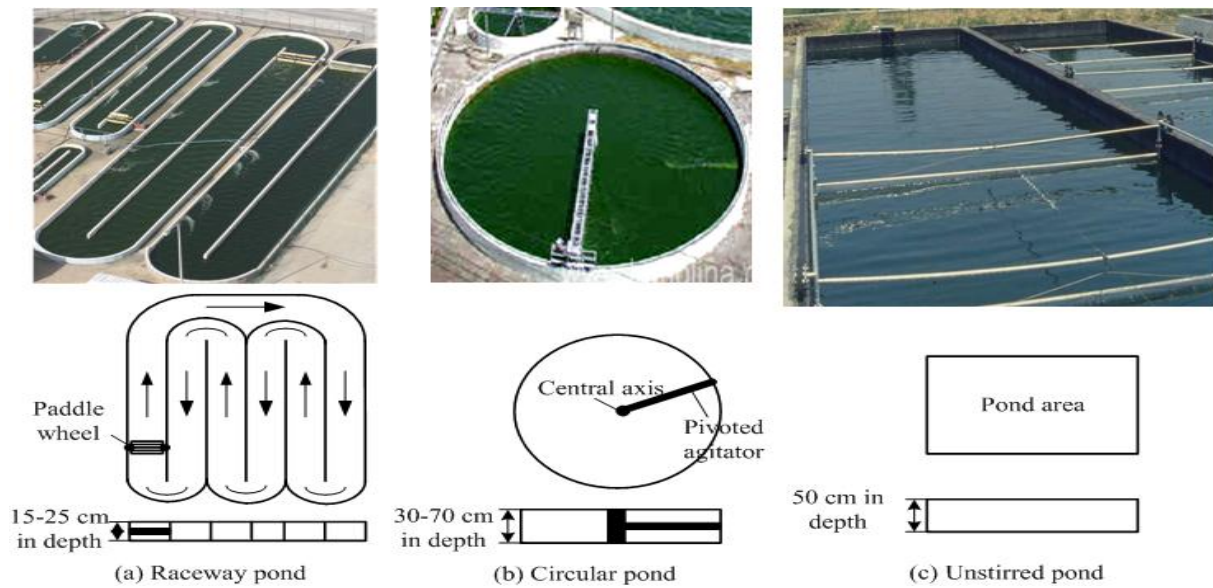
Il exist deux systèmes de culture des microalgues : «les systèmes ouverts» et «les système fermés» (Figure 8).



**La Figure 8.** Les systèmes de culture des microalgues( Ying shen *et al.*, 2009).

### 2.1. Les systèmes ouverts

La culture des microalgues dans les systèmes de production ouvert a été utilisée depuis les années 1950 , c'est une méthode moins coûteuse de production à grande échelle de biomasse algale (Brennan *et al.*,2010). Les systèmes ouverts n'utilisent généralement que la lumière naturelle, il ne coûte donc rien de fournir de la lumière à ces systèmes de culture. Cependant, l'utilisation de la lumière par les microalgues dans ces systèmes de culture est faible (Razzak *et al.*, 2013). Plusieurs groupes de bassin existent (Figure 9).



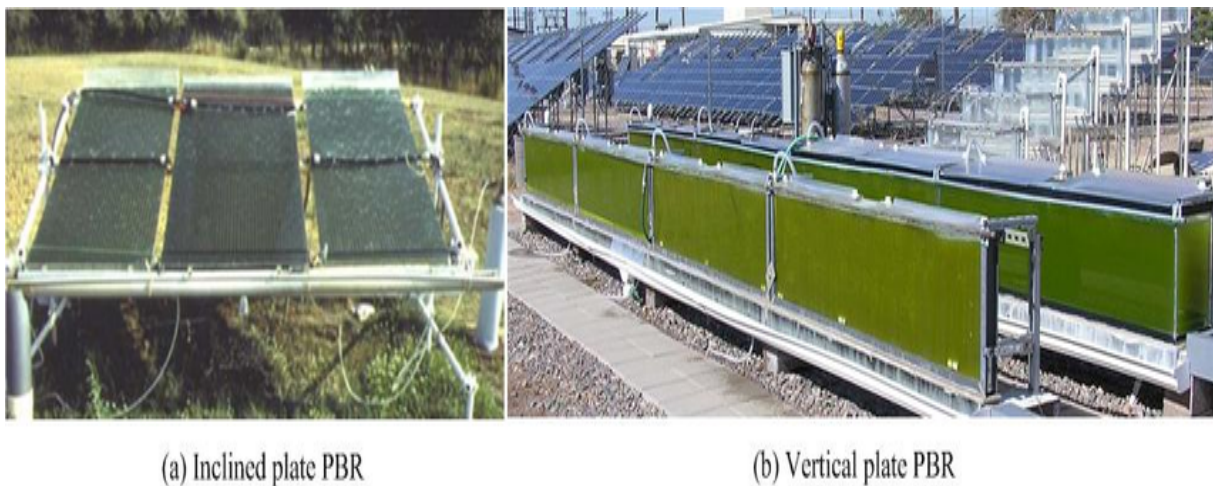
**Figure 9.** Les trois différents groupes de systèmes ouverts (a :les raceways ,b :bassin circulaire, c : bassin naturel ) (Ying shen *et al.*, 2009) .

- **Les bassins naturels :** Ces types de gros bassins ouverts sont de construction simple ; Les bassins naturels sont certaines cultures d'espèces de microalgues comme *Dunaliella salina* et spiruline. Cependant, les bassins naturels vont limités la croissance de microorganismes dans des conditions environnementales défavorables exposés à la croissance simultanée de protozoaires, de bactéries et de virus (Razzak *et al.*, 2013) .
- **Les bassins circulaires :** Ont été principalement utilisés pour la culture à grande échelle, en particulier en Asie du Sud-Est pour la culture de *Chlorelle* . La profondeur de ces bassins est d'environ 25-30 cm. Les microalgues sont généralement cultivées dans des bassins circulaires en béton jusqu'à 45 m de diamètre, avec agitation par un bras rotatif placé au centre (Razzak *et al.*, 2013) .
- **Les raceways :** Le système de culture ouverte le plus utilisé actuellement . Ce type de bassin ouvert est habituellement peu profond et entre 15 et 25 cm de profondeur (Razzak *et al.*, 2013). Le mélange et la circulation sont produits par une roue à aubes (Chisti, 2007). Dans la productivité de la biomasse s'est avérée être de 60 à 100 mg poids sec L 1 d 1 et sont principalement utilisés pour la culture commerciale de quatre espèces de microalgues : *Chlorella sp* , *Spiriluna platensis*, *Hematococcus sp* et *D.salina*(Razzak *et al.*, 2013) .

## 2.2. Systèmes fermés

principalement appelés photobioréacteurs (Razzak *et al.*, 2013), ils ne sont pas directement exposés à l'atmosphère, au lieu de cela, ils sont couverts d'un matériau transparent ou dans des tubes transparents (Ying shen *et al.*, 2009). Différentes conceptions de systèmes fermés sont connus :

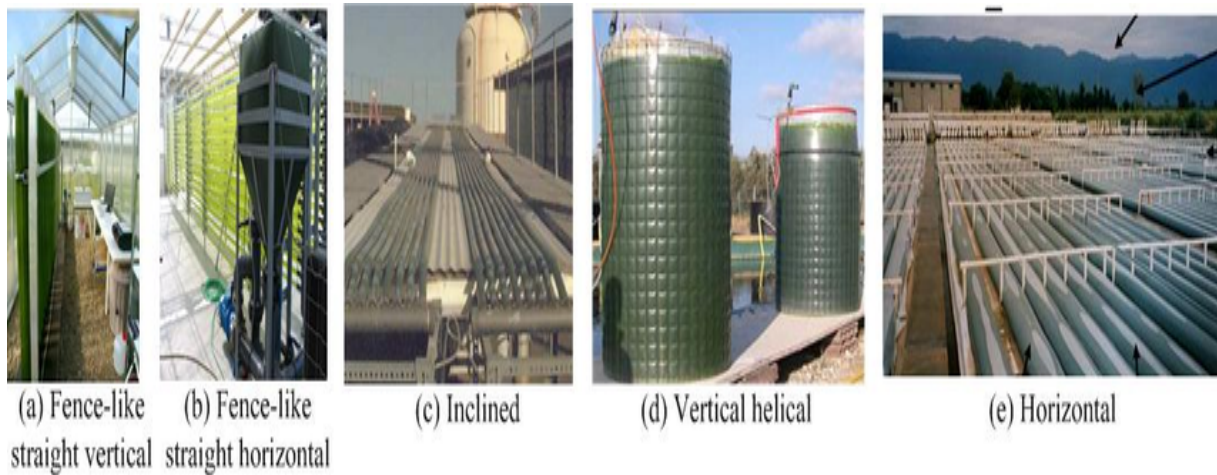
- **Photobioréacteur plats** : sont constitués d'un récipient rectangulaire transparent avec le chemin de lumière habituellement entre 1 et 30 cm ( Ying shen *et al.*, 2009). Mélangés par des bulles d'air, qui semble être encore mieux que les colonnes à bulles en termes de productivité et de facilité de fonctionnement . Ces photobioréacteurs sont relativement bon marché et facile à nettoyer. Plaques plates verticales peuvent être logées dans des unités de capacité volumique de 1 000 à 2 000 L qui ont été exploitées avec succès pendant de longues périodes(Razzak *et al.*, 2013). Figure 10 représente les deux conceptions des plaquesPBRs .



**Figure 10.** Deux conceptions différentes des plaques PBRs (Ying shen *et al.*, 2009)

- **Photobioréacteur tubulaires** : sont les plus couramment utilisés dans le commerce en raison de leur facilité de construction, contrôle éprouvé du transfert de gaz, grande surface au volume et des productivités de biomasse assez bonnes , les tubes peuvent être de diverses configurations (figure 11) : verticale droite, horizontale, inclinée, ou hélicoïdal (Ying shen *et al.*, 2009).





**Figure 11.** Différentes conceptions de PBR tubulaires (Ying shen *et al.*, 2009).

- **Photobioréacteur sac en plastique :** les microalgues peuvent être en sacs de polyéthylène transparents (Figure 12). Généralement, ces sacs sont suspendus ou placés dans une cage sous le rayonnement solaire. Dans de tels arrangements, les cultures d'algues sont mélangées avec de l'air au fond des sacs. Transparent manchons en polyéthylène scellés au fond de forme conique qui sont utilisés pour prévenir le tassement cellulaire également largement utilisés (Razzak *et al.*, 2013).



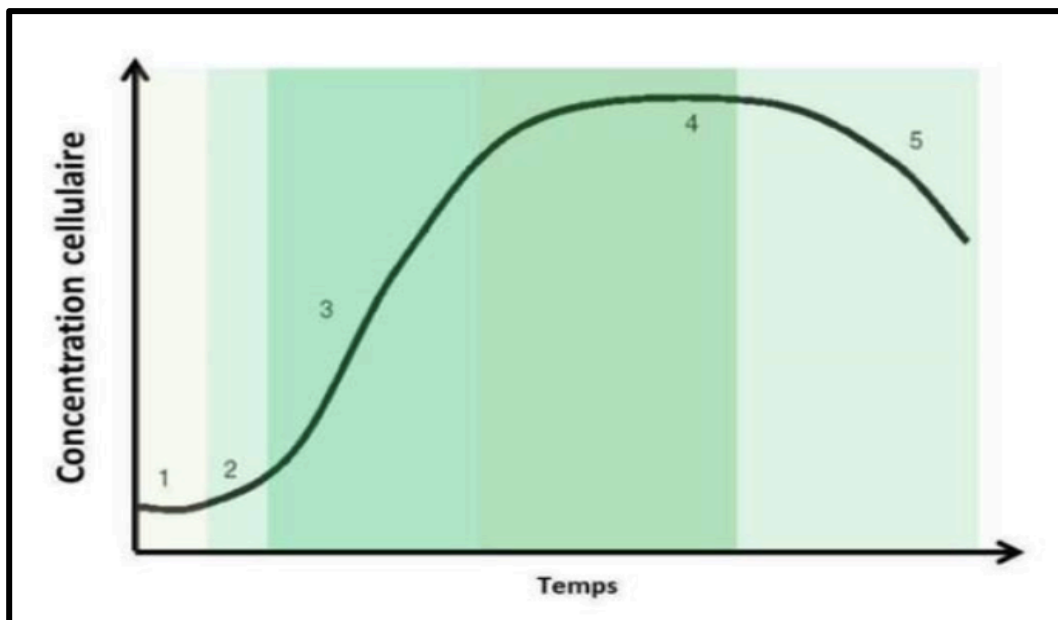
**Figure 12.** Exemple de Photobioréacteur sac en plastique (Huang *et al.*, 2017).

### 3. Modes de fonctionnement des cultures algales

Quel que soit le système de culture, celui-ci peut être opéré selon plusieurs modes distincts, il existe trois principaux modes de fonctionnement :

### 3.1. Culture batch

C'est le système le plus simple à mettre en place. Les cellules sont inoculées dans un bioréacteur de façon stérile. Par la suite, aucun ajout n'est réalisé tout au long de la culture, en dehors de ceux nécessaires aux régulations des paramètres physico-chimiques (par exemple ajout de base pour la régulation du pH) et contrôlé la température. Cependant l'accumulation de déchets toxiques (comme le lactate ou l'ammoniaque) et l'épuisement des nutriments du milieu de culture entraînent un ralentissement puis un arrêt de la croissance des cellules et enfin la mort cellulaire (Figure 13). Les cultures durent environ 5 à 7 jours pour les procédés les plus optimisés (Sophie, 2017).



**Figure 13.** Courbe de croissance théorique d'une population de microalgues en fonction du temps (Richmond *et al.*, 2004).

Pour une culture en mode batch, la croissance de microalgues suit une allure bien définie selon une courbe d'allure sigmoïde traduisant cinq phases principales : phases de latence (1), d'accélération (2), de croissance exponentielle (3), stationnaire (4) et de décroissance (5) (Figure 15) (Richmond, 2004) :

- **Phase de latence (1)** : elle traduit l'adaptation cellulaire, aux nouvelles conditions environnementales.

- **Phase d'accélération (2)** : Les cellules ont réussi à accumuler suffisamment de composés intracellulaires pour débiter la croissance par reproduction végétative (Richmond, 2004).
- **Phase de croissance exponentielle (3)** : cette phase s'achève par une étape dite de décélération durant laquelle les nutriments nécessaires à la culture commencent à s'épuiser, particulièrement les substrats limitants. A l'issue de cette phase, la concentration cellulaire a atteint une valeur limite.
- **Phase stationnaire (4)** : Cette phase intervient lorsque le substrat limitant s'épuise (P, N, CO<sub>2</sub>, etc). L'apport de lumière peut aussi être insuffisant, en raison d'une concentration cellulaire élevée, de la formation de bio film sur les parois du photobioréacteur, donnant le phénomène d'auto ombrage des cellules. La concentration cellulaire est dans ce cas constante et maximale (Tebbani, 2014).
- **Phase de déclin (5)** : toutes les réserves intracellulaires des cellules sont épuisées et les conditions deviennent extrêmement défavorables, provoquant la mort cellulaire.

### 3.2. Culture continue

Le système continue caractérisé par un apport permanent en milieu nutritif et une récolte de la biomasse simultanée permettant de maintenir le volume de culture constant. C'est ce système qui permet d'obtenir les productivités les plus importantes car l'atténuation lumineuse peut être maintenue à l'optimal lorsque l'apport de lumière est constant. Il existe deux modes de culture en continu : le mode chemostat et le mode turbidostat (Clément-Larosière, 2012).

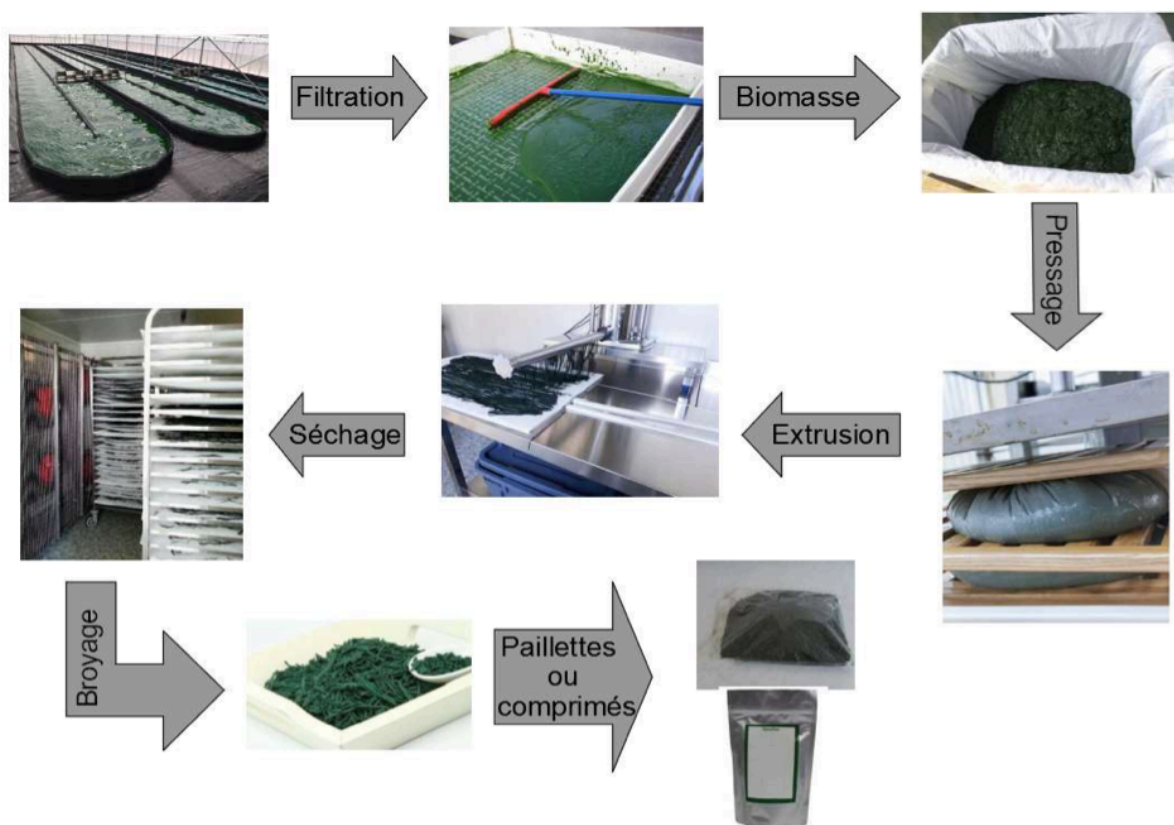
### 3.3. Culture semi-continue

En culture fed-batch ou semi continu, le milieu de culture est ajouté, le système est en régime stationnaire. Le volume dans la cuve augmente au cours du temps. Le débit est réglé de façon à ce que la concentration en substrat soit constante dans la cuve et que l'effet de dilution n'inhibe pas la production de biomasse. La culture croît jusqu'à atteindre le nouveau de la phase stationnaire. Il est alors possible d'en prélever encore une certaine quantité. Le fed-batch permet en pratique un gain de temps, une augmentation de productivité (Benzidane *et al.*, 2023) et une possibilité de modification du milieu en cours de culture. (N'Goran Urbain, 2017).

## 4. Les différentes étapes de production de la spiruline

### 4.1. La filtration

Il s'agit d'amener l'eau des bassins sur des filtres à l'aide de pompes. Celle-ci est envoyée sur un tamis de toile très fine de l'ordre de 50 microns (les mailles sont invisibles à l'œil nu), ce qui permet de conserver uniquement une "pâte verte", appelée "biomasse". L'eau restante retourne dans le bassin tandis que la spiruline reste « capturée » sur le filtre et s'accumule petit à petit (Soizic, 2019) (Figure 14).



**Figure 14.** Les différentes étapes de production de la spiruline (Soizic, 2019).

### 4.2. Le pressage

La biomasse recueillie sur le filtre contient encore beaucoup d'eau, il faut alors la presser pour en éliminer un maximum. L'application d'un poids pendant quelques minutes permet cela. On obtient alors à ce stade de la production une pâte, ressemblant à de la pâte à modelée, appelée spiruline fraîche. Sous cette forme, la spiruline se consomme mais ne se conserve pas très longtemps. Le seul moyen de la conserver sera de la déshydrater (Figure 14) (Soizic, 2019).

#### ***4.3. L'extrusion***

La pâte pressée est donc introduite dans un poussoir de manière à la transformer en spaghettis de spiruline. Ces spaghettis sont étalés sur des cadres qui seront ensuite placés dans un séchoir (Figure 14) (Soizic, 2019).

#### ***4.4. Le séchage***

Un système de ventilation va permettre de déshydrater la spiruline en quelques heures. Pour garantir un produit de qualité, il faut veiller à ne pas monter au-delà des 40°C, de manière à préserver toutes les vitamines de la spiruline. C'est ce qu'on appelle un séchage à basse température (Figure 14) (Soizic, 2019).

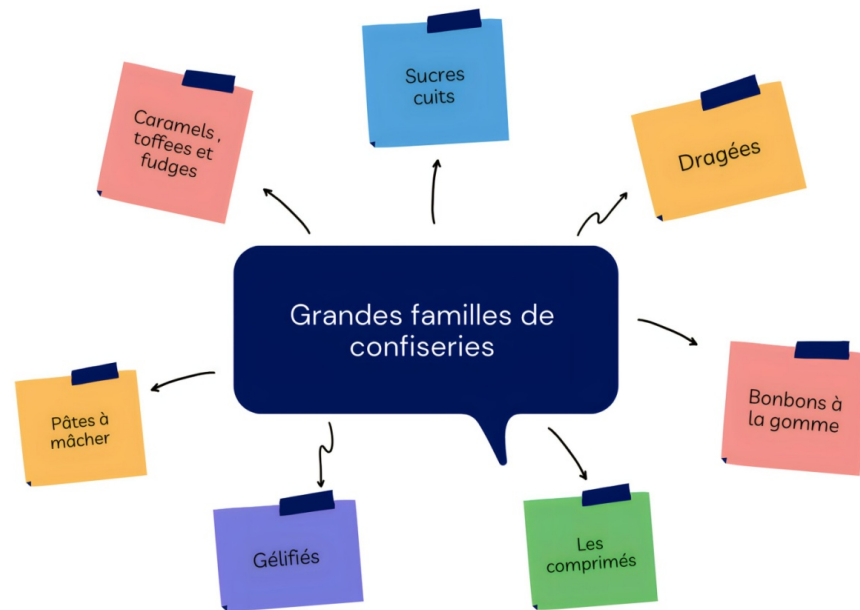
#### ***4.5. Le broyage et mise en conditionnement***

Le broyage permet d'obtenir des paillettes de spiruline. La compression quant à elle peut être utilisée pour la réalisation des comprimés. Des adjuvants ne sont pas forcément ajoutés lors de la compression (Figure 14) (Soizic, 2019).

### **III. Généralité sur la confiserie**

#### **1. Définition et classification**

Les confiseries appartiennent à une famille alimentaire présentant une grande diversité de textures, formes, couleurs, parfums à même de séduire le plus grand nombre (Figure 15). Elles ont en commun une cuisson plus ou moins poussée du sucre mélangé à d'autres ingrédients qui leur apportent leur attrait. Les textures disponibles sont nombreuses et sont le fait de technologies spécifiques aux diverses familles d'articles. Ainsi, les sucres cuits présentent une texture vitreuse grâce à des températures de cuisson élevées et à une humidité résiduelle faible. À l'inverse, d'autres confiseries comme les gélifiés qui bénéficient d'une texture tendre obtenue par une gélification et une humidité plus importante. D'autres produits encore, comme les dragées, sont confectionnés par turbinage afin d'enrober un cœur par une couche de sucre craquant (Richard, 2023).



**Figure 15.** Les grandes familles de confiseries (Richard, 2023).

## 2. Les bonbons gélifiés

### 2.1. Description

Bonbons constitués de sucre et d'au moins un gélifiant de la liste suivante : gélatine, pectines, carraghénanes, amidons (modifiés ou non), gomme arabique ou d'acacia, agar-agar, alginates, gomme gellane, farine. Ces produits peuvent être acidulés et/ou aromatisés et/ou fourrés (Landreau *et al.*, 2020).

### 2.2. Composition

#### 2.2.1. Gélifiant

Est une substance ou un ingrédient utilisé pour donner de la consistance ou de la texture gélifiée à un produit. Les gélifiants peuvent être d'origine naturelle ou synthétique. Certains exemples courants de gélifiants naturels incluent l'agar-agar, la pectine, l'alginate de sodium et la gélatine, tandis que les gélifiants synthétiques comprennent des substances telles que les carraghénanes et les gommes de cellulose modifiées (Malcolm *et al.*, 2019).

#### A) Pectine

La pectine est un polymère d'acide galacturonique présent principalement dans les parois cellulaires végétales. Elle peut être extraite des pépins de fruits, de la pulpe et de l'écorce de pommes, d'agrumes, de betteraves sucrières, de tournesol ou encore d'algues. Il s'agit d'un

polysaccharide anionique ramifié dont le poids moléculaire peut varier de 50 à 150 kilo daltons. Le squelette de la pectine est composé majoritairement d'unités d'acide D-galacturonique reliées par des liens glycosidiques  $\alpha$ -(1 4) (Jourdain *et al.*, 2005) .

### b) Gélatine

C'est un aliment protéique essentiellement pur, ingrédient obtenu par la dénaturation thermique du collagène, qui est le pilier structurel et la protéine la plus commune chez l'animal (Figure 16). La molécule de gélatine peut également être décrite comme un fragment de collagène hélicoïdal triple, qui est incapable de renaturation complète. La gélatine est une protéine biodégradable, non toxique et bon marché (Asiyanbi *et al.* 2017).



**Figure 16.** Application de la gélatine (Alipa *et al.*, 2020) .

### c) Agar-Agar

C'est un biopolymère appartenant aux polysaccharides naturels extraits d'algues rouge de la classe Rhodophyta, étant l'hydrate de carbone structurel de la paroi de ces cellules. Il est composé d'agarose, qui a une chaîne droite, et d'agaropectine, qui a une chaîne ramifiée, reliés entre eux par des liaisons  $\alpha$ - (1 3) e  $\beta$ - (1 4). C'est un biopolymère attrayant en raison de sa structure chimique, de sa résistance aux acides et de sa capacité à former un gel uniforme même à de faibles concentrations, favorisant son application dans plusieurs zones industrielles

( Camila *et al.*, 2023).

### 2.2.2. Sucre

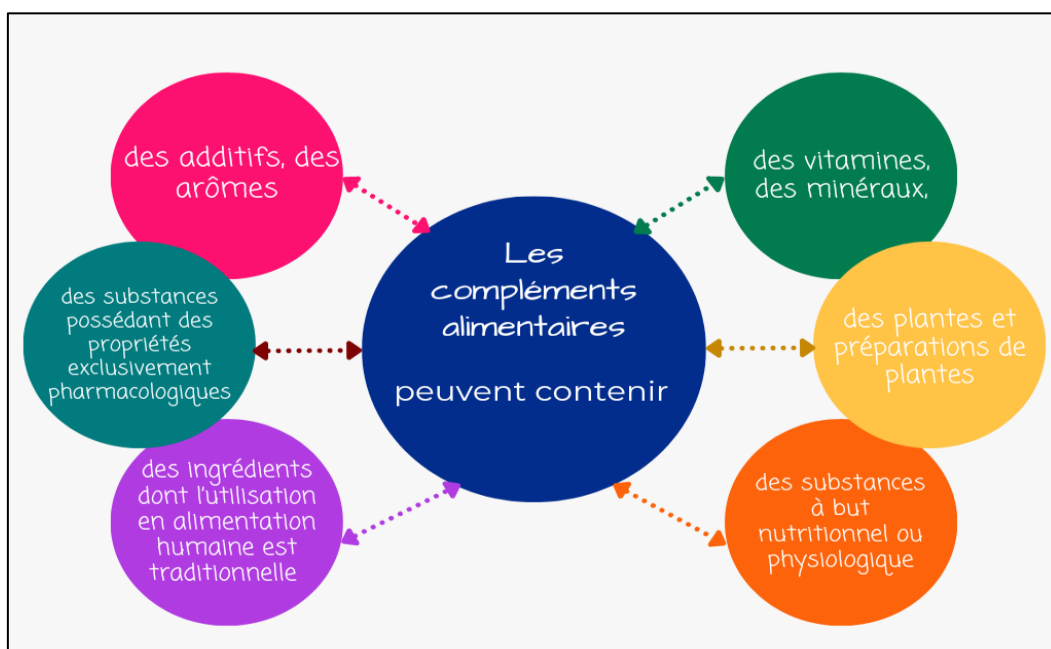
Le sucre cristal, également connu sous le nom de sucre en cristaux ou sucre granulé, est une forme courante de sucre utilisée dans la cuisine et la pâtisserie. Il se présente sous la forme de cristaux transparents, légèrement humides, et est principalement composé de saccharose. Le sucre cristal est obtenu à partir de la canne à sucre ou de la betterave sucrière. Après récolte et extraction du jus sucré de la plante, ce dernier est purifié, cristallisé puis séché pour donner naissance aux cristaux de sucre (Belitz *et al.*, 2009).

### 2.2.3. Jus de fruits

Selon CODEX STAN 247-2005, le jus de fruits est le liquide non fermenté, mais fermentescible, tiré de la partie comestible de fruits sains, parvenus au degré de maturation approprié et frais ou de fruits conservés dans de saines conditions par des moyens adaptés.

## 3. Utilisation comme complément alimentaire

Selon le Journal Officiel des Communautés Européennes n°72 du 25 mars 2006, un complément alimentaire est les denrées alimentaires dont le but est de compléter le régime alimentaire normal. Ils constituent une source concentrée de nutriments ou d'autres substances ayant un effet nutritionnel ou physiologique seuls ou combinés (Figure 17).



**Figure 17.** Les compositions des compléments alimentaire (Brigitte *et al.*, 2013).



Les compléments alimentaires sont commercialisés sous forme de doses, à savoir les formes de présentation telles que les gélules, les pastilles, les comprimés, les pilules et autres formes similaires, ainsi que les sachets de poudre, les ampoules de liquide, les flacons munis d'un compte-gouttes et les autres formes analogues de préparations liquides ou en poudre destinées à être prises en unités mesurées de faible quantité.

#### **IV. Objectif de notre travail**

L'objectif de notre travail consiste à produire de la spiruline dans un milieu de culture optimisé et à valoriser cette dernière en l'incorporant à des bonbons gélifiés afin d'être proposé comme supplément alimentaire. La consommation alimentaire traditionnelle de spiruline est bien connue dans certains pays, mais la population algérienne n'est pas habituée à consommer ces micros algues malgré leurs richesses nutritionnelles.

Il existe en Algérie plusieurs sociétés qui produisent et qui commercialisent la spiruline sous forme poudre ou en comprimés, cependant son goût n'est pas toujours apprécié par les consommateurs et même les prix sont très chers. Nous avons donc pensé à une nouvelle façon de la commercialiser pour qu'elles puissent être acceptées aussi bien par les adultes que par les enfants en « Bonbons gélifiés à base de spiruline ».

# CHAPITRE II

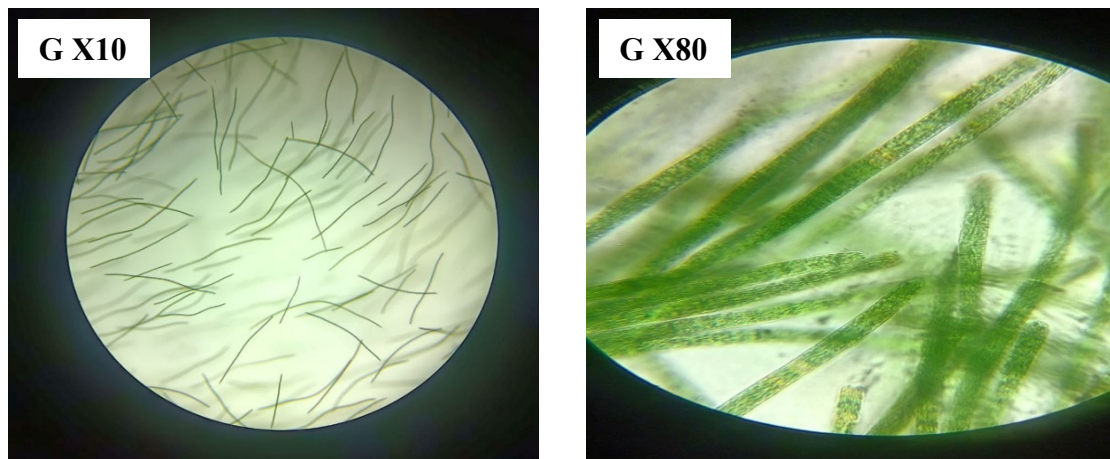
## *Matériel et Méthodes*

### 1. Matériel biologique

La souche de *Arthrospira platensis* nous a été gentiment donné par des étudiants de la formation de Licence Professionnel d'Aquaculture et Pisciculture (LPAP). Elle provient de la ville de Ouargla du Centre National de Recherche et de Développement de la Pêche et de l'Aquaculture (CNRDPA).

### 2. Observation et identification de la souche utilisée

Afin de vérifier le type et la forme de la souche utilisée on a effectué une observation microscopique (en utilisant le microscope optique OLYMPUS / CX22LED) (Figure 18) sous 2 différents objectifs (x10 et x80).



**Figure 18.** Observation de la souche *A. platensis* au microscope optique.

### 3. Préparation du milieu de culture

Nous avons utilisé le milieu spirulina (Robert, 2015). Ce dernier contient deux solutions (Solution I et II) (Tableau 5, 6 et 7). Pour préparer le milieu de culture on pèse les ingrédients de chaque solution séparément après on agite à l'aide d'un agitateur. Enfin la préparation des deux solutions sont autoclavées (15 minutes à une température de 120 C° et une pression de 1,5 bar). Les solutions sont mélangées aseptiquement après refroidissement et traités avec 1 ml de solution de vitamine.

**Tableau 5.** Composition du milieu de culture spirulina (Robert, 2015).

Composé	Solution stock	Quantité utilisée	Concentration finale dans le milieu(M)
<b>Solution I</b>	500 mL	-	-
<b>NaHCO<sub>3</sub></b>	-	13,61 g	1,62 x 10 <sup>-1</sup>
<b>Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b>	-	4,03 g	3,80 x 10 <sup>-2</sup>
<b>K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub></b>	-	0,50 g	2,87 x 10 <sup>-3</sup>
<b>Solution II</b>	500 mL	-	-
<b>NaNO<sub>3</sub></b>	-	2,5 g	2,94 x 10 <sup>-2</sup>
<b>K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	-	1,0 g	5,74 x 10 <sup>-3</sup>
<b>NaCl</b>	-	1,0 g	1,71 x 10 <sup>-2</sup>
<b>MgSO<sub>4</sub> * 7H<sub>2</sub>O</b>	-	0,2g	8,11 x 10 <sup>-4</sup>
<b>CaCl<sub>2</sub> * 2H<sub>2</sub>O</b>	-	0,04 g	2,72 x 10 <sup>-4</sup>
<b>FeSO<sub>4</sub> * 7H<sub>2</sub>O</b>	-	0,01 g	3,60 x 10 <sup>-5</sup>
<b>Na<sub>2</sub>EDTA * 2H<sub>2</sub>O</b>	-	0,08g	2,15 x 10 <sup>-4</sup>
<b>Solution de métaux traces</b>	ci-dessous	1 mL	-

**Tableau 6.** Solution des métaux traces (Robert, 2015).

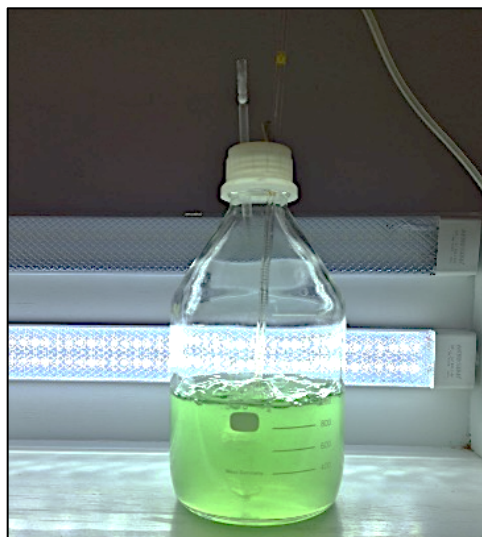
Composé	Solution stock (g,L-1 d'H <sub>2</sub> O)	Quantité utilisée milieu de culture(M)	Concentration finale
<b>Na<sub>2</sub>EDTA . 2H<sub>2</sub>O</b>	-	0,8g	2,15 x 10 <sup>-6</sup>
<b>FeSO<sub>4</sub> * 7H<sub>2</sub>O</b>	-	0,7g	2,52 x 10 <sup>-6</sup>
<b>ZnSO<sub>4</sub> . 7H<sub>2</sub>O</b>	1,0	1ml	3,48 x 10 <sup>-9</sup>
<b>MnSO<sub>4</sub> * 7H<sub>2</sub>O</b>	2,0	1 ml	8,97 x 10 <sup>-9</sup>
<b>H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub></b>	10,0	1ml	1,62 x 10 <sup>-7</sup>
<b>Co(NO<sub>3</sub>)<sup>2</sup> * 6H<sub>2</sub>O</b>	1,0	1ml	3,44 x 10 <sup>-9</sup>
<b>Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> . 2H<sub>2</sub>O</b>	1,0	1ml	4,13 x 10 <sup>-9</sup>
<b>CuSO<sub>4</sub> * 5H<sub>2</sub>O</b>	0,005	1ml	2,00 x 10 <sup>-11</sup>

**Tableau 7.** Solution stock de vitamine (Robert, 2015).

Composé	Solution stock (g.L-1 d'H <sub>2</sub> O)	Quantité utilisée	Concentration finale dans le milieu(M)
Thiamine HCl(B1)	-	200g	$2,96.10^{-7}$
Biotin(H)	1,0	1ml	$2,04.10^{-9}$
Cyanocobalamine(B12)	1,0	1ml	$3,69.10^{-10}$

#### 4. Photobioréacteur

On a utilisé pour la culture de la spiruline des photobioréacteurs de taille de 20 cm sur 15 cm d'un volume de 2L (Figure 19). Les photobioréacteurs sont préalablement stérilisés à l'autoclave pendant 15 min avant utilisation.

**Figure 19.** Photobioréacteur.

Pour assurer l'agitation de la culture on a mis des pipettes qui injectent de l'air à l'aide d'oxygénateurs. On a déposé les photobioréacteurs sur une plateforme en bois qui représente la chambre de culture ou nous avons fixé des lampe LED d'une intensité de 70 W. Une photopériode de 12h d'illumination et 12h d'obscurité été maintenue à l'aide d'un programmeur du temps.

### **5. Détermination des paramètres de la cinétique de croissance en mode batch**

#### **5.1. Modèles utilisés pour suivre la cinétique de croissance**

##### **5.1.1. Modèle malthusien**

Ce modèle exponentiel d'accroissement démographique a été développé par Thomas Malthus au début du 19e siècle. Il s'intéressait à l'accroissement rapide de la population de l'Angleterre et se disait qu'une telle croissance se faisait trop rapidement face aux ressources qui étaient disponibles. La nature du problème de Malthus n'était pas très compliquée. Pour lui, les deux seuls aspects à considérer étaient les naissances humaines et les décès. Son modèle ne tient donc pas compte des ressources environnementales qui sont limitées. Il illustre donc un accroissement de population idéale où les ressources du milieu sont considérées inépuisables (Campbell *et al.*, 2007 ; Philippe *et al.*, 2009).

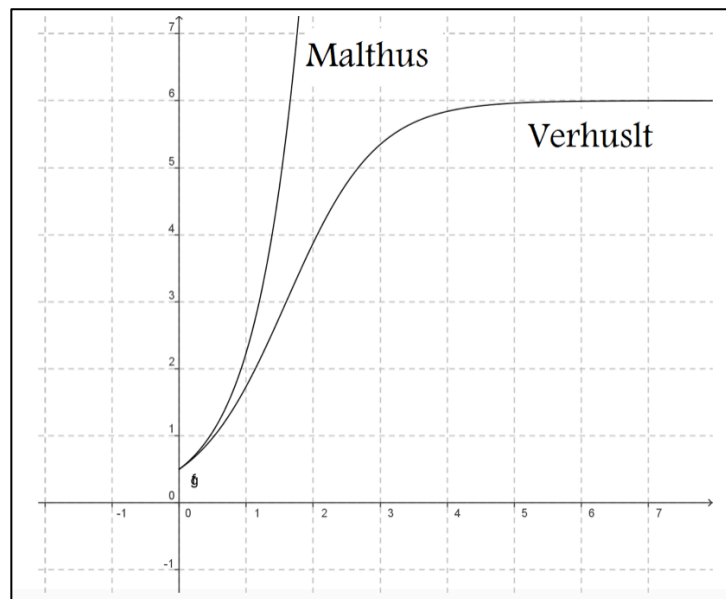
##### **5.1.2. Modèle Verhulst**

Aussi appelé « modèle logistique », le modèle de Pierre François Verhulst a vu le jour en 1838. Il s'agit d'une version perfectionnée du modèle d'accroissement démographique de Malthus. En effet, celui-ci se base sur le même principe, mais en tenant compte de l'épuisement des ressources environnementales. Tant que ces limites ne sont pas atteintes, l'accroissement démographique augmente, et ce, grandement. Dans le cas inverse, lorsque les ressources sont près de l'épuisement, cette même croissance ralentit, et ce, jusqu'à son arrêt faute de ressources (Campbell *et al.*, 2007 ; Philippe *et al.*, 2009).

##### **5.1.3. Modèle appliqué pour notre expérience**

Le modèle logistique de Verhulst (1838) a été utilisé pour modéliser l'évolution de la concentration de biomasse expérimentale dans les photobioréacteurs. Ce qui différencie les deux modèles présentés précédemment est observable au niveau des contraintes. Celui de Verhulst, qui est beaucoup plus réaliste, considère les ressources environnementales comme épuisables tandis que celui de Malthus n'en tient pas compte (Figure 20). Il s'agit de l'élément

le plus distinctif observable chez ces deux modèles (Campbell *et al.*, 2007 ; Philippe *et al.*, 2009).



**Figure 20.** Comparaison entre les deux modèles Malthus et Verhulst (Campbell *et al.*, 2007 ; Philippe *et al.*, 2009).

En effet, le modèle de Verhulst est une équation indépendante du substrat et peut décrire avec précision la croissance de la biomasse dans les différentes conditions de culture. Selon Ruiz *et al.* (2012), l'équation suivante permettra de prédire la cinétique de croissance à partir des résultats expérimentaux (Benzidane *et al.*, 2023):

$$X = \frac{X_0 X_m e^{\mu t}}{X_m - X_0 + X_0 e^{\mu t}}$$

- X : concentration de biomasse (mg MES.L<sup>-1</sup>) à un temps de fonctionnement « t ».
- X<sub>m</sub>: concentration de biomasse maximale (mg MES.L<sup>-1</sup>)
- X<sub>0</sub>: concentration de biomasse à t<sub>0</sub> (mg MES.L<sup>-1</sup>)
- μ : taux de croissance spécifique maximal (J<sup>-1</sup>).

## 5.2. Détermination du temps de dédoublement cellulaire

Le temps de dédoublement des souches (TD) (J) a été calculé par l'équation proposé dans les travaux de Madkour *et al.*,(2012) :

$$TD = \frac{\ln 2}{\mu}$$

- $\mu$  : taux de croissance spécifique maximal ( $J^{-1}$ ).

### 5.3. Détermination de la productivité volumique

La productivité volumétrique (PV) est un paramètre important à considérer dans la technologie de culture de microalgues, car elle montre la capacité d'un réacteur à produire de la biomasse dans des conditions de fonctionnement spécifiques et est défini comme la biomasse produite par volume de réacteur et par unité de temps. La productivité volumétrique du réacteur a été calculée comme suit (Ruiz *et al.*, 2012) :

$$PV = \frac{\mu (0,9X_m - 1,1X_0)}{\ln\left(\frac{0,9X_m - 1,1X_0}{1,1X_0}\right)}$$

## 6. Suivre de la croissance

### 6.1. Calibration des souches étudiées

Des dilutions de 10%, 25%, 50%, 75% et 100% ont été préparé et des mesures d'absorbance, de solide en suspension, et de pigments ont été effectué pour chaque dilution. A l'aide des résultats obtenu, les courbes de calibration (Annexe 2) suivante ont été tracé avec Excel :

- Matière en suspension en fonction de l'absorbance
- Taux de chlorophylle **a** en fonction de l'absorbance
- Taux de carotenoide en fonction de l'absorbance

### 6.2. Mesure de l'absorbance

La biomasse de microalgues a été déterminée par densité optique à 680 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV (vis Jenway 6715). Nous avons suivi quotidiennement et à la même heure l'absorbance de la souche pendant 15 jours. Les échantillons ayant une biomasse élevée ont été dilués selon des rapports appropriés pour s'assurer que les valeurs d'absorbance soient comprises entre 0,4 et 1,0.



### 6.3. Détermination de la matière en suspension

Le taux de matière en suspension est réalisé selon la méthode standard 2540-E (APHA-AWWA-WPCF, 1992). Un volume de 5 ml a été prélevé de la culture et filtré à l'aide des filtres qui ont été pesés avant. Les filtres ont été placés dans un plateau et mis dans l'étuve à une température égale à 90°C pendant 24 heures. Après 24 heures les filtres ont été mis dans un dessiccateur pendant 24 h . Ensuite , les échantillons sont pesés à l'aide d'une balance de précision (KERN AES) (Figure 21).

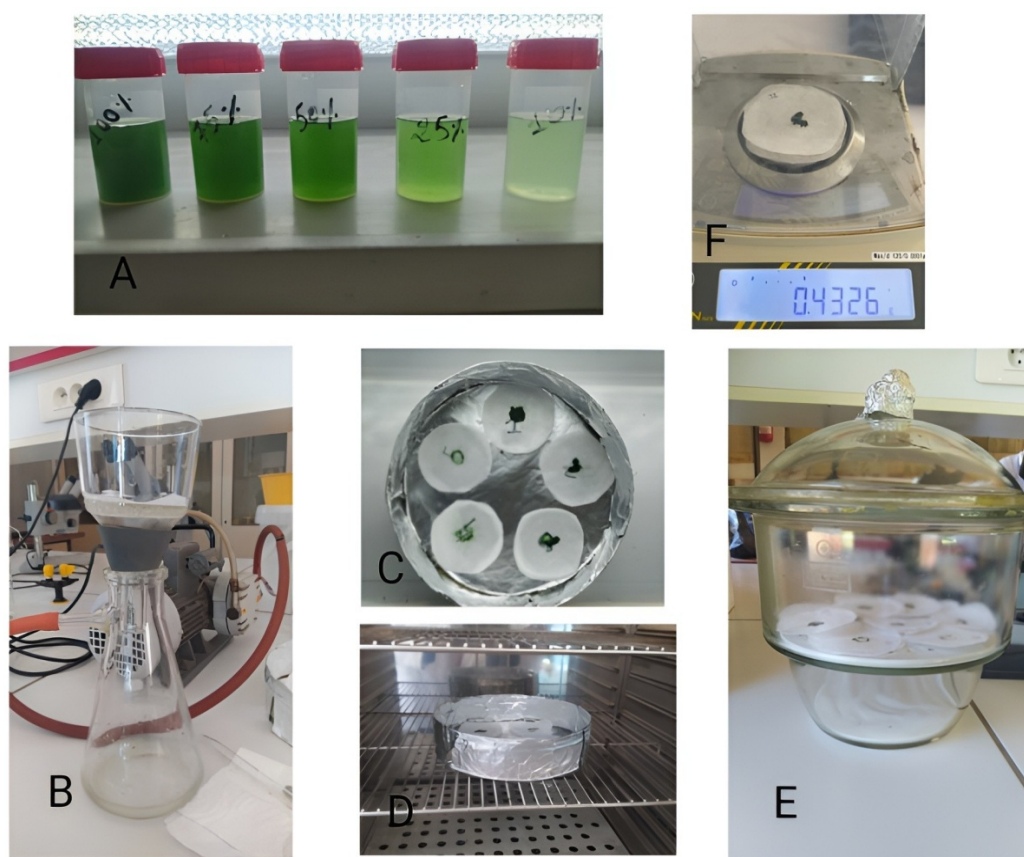


Figure 21. Les étapes de la détermination de la MES.

### 6.4. Détermination de la concentration des pigments

Le contenu en pigments est déterminé par une méthode spectrophotométrique. Ainsi, un volume noté V1 de la culture est placé dans un tube. Ensuite on ajoute un volume V2 d'éthanol. Ces derniers sont laissés pendant 2 heures à une température ambiante et à l'obscurité pour permettre une bonne réaction. Par la suite, les débris cellulaires sont précipités et séparés par centrifugation (SIGMA) (Figure 22) pendant 10 min à 1000 rpm ; la couleur blanche du culot est un moyen de vérification que l'extraction est complète.

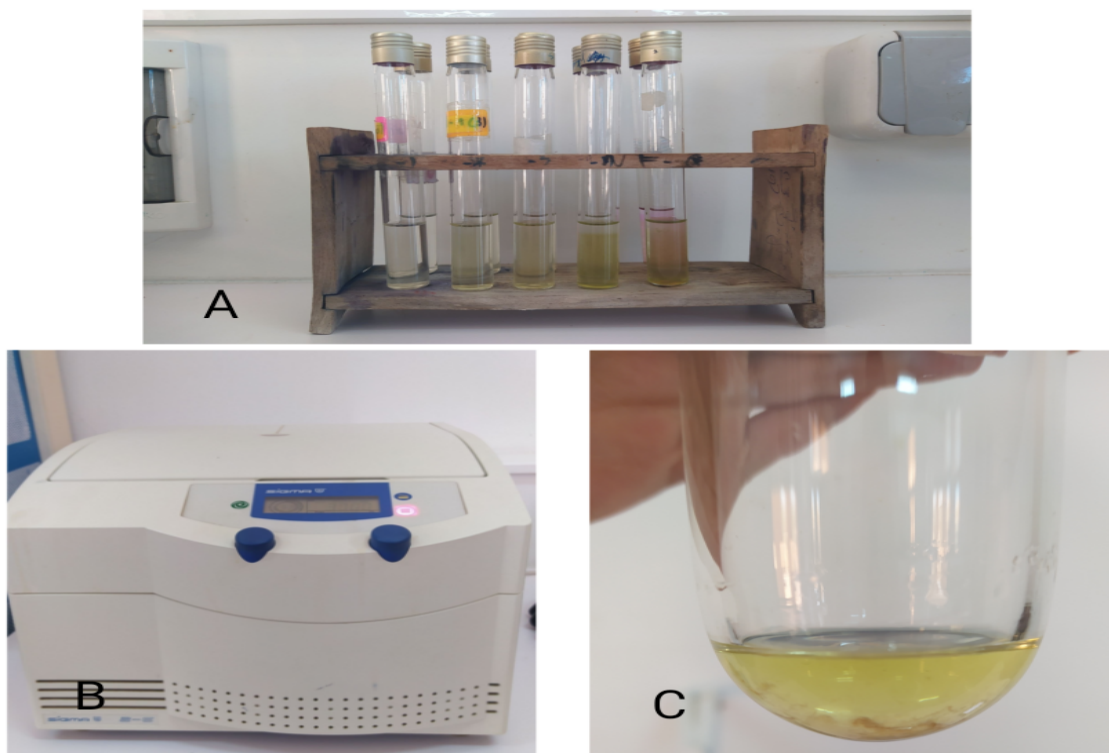
L'absorbance du surnageant contenant les pigments dissous dans l'éthanol est mesurée à différentes longueurs d'onde (480, 652 et 665nm). Trois réplicas sont préparés.

Les valeurs moyennes de ces absorbances notées A480, A652, et A665 sont finalement utilisées pour calculer les concentrations de la chlorophylle-a et les caroténoïdes de protection (PPC pour Photo Protective Carotenoides) via les équations de (Ritchie, 2006) pour les chlorophylles-a et de (Strickland and Parsons, 1968) pour les caroténoïdes. La teneur en pigments en microgramme de pigments par millilitres peut être calculée comme suite :

$$[\text{Chl-a}] (\mu\text{g/ml}) = [-8.0962 * A_{652} + 16.5169 * A_{665}] * V_2 L^{-1} V_1^{-1}$$

$$[\text{Carotenoids}] (\mu\text{g/ml}) = [4.0 * A_{480}] * V_2 L^{-1} V_1^{-1}$$

Avec L<sup>-1</sup> la profondeur optique de la cuve exprimée en cm.



**Figure 22.** Détermination de la composition des pigments.

## 7. Récolte de la biomasse

Afin de récupérer la biomasse, nous avons utilisé un dispositif de filtration sous vide comme montré dans la figure 23. La filtration sur BÜCHNER ou verre fritté permet de séparer un solide d'un liquide. On peut récupérer l'un ou l'autre, voire les deux selon les besoins (Fuxa *et al.*,

1996). Elle intervient en générale en fin de synthèse et peut s'accompagner de lavages dans le cas où l'on souhaite récupérer un solide pur. Nous séchons la biomasse filtrée à température ambiante sous le soleil et le stockage est effectué dans des boites de Pétri à l'abri de l'humidité.



**Figure 23.** Dispositif de filtration à vide

### **8. Les Analyse effectuées**

Nous avons effectué des analyses biochimiques (Lipides, Protienes, Glucides, Humidité et Cendre) de la biomasse de spiruline et des bonbons gelifiés a base de spiruline.

#### **8.1.Les lipides**

##### **➤ Le principe**

Nous avons choisi la méthode de Soxhlet (Schafer,1998) pour faire l'extraction et la quantification des lipides. L'appareil de Soxhlet est qualifié d'extracteur car il est utilisé pour la réalisation d'extractions solide liquide, lors desquelles une molécule d'intérêt présente dans un solide est extraite par un solvant. Les échantillons en poudre sont placés dans la cartouche et du solvant constamment distillé assurant la solubilisation et le passage des molécules recherchées dans le ballon inférieur.

➤ **Mode opératoire**

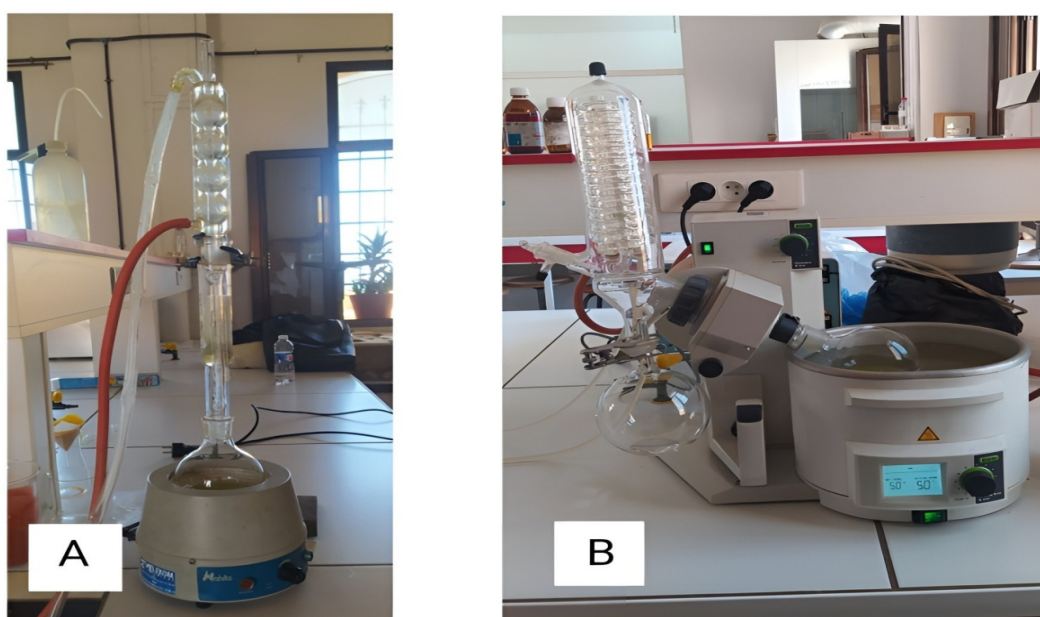
2 g d'échantillon a été pesé, l'échantillon a été mis dans une cartouche cellulosique. Le ballon vide a été pesé à l'aide d'une balance électronique (KERN KB), puis 100 ml d'hexane ont été mis dans le ballon. L'appareil Soxhlet est composé d'un chauffe ballon qui le ballon contenant le solvant et les lipides est placé dans le Rota-vapeur, l'appareil composé de bain-marie (35°C jusqu'à 50°C) qui permet l'évaporation du solvant (Figure 24). Après évaporation totale du solvant, le ballon contenant les lipides a été pesé. La teneur en lipides est exprimée en pourcentage :

$$L\%=(Mf-Mi)\times 100/P$$

**P** : poids de l'échantillon .

**Mi** : poids de ballon vide.

**Mf** : poi de ballon avec les lipide.



**Figure 24.** Appareil Soxhlet (A) et rotavapeur (B)

## 8.2. Les protéines

➤ **Principe**

Nous avons choisi la méthode de Biuret (Gornall et *al.*, 1949) pour faire le dosage des protéines. En milieu alcalin, à froid, les ions cuivriques ( $Cu^{2+}$ ) forment avec les liaisons peptidiques un complexe de coordination coloré en rose, qui ajouté à la teinte bleue du réactif

donne finalement une coloration pourpre (bleu-violet). Cette réaction est positive dès que la molécule possède 3 à 4 liaisons peptidiques, elle est donc utilisable pour les protéines et les polypeptides. La mesure de l'absorbance se fait à 540 nm après avoir laissé la coloration se développer 30 min. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la concentration des protéines.

### ➤ Mode opératoire

La solution inconnue en protéines a été préparée : on met 4g de l'échantillon dans 1L d'eau physiologique. Une gamme étalon d'ovalbumine a été préparée : à partir de la solution d'ovalbumine à 10 mg/ml, on réalise une gamme étalon de 6 tubes contenant de 2 à 10 mg d'ovalbumine par tube (Annexe 2), en plus de 2 tubes expérimentaux qui contiennent un volume de la solution inconnue préparé précédemment. Une quantité précise d'eau physiologique et 4 ml du réactif de Biuret ont été ajoutés dans chaque tube à essai. Les tubes ont été mis à l'obscurité à température ambiante pendant 10 min (Figure 25). Ensuite, nous avons lu l'absorbance de chaque tube à 540 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV (vis Jenway 6715).



**Figure 25.** La coloration des tubes due au réactif de Biuret.

### 8.3.Glucides

#### ➤ Principe

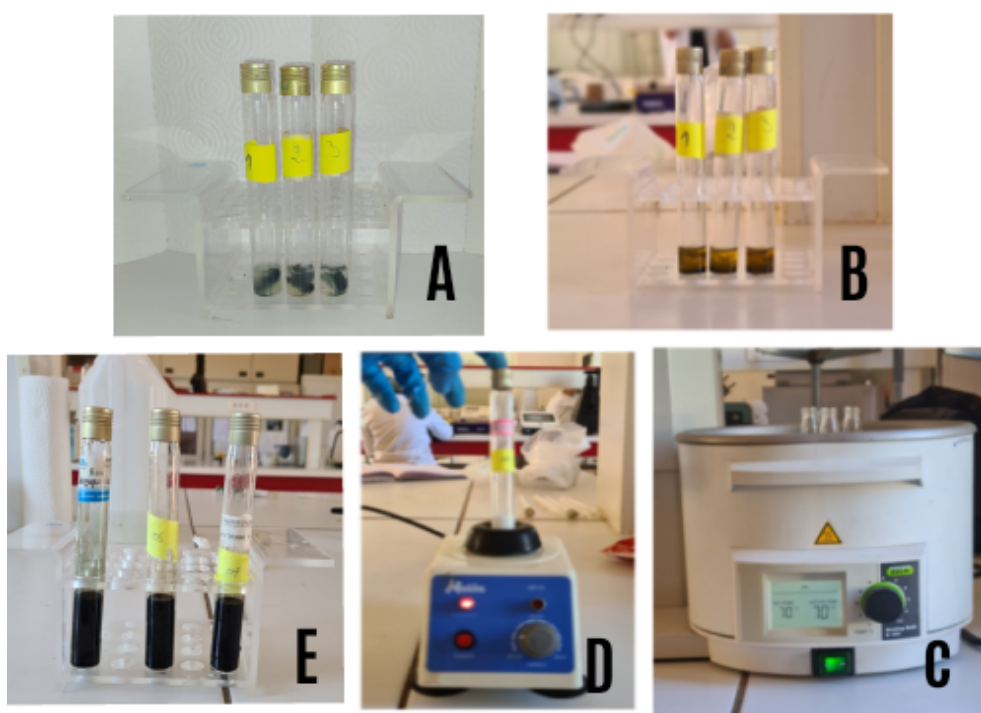
Nous avons procédé à un dosage des glucides selon la méthode de DUBOIS *et al.*, (1956). Sous l'action d'acides minéraux concentrés et à chaud, les hexoses et pentoses du milieu subissent une déshydratation interne poussée, suivie d'une cyclisation aboutissant à la formation de dérivés du furfural et 5-hydroxyméthylfurfural, réagissant avec le phénol. La

formation d'un complexe jaune-rouge permet de suivre la concentration en sucres totaux de l'échantillon en lisant l'absorbance à 490 nm.

➤ **Mode opératoire**

Mettre 1 g de l'échantillon dans des tubes à essai puis ajouter 2 ml d'éthanol à 80 %. Les tubes sont incubés pendant 48h dans un bain marie à 70°C (pour évaporer la totalité de l'alcool). Après refroidissement, 20 ml d'eau distillée est ajoutée à chaque tube. 2 ml de la solution précédente est prélevé et on ajoute 1ml de phénol à 5 %. Le mélange est bien agité avant d'ajouter 5 ml d'acide sulfurique concentré. Les tubes sont placés dans un bain marie pendant 10 min, puis, une lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 490 nm a été effectuée (Figure 26). Le calcul se fait à partir de la gamme d'étalonnage en mg/L :

$$Y = 59,876 X (\text{Abs } 490), R^2=0.9887$$



**Figure 26.** Les étapes de dosage des glucides

**8.4. Détermination du taux d'humidité**

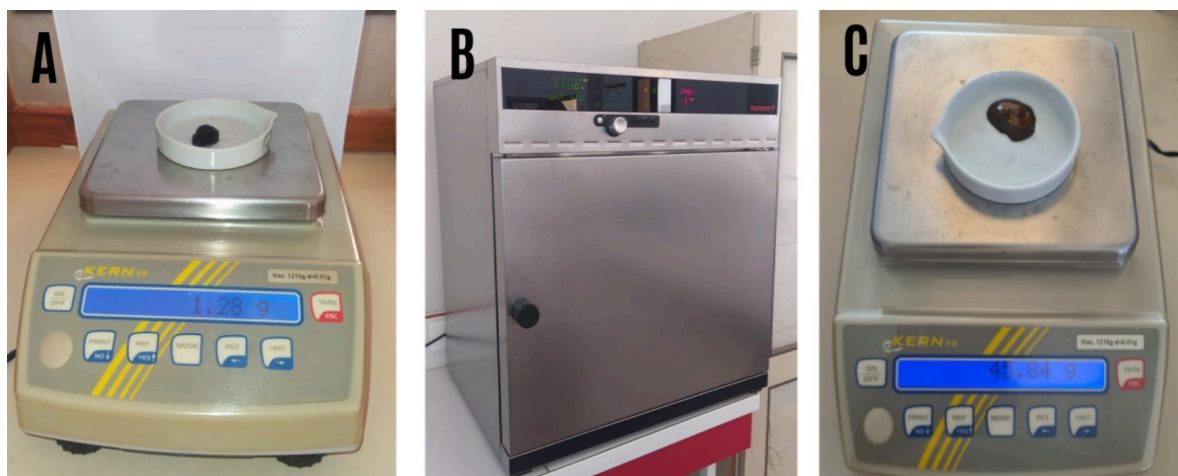
On place 1 g d'échantillon dans un creusé déjà pesé et on met le tous dans l'étuve réglée à 105°C. Après 24 h de séchage, on pèse le creusé pour déterminer le taux d'eau évaporé de l'échantillon (Figure 27). La teneur en eau (%) de l'échantillon est donnée par la formule suivante :

$$\text{L'humidité} = \frac{P_i - (P_s - P_d)}{P_i} \times 100$$

**P<sub>i</sub>** : poids humide d'échantillon

**P<sub>s</sub>** : poids sec d'échantillon

**P<sub>d</sub>** : poids de creusé vide

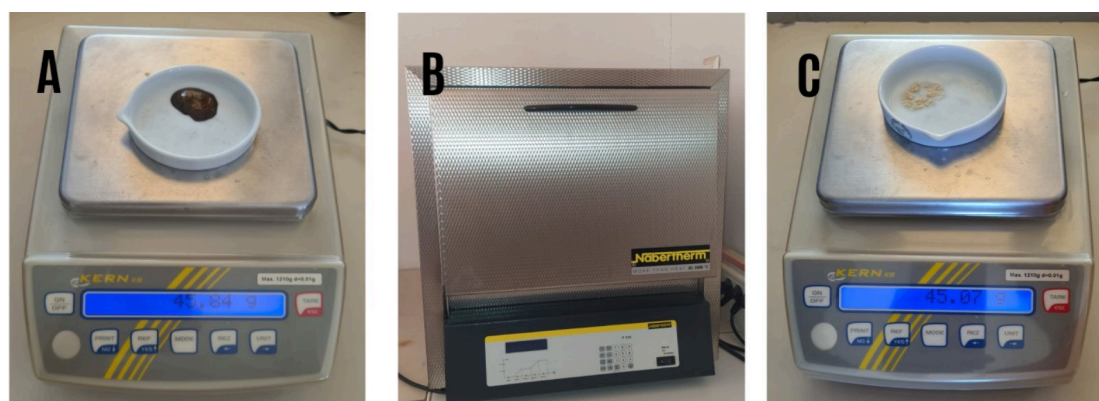


**Figure 27.** Les étapes de détermination de taux d'humidité

### 8.5. Détermination du taux de cendre

A partir de l'échantillon sec on peut faire la détermination de matière organique (Cendre). Dans un four à moufle on place l'échantillon sec pendant 3h à une température de 550°C. Enfin on place le creusé dans un dissecteur pendant 24 h ensuite on détermine le poids de l'échantillon (Figure 28). La teneur de matière organique est donnée par la formule suivante :

$$\text{La matière organique} = \text{le poids avant le séchage} - \text{le poids après le séchage}$$



**Figure 28.** Les étapes de détermination du taux de la matière organique.

## 9. Fabrication des bonbons

### 9.1. Pesé des ingrédients

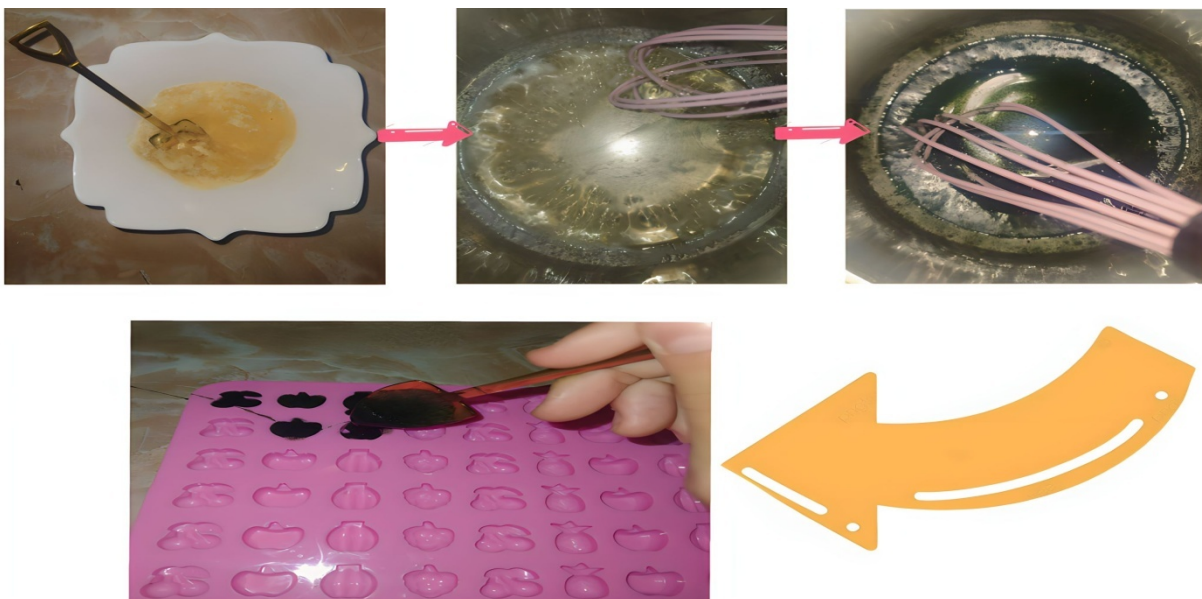
A l'aide d'une balance électronique, tous les ingrédients doivent être soigneusement pesés afin d'obtenir un résultat satisfaisant (Tableau 8).

**Tableau 8.** Le pourcentage de chaque ingrédient.

Les ingrédients	Pourcentage
L'eau potable	33%
Jus de citron	30%
Gélatine	08%
Sucre	25%
Spiruline poudre	04%

### 9.2. Cuisson

Dans un petit bol mettre la gélatine avec un peu d'eau et laisser reposer quelques minutes. Pendant ce temps, les quantités des ingrédients (eau, jus de citron et sucre) ont été mélangées dans une casserole et mises à feu moyen, nous mélangeons, puis nous ajoutons la quantité de gélatine en continuant à mélanger pendant 5 minutes (Figure 29).



**La Figure 29.** Les étapes de préparation des bonbons gélifiés.



Après cinq minutes, la casserole a été retiré du feu afin de réduire la température. Lorsqu'on atteint une température appropriée la spiruline est ajoutée, le mélange obtenu est vidé dans un moule en silicone (en forme de petit fruit) et placé au réfrigérateur pendant 2 h.

### *9.3. Démoulage*

Elle consiste à démouler les bonbons et à les conserver dans des boîtes appropriées. La forme des bonbons est sous forme de fruit comme le montre la figure 30.



**Figure 30.** Aspect des bonbons gélifiés à base de spiruline.

## **10. Emballage et étiquetage**

Nous avons nommé notre produit « SPIRUBON ». Le logo que nous avons choisi pour notre marque et l'emballage du produit fini sont montré sur la figure 31.



**Figure 31.** Logo de la marque « SPIRUBON » et emballage du produit.

## 11. Questionnaire

Ce questionnaire est effectué dans le but de recueillir des feedbacks sur notre suppléments alimentaires à base de spiruline (bonbons gélifiés). Un nombre de 125 personnes ont été questionné et des statistiques ont été effectués. Nous avons préparé un questionnaire composé de 14 questions (Annexe 3). Les aspects que nous avons abordés sont les suivants :

- Identification des jurys
- État des connaissances sur la spiruline
- Qualité sensorielle des bonbons
- Évaluation de l'emballage utilisé
- Propositions et suggestions pour l'amélioration du produit.

## 12. Analyses statistiques des résultats

Les statistiques descriptives ont été utilisées pour décrire l'ensemble des résultats. Le programme « Solver » de Microsoft Excel 2019 a été utilisé pour ajuster les données du modèle de croissance des microalgues étudiées

# CHAPITRE III

## *Résultats et Discussion*

## 1. Cinétique de croissance

Les données expérimentales ont été traitées au moyen du modèle de Verhulst (1838) qui décrit l'accroissement de la population en fonction du temps. La courbe graphique représente la croissance de l'espèce *Arthrospira platensis* en fonction du temps (des heures) (Figure 32).

On remarque que la courbe de cinétique de croissance d'*Arthrospira platensis* cultivé en photobioréacteur, est divisée en trois phases en commençant d'abord par la première phase qui est la phase d'accélération qui a duré 1 jour et on n'a pas une phase de latence parce que la souche était déjà adaptée au milieu par les repiquages effectués précédemment. On retrouve ensuite la deuxième phase qui est la phase de croissance exponentielle qui a duré 9 jours, et en fin la dernière phase qui est la phase stationnaire et qui a débuté à partir du 11<sup>ème</sup> Jour. Cette phase est atteinte par l'arrêt de la croissance en raison de la forte concentration cellulaire qui bloque le passage de la lumière. Cette dernière est considérée comme facteur limitant la croissance d'*Arthrospira platensis* causant ainsi l'arrêt de la photosynthèse et donc de la croissance (Richmond, 2004 ; Benzidane, 2021).

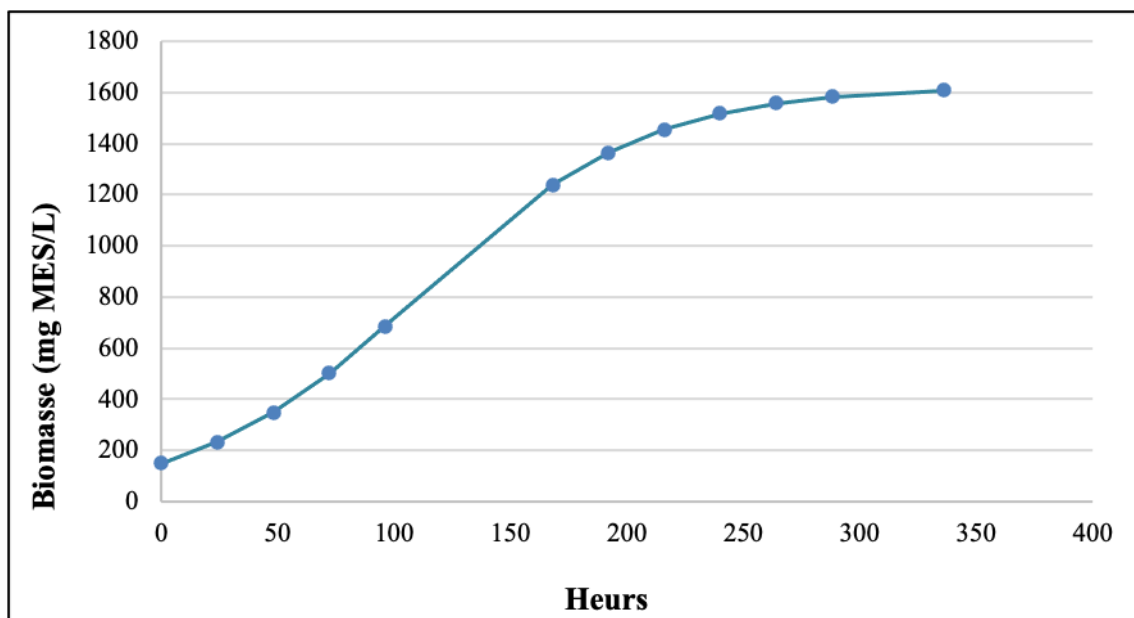


Figure 32. Cinétique de croissance d'*Arthrospira platensis* cultivé en photobioréacteur.

## 2. Paramètres de croissance

Le tableau 9 représente les valeurs des paramètres de croissance obtenues par le modèle de Verhulst (1838). On observe que la concentration de la biomasse maximale ( $X_m$ ) est égale 994,99 mg MES/L et la productivité volumique (PV) est égale à 146,02 mg MES/L/J. Comparais au résultats obtenu par Benzidane (2021) (PV= 149,4 mg MES/L/J) on remarque que nos valeurs de productivité volumique sont pratiquement les même. Par contre la concentration de la biomasse maximale que nous avons obtenu est moins importante. En effet, les Benzidane (2021) a obtenu un  $X_m$  égale à 2463,46 mg MES/L.

En ce qui concerne le taux de croissance spécifique ( $0,02 \text{ J}^{-1}$ ) et le temps de dédoublement (34,65 J) on constate que nos résultats sont meilleurs que ceux rapporté par Benzidane (2021). Cette différence est dû aux conditions de culture qui ne sont pas les même. Comme l'a démontré Devasya (2017), divers facteurs environnementaux (source de lumière et de carbone chez les autotrophes) et la concentration d'éléments nutritifs dans le milieu de croissance étaient responsables de la régulation du taux de reproduction cellulaire et donc du taux de croissance spécifique.

**Tableau 9.** Paramètres de croissance de *Arthrospira platensis*.

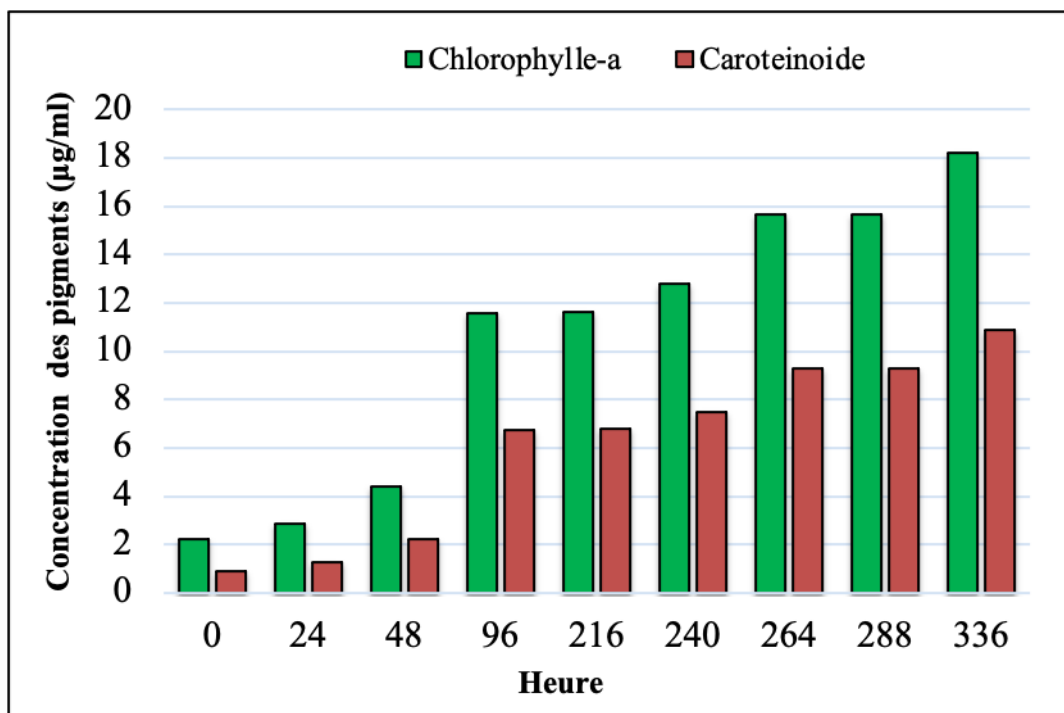
Paramètres	Valeurs
Concentration de biomasse maximale ( $X_m$ ) (mg MES/L)	994,99
Taux de croissance spécifique ( $\mu$ ) ( $\text{J}^{-1}$ )	0,02
Temps de dédoublement TD (J)	34,65
$R^2$	0,95
Productivité volumique (PV) (mg MES/L/J)	146,02

## 3. Suivre de la teneur en pigment

La Figure 33 représente l'évolution de la concentration des pigments (chlorophylle-**a** et caroténoïde) pendant 14 jours d'expériences. La teneur quotidienne en pigments (Chlorophylle-**a** et Caroténoïde) augmente progressivement avec la croissance des cellules de *A. platensis*.

On remarque qu'à la fin de l'expérience la concentration des pigments a atteint des concentrations de chlorophylle-**a** de 18  $\mu\text{g/ml}$  et de caroténoïdes de 11  $\mu\text{g/ml}$ . Le taux de

pigments peut différer selon le mode de fabrication de la spiruline, le séchage l'intensité de la lumière ou même la qualité de l'eau utilisée ainsi que la composition du milieu (Akbarnezhad *et al.*, 2020). Nos résultats de chlorophylle-**a** sont meilleurs que ceux obtenus par Akbarnezhad *et al.*, (2020) et Sepideh *et al.*, (2022). Des teneurs plus importantes en caroténoïde ont été obtenu par M'baye *et al.* (2011) (valeurs comprise entre 5,43 et 8,93 mg/g). Nos résultats montrent clairement que la concentration en chlorophylle-**a** est plus élevée que la concentration en caroténoïde. En effet la spiruline est plus riche en chlorophylle-**a** qu'en caroténoïdes (Akbarnezhad *et al.*, 2020).



**Figure 33.** Suivre de la teneur quotidienne en pigments (Chlorophylle-**a** et Caroténoïde)

#### 4. Analyses biochimiques de la biomasse et des bonbons fabriqués

Selon le tableau 10 les valeurs de protéines obtenues par la méthode de Biuret (1949) dans la biomasse de *A. platensis* sont de  $65 \pm 3,1$  %. Nos résultats sont similaires à ceux obtenus par Lafri (2018) avec des teneurs de 60 % de poids sec. Cette teneur importante en protéines est probablement dû à la forte intensité lumineuse utilisé pour la culture d'*A. platensis* et à la richesse du milieu de culture en nutriments. En effet, plus la luminosité est élevée, plus la teneur en protéines elle représente 60 à 70 % de poids sec. Ce pourcentage est nettement supérieur à celui du poisson (20%), du soja (40%), de la viande (25%), du lait (5%) et de l'œuf (15%) (Toudert *et al.*, 2020).

Le résultat de M'baye *et al.* (2011) est plus intéressant que notre résultat. En effet, ils ont pu obtenir une teneur en protéines comprise entre 51 % et 85,5 % du poids sec. D'après nos résultats le bonbon gélifié est également riche en protéines avec des teneurs de 50,3 % de poids sec.

La spiruline est considérée comme une microalgue pauvre en lipide. En effet, la teneur de lipides trouvée dans la biomasse de *A. platensis* est égale à  $5 \pm 6,7$  % du poids sec (Tableau 10). Cette teneur est moins importante que celle retrouvée par Lafri (2018) avec une valeur de 7,28 % du poids sec et celle de Benzidane (2021) avec des teneurs de 7 % du poids sec. Cette différence est probablement due à la différence de souche utilisée et aux conditions de cultures suivies. La matière grasse dans le bonbon gélifié produit à partir de spiruline est de  $12 \pm 1,2$  %. Nous avons comparé notre résultat avec le produit SpiruNours et nous avons constaté que ce produit est composé de 0,1g de lipide.

**Tableau 10.** Composition biochimique de la biomasse et des bonbons de *A. platensis*.

	<i>Arthrospira platensis</i>	Bonbon gélifié
<b>Protéines (%)</b>	$65 \pm 3,1$	$50,3 \pm 5,7$
<b>Lipide (%)</b>	$5,5 \pm 6,7$	$12 \pm 1,2$
<b>Glucide (%)</b>	/	$10,67 \pm 1,1$
<b>Humidité (%)</b>	$8,55 \pm 1,5$	$27,5 \pm 5,5$
<b>Cendre (%)</b>	$8 \pm 0,9$	$7,7 \pm 1,6$

La teneur des glucides de notre bonbon à base de spiruline est de 10,67 % (Tableau 10). Cette valeur est inférieure comparée avec le produit SpiruNours qui contient une teneur en glucide de 85 % du poids sec.

Le taux d'humidité qui représente la teneur en eau contenue dans la spiruline et mesurée en pourcentage d'eau par rapport à son poids sec. Nous avons observé un taux d'humidité de  $8,55 \pm 1,5$  % dans la biomasse de *A. platensis*. Des résultats comparables ont été constatés par M'baye *et al.* (2011) avec des teneurs comprises entre 5,1 et 9,6 % du poids sec. Cependant, des valeurs moins importantes ont été obtenues par Lafri (2018) ( $5,42 \pm 0,031$  % du poids sec). Nous avons observé un taux d'humidité dans le bonbon gélifié de  $27,5 \pm 5,5$  % du poids sec. On a

comparé avec un produit (Loukoum à base de gélatine) est la valeur est de 17,82 % du poids sec.

Nous avons remarqué que le taux de cendre dans la biomasse de *Arthrospira platensis* est de  $8 \pm 0,9$  % du poids sec (Tableau 10). Ce résultat montre que notre souche a une valeur de cendre plus importante comparais aux résultats du travail de Lafri (2018) qui a obtenu une teneur de  $6,88 \pm 0,05$  % du poids sec. Des valeurs supérieures ont été obtenu par M'baye *et al.* (2011) (Valeurs comprise entre 7,1 % et 10,2 % du poids sec). Le taux de cendre des bonbons gélifié à base de spiruline est de  $7,7 \pm 1,6$  % du poids sec.

## 5. Résultat du questionnaire

### 5.1. Sexe et tranches d'âge des personnes questionnées

Les figures 34A et 34B représentent le sexe et les tranches d'âge des personnes questionnées. Nos résultats montrent que le questionnaire était rempli par 56 % de femmes et 44 % d'hommes (Figure 34A).

Selon la Figure 34B nous avons constaté que la tranche la plus questionné c'est de 18 ans à 24 ans avec un pourcentage de 32 %. Et la tranche d'âge la moins questionné c'est la tranche de 55 ans et plus avec une valeur de 4 %. Les autres tranches de 25 à 34 ans, de 35 à 44 ans et de 45 à 54 ans sont de 19 %, 7 % et 10 % respectivement.

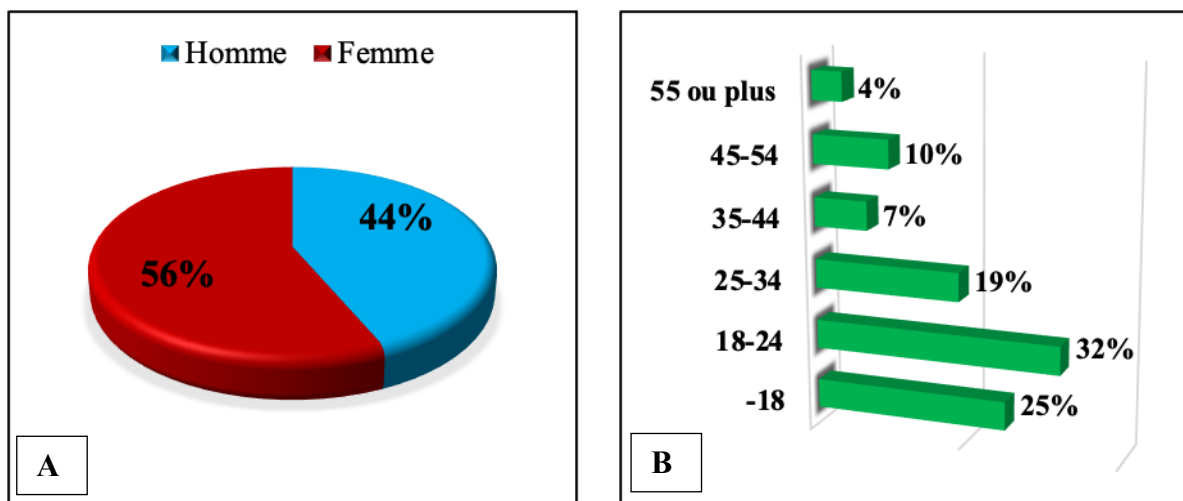


Figure 34. Sexe (A) et tranches d'âge (B) des personnes questionnées

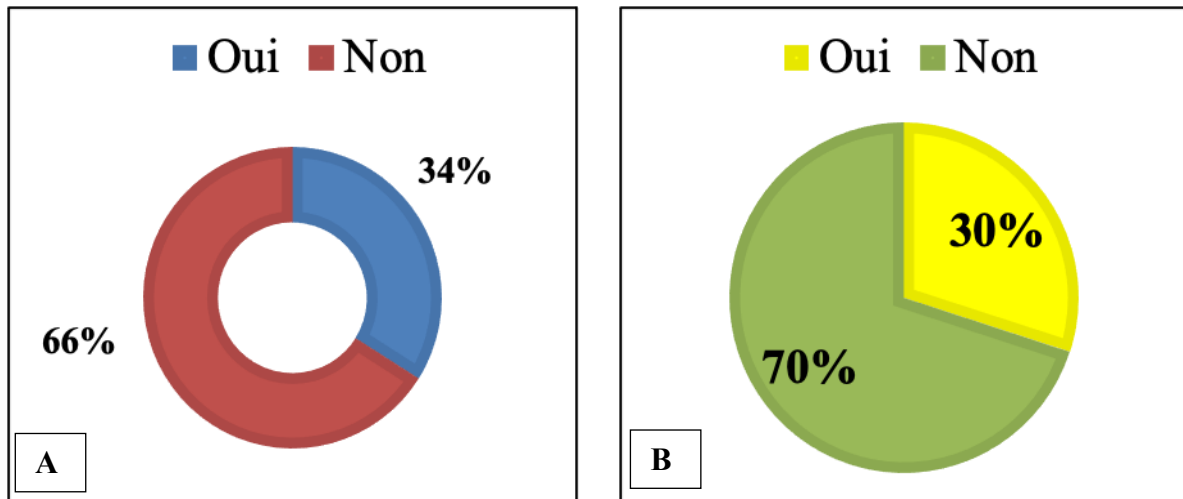
### 5.2. État des connaissances sur la spiruline

Les figures 35A et 35B présentent la réponse que nous avons obtenue des connaissances



des personnes questionnés sur la spiruline. Nous avons observé que la majorité des clients potentiels donc 66 % ne connaissent pas la spiruline et un pourcentage de 34 % en ont déjà entendu parler (Figure 35A).

A partir de notre questionnaire (Figure 35B) on a constaté que parmi les personnes qui connaissent la spiruline, la majorité (70 %) ne savent pas qu'elle est considérée comme un complément alimentaire alors que les 30 % restante sont bien informé sur le produit.



**Figure 35.** Réponses aux questions : Est-ce-que vous connaissez la spiruline ? (A) et Savez-vous que la spiruline est un complément alimentaire ? (B)

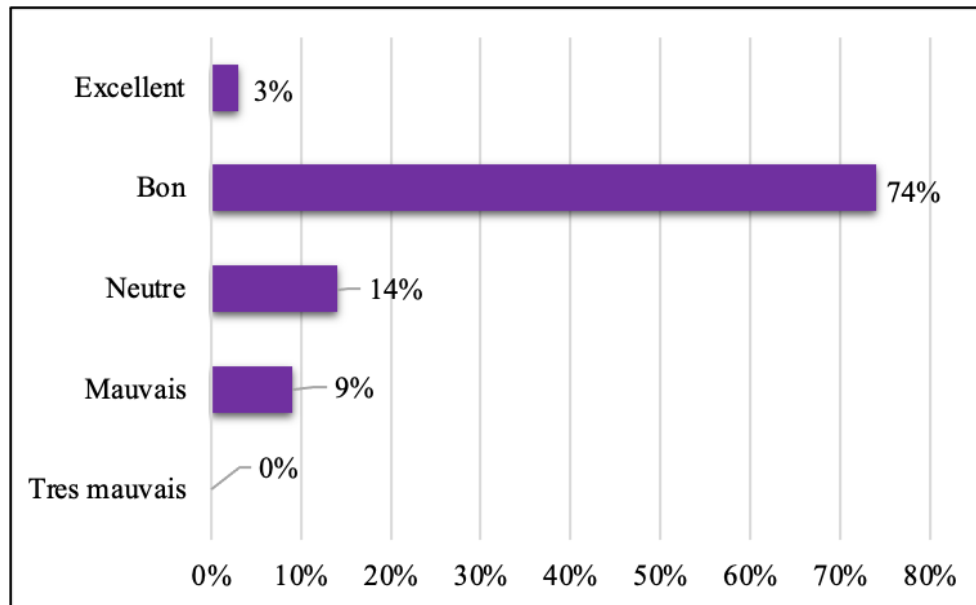
### 5.3. Qualité sensorielle des bonbons

Le tableau 11 représente les réponses que nous avons obtenues par notre questionnaire à la question « Est-ce que vous avez déjà goûté la spiruline ? ». On note que la majorité des (36 %) n'ont jamais goûtés de spiruline auparavant, 16 % d'entre eux veulent goûter pour savoir s'ils aimeront ou pas, et enfin 21 % y ont déjà goûtés avant nos bonbons.

**Tableau 11.** Réponse la question : Est-ce que vous avez déjà goûté la spiruline ?

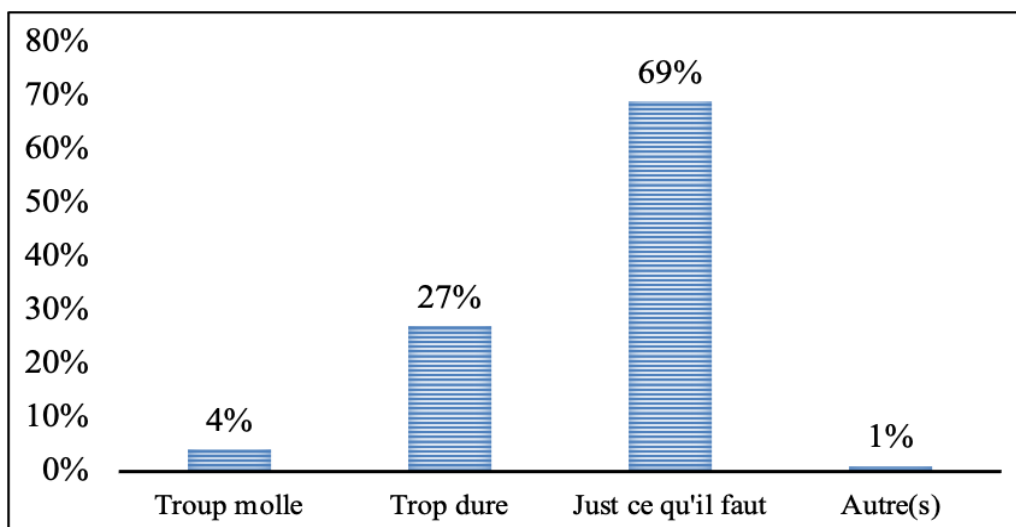
Réponse	Statistiques
Oui	21 %
Non	36 %
Non, mais j'aimerais bien goûter	16 %

Ce graphe (Figure 36) présente les réponses que nous avons obtenues sur la qualité sensorielle des bonbons de spiruline. On a observé que la majorité (74 %) ont évalué le goût comme bon, 3 % comme excellent, 14 % sont neutre et seulement 9 % ont évalué le goût comme mauvais. Ce résultat est très satisfaisant pour l'avenir de notre produit.



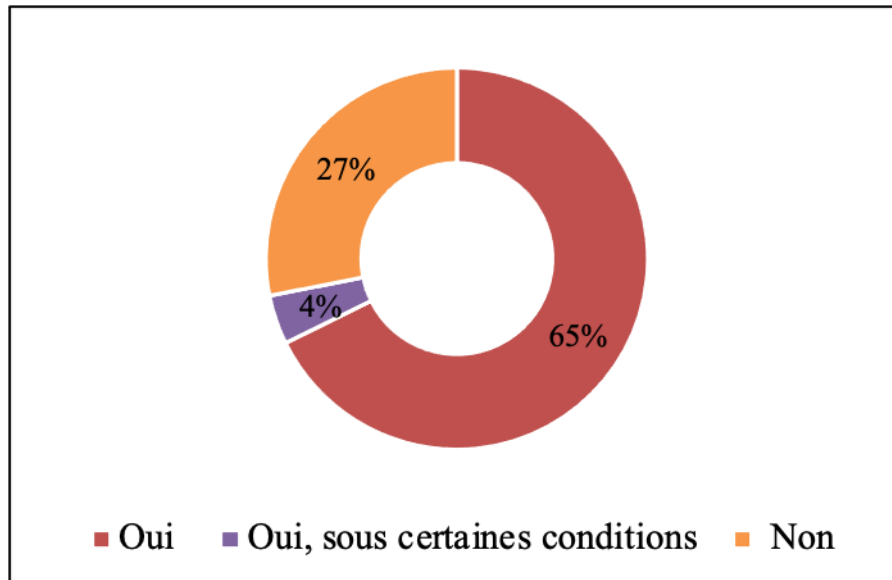
**Figure 36.** Évaluation du goût des bonbons à base de spiruline

La figure 37 illustre les réponses de l'évaluation de la texture de notre bonbon. Nos résultats montrent que la majorité qui représente 69 % ont aimé la texture, 27 % ont évalués la texture comme trop dure, 4 % l'ont trouvé trop molle et le reste (1 %) n'avais pas d'opinion sur le produit.



**Figure 37.** Évaluation de la texture des bonbons à base de spiruline.

Le cercle relatif figuré dans la figure 38 montre les réponses des personnes questionnées sur la question « Recommanderiez-vous nos bonbons à base de spiruline à votre entourage ? ». Nous avons remarqué que 65 % de leurs réponses étaient positives « oui » et 4 % ont choisi de répondre « oui mais sous certaines conditions » et le reste qui représente 27 % ont eu une réponse négatifs « non ».



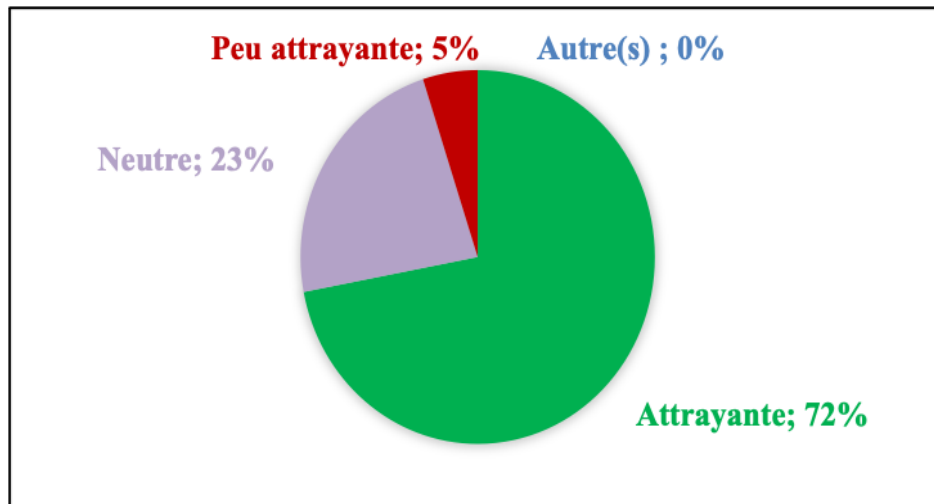
**Figure 38.** Réponse à la question : Recommanderiez-vous nos bonbons à base de spiruline à votre entourage ?

#### 5.4. Évaluation de l'apparence des bonbons et de l'emballage utilisé

Lors de l'évaluation de l'apparence des bonbons et de son attrait, les résultats (Figure 39) montrent que 5 % des personnes questionnés l'ont évalué comme peu attrayant, 23 % ont été neutre et ils n'ont pas exprimé d'opinion claire sur son attrait ou ils ont une opinion mitigée à son égard. En fin 72 % l'ont jugé comme attrayant. On constate donc que la majorité des potentiels clients le trouvent attrayant. Cela suggère que la conception et l'apparence du bonbon sont perçues de manière positive par la majorité des personnes questionnés, ce qui est encourageant.

D'autre part, bien que la majorité le trouve attrayant, il est important de noter qu'un petit pourcentage de 5 %, l'a évalué comme peu attrayant. Cela peut indiquer que certains individus n'ont pas été convaincus.

En utilisant ces résultats d'évaluation de la forme et la couleur du bonbon, cela nous permettra de mieux comprendre leurs besoins et prendre des mesures pour améliorer l'aspect afin de satisfaire d'avantage les préférences des consommateurs.



**Figure 39.** L'avis des clients potentiel sur l'apparence visuelle de nos bonbons à base de spiruline.

Les résultats de l'évaluation de l'emballage des bonbons à base de spiruline (Tableau 12) en termes d'attrait visuel montrent une répartition diversifiée des opinions parmi les gens. Leur appréciation était liée à la conception, aux couleurs, à l'esthétique ou à d'autres caractéristiques visuelles de l'emballage. Il est encourageant de constater que personne n'a évalué l'emballage comme très insatisfaisant ou insatisfaisant. Cela suggère que l'emballage a été bien perçu en termes d'attrait visuel parmi les personnes interrogées.

Environ 27 % des gens ont évalué l'emballage comme neutre. Ils n'ont donc pas exprimé d'opinion sur l'aspect visuel de l'emballage. Environ 36 % des personnes questionnées ont évalué l'emballage comme satisfaisant, ce qui indique qu'ils le trouvent dans l'ensemble acceptable en termes d'attrait visuel. 11 % ont trouvé que l'emballage a été satisfaisant. Ces derniers ont exprimé une satisfaction élevée vis-à-vis de l'aspect visuel de l'emballage.

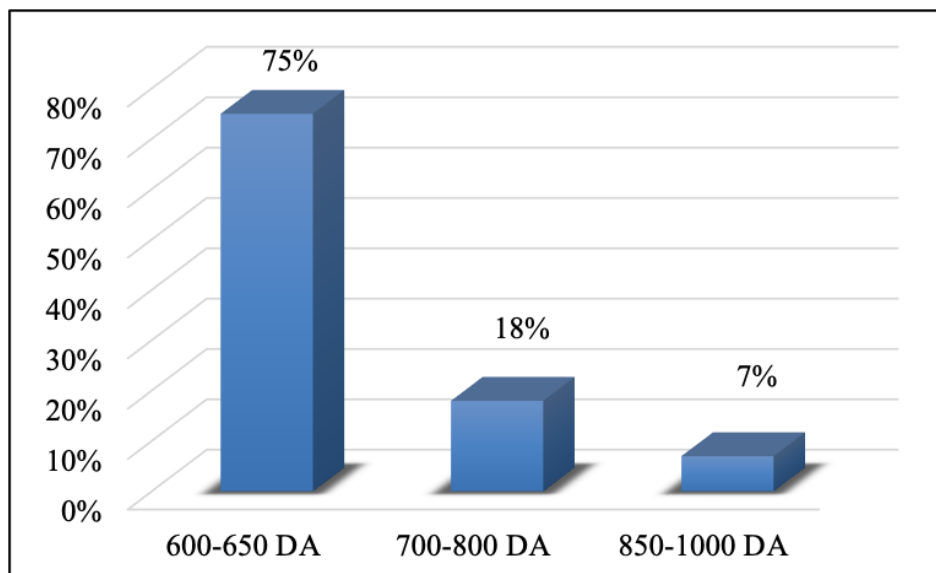
**Tableau 12.** Évaluation de l'emballage des bonbons à base de spiruline en termes d'attrait visuel.

Réponse	Statistiques
<b>Très insatisfaisant</b>	0 %
<b>Insatisfaisant</b>	0 %
<b>Neutre</b>	27 %
<b>Satisfaisant</b>	36 %
<b>Très satisfaisant</b>	11 %

### 5.5. Évaluation du prix éventuel des bonbons

Nous avons également mené une étude sur les préférences des consommateurs en matière de prix pour les bonbons. Après avoir analysé les données nous observons les résultats suivants (Figure 40) :

La majorité des consommateurs interrogés (75 %) se sont montrés disposés à payer entre 600 et 650 DA pour une boîte de bonbons à base de spiruline. Cette fourchette de prix semblait être la plus populaire parmi les répondants. Environ 18 % des consommateurs étaient prêts à dépenser entre 700 et 800 DA pour une boîte de complément alimentaire à base de spiruline.



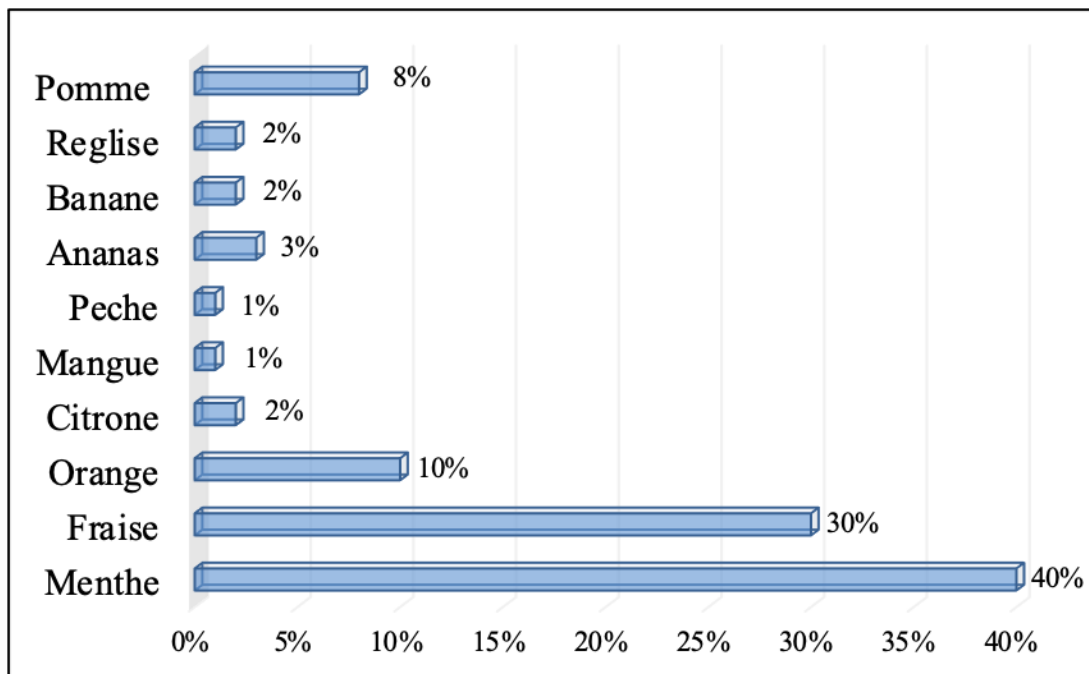
**Figure 40.** Réponse à la question : Combien êtes-vous prêt à dépenser pour une boîte de bonbon à base de spiruline ?

Une petite minorité des consommateurs (environ 7 %) étaient disposés à dépenser plus de 800-1000 DA pour une boîte de bonbons à base de spiruline mettant l'accent sur le fait que c'est un produit de haute qualité nutritionnelle, biologiques avec des ingrédients naturels.

### 5.6. Propositions et suggestions pour l'amélioration de l'arôme des bonbons

Lors de notre étude, nous avons demandé aux gens quels goûts ils aimeraient voir proposés dans les bonbons à base de spiruline. Après avoir analysé les réponses, nous avons identifié les goûts suivants (Figure 41) :

- *Les goûts mentholés ou rafraichissants* : La grande majorité des personnes interrogées ont exprimé un intérêt pour des bonbons à base de spiruline avec un goût mentholé ou rafraichissant, tels que la menthe, cette saveur et associée à une sensation de fraîcheur et de netteté, et pourraient être perçues comme rafraichissantes.
- *Les goûts fruités* : Un nombre significatif de participants ont exprimé un intérêt pour des bonbons à base de spiruline avec des saveurs fruitées telles que la fraise, l'orange, le citron et la pêche. Ces saveurs fruitées traditionnelles étaient les plus populaires parmi les réponses reçues.



**Figure 41.** Les goûts proposés par les personnes questionnées.

- *Les goûts exotiques* : Un nombre significatif de gens ont exprimé un désir d'expérimenter des saveurs exotiques tels que l'ananas, la banane, la mangue et la pomme. Ils ont été mentionnés, indiquant une volonté d'explorer des saveurs moins courantes.

Dans notre étude, on a constaté que certaines personnes interrogées ont exprimé un intérêt pour des bonbons à base de spiruline avec un gout de réglise. Ce dernier est souvent décrit comme étant distinctif et ayant une saveur sucrée et légèrement aromatique. Le gout réglise peut apporter une touche unique et différente aux bonbons à base de spiruline, offrant ainsi une variété de choix aux consommateurs.

### **5.7. Proposition et suggestion pour l'amélioration de la qualité des bonbons**

D'après les propositions et les suggestions des gens pour améliorer la qualité des bonbons nous avons obtenu les résultats suivants :

- Les gens suggèrent de modifier le gout des bonbons pour offrir une expérience gustative nouvelle et intéressante. En introduisant de nouvelles saveurs et en créant des goûts uniques.
- Une suggestion consiste à enrober les bonbons avec du sucre glace. Cela pourrait ajouter une texture légèrement croquante et sucrée aux bonbons.
- Des personnes suggèrent d'améliorer l'emballage et le rendre attrayant visuellement et facile à ouvrir. Un emballage attrayant peut attirer l'attention des consommateurs et susciter leur curiosité pour essayer les bonbons. En rendant l'emballage facile à ouvrir, on améliore la praticité pour les consommateurs, leur évitant des difficultés lors de l'ouverture.
- Une proposition suggère de modifier la couleur des bonbons. Le changement de couleur peut ajouter une dimension visuelle attrayant et ludique aux bonbons, en particulier les enfants. Associée à des saveurs spécifiques, chaque couleur peut aider les consommateurs à identifier et choisir leurs bonbons préférés, créant une expérience plus amusante.

Avec ces suggestions, on pourrait envisager de produire des bonbons gélifiés avec des nouvelles saveurs, avec un emballage attrayant et facile à ouvrir cela permettrait de proposer aux consommateurs une expérience gustative et visuelle améliorée.

*Conclusion et  
Perspectives*



## **Conclusion et perspectives**

*Arthrospira platensis* est une cyanobactérie multicellulaire et filamenteuse qui a intéressé les scientifiques par sa richesse nutritionnelle et ses multiples intérêts thérapeutiques. Cette algue bleu-vert connaît par sa valeur nutritive élevée en protéines (60-70 % en poids sec), vitamines, minéraux, acides gras essentiels et en pigments dont la chlorophylle, les caroténoïdes et surtout la phycocyanine (Goulamabasse *et al.*, 2018). Ses composants ont des avantages positifs pour la santé humaine. En effet, elle possède des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, immunostimulants, antitumoraux, antibactériens, antiviraux, et de nombreuses autres propriétés thérapeutiques (Soizic, 2019).

Le présent travail vise dans un premier temps à produire de la biomasse d'*A. platensis* et dans un second temps à incorporer cette biomasse dans les produits de confiserie, plus précisément les bonbons gélifiés afin de proposer une variété des bonbons enrichis. Les bonbons gélifiés sont des friandises à texture molle ayant un aspect proche des pâtes de fruits. Comme toutes les confiseries, ils sont composés essentiellement de sucre et d'un gélifiant ainsi que d'autres ingrédients, en assez faible proportion. La particularité de nos bonbons gélifiés est qu'ils contiennent, en plus de ces composants, de la spiruline (*A. platensis*).

Nos résultats nous ont permis de conclure que la concentration de la biomasse d'*A. platensis* atteinte au cours de ce travail est très importante (994,99 mg MES/L) avec une productivité volumique remarquable égale à 146,02 mg MES/L/J. Ce résultat démontre que les conditions de culture appliquées sont très productives et que le milieu de culture utilisé est efficace.

Nos résultats nous ont également permis de constater que la composition biochimique (protéines, lipides, glucides, humidité et matière organique) de la biomasse d'*A. platensis* produite a des valeurs nutritives élevées avec un taux de protéine de  $65 \pm 3,1$  % et une teneur lipidique égale à  $5,5 \pm 6,7$  %. En ce qui concerne le complément alimentaire « bonbons gélifiés », une teneur de  $50,3 \pm 5,7$  % en protéines, de  $12 \pm 1,2$  % en lipides et de  $10,67 \pm 1,1$  % en glucides a été obtenu.

D'après le questionnaire que nous avons élaboré et qui était destiné à toutes les tranches d'âge, on a remarqué que notre complément alimentaire à base de spiruline présenté sous forme de bonbons gélifié été accepté et apprécié par la majorité des personnes questionnées. Les

informations recueillies de ce questionnaire, qui aborde plusieurs aspects, sont très précieuses et vont nous permettre de mieux comprendre les besoins des clients et de prendre des mesures pour améliorer notre produit, et cela, dans le but de satisfaire d'avantage les consommateurs futurs.

Enfin, nous jugeons que d'autres études semblent nécessaires pour compléter ce travail pour l'amélioration de la productivité d'*A. platensis* et la qualité des bonbons. Il serait donc intéressant de :

- Faire une optimisation du milieu de culture.
- Effectuer des analyses microbiologiques de la biomasse et des bonbons.
- Essayer de nouvelles saveurs de bonbon
- Utiliser un gélifiant 100 % bio telle que la pectine de coing ou de pomme.
- Fabriquer des bonbons sans sucre ou sans gluten destiné aux personnes malades.

# *Références Bibliographiques*

Références bibliographiques

A

- Ahounou, M.N., 2018.** La spiruline : un complément alimentaire en conseil à l'officine, Enquête d'utilisation. Doctoral dissertation, Université de Rouen.
- Akbarnezhad M., ShamsaieMehrgan M., Kamali A. et JavaheriBaboli M., 2020.** Effects of microelements (Fe, Cu, Zn) on growth and pigment contents of *Arthrospira (Spirulina) platensis*. Iranian Journal of Fisheries Sciences 19(2); 653-668.
- Alipala J., N.A.S. Mohd Pu'adb, T.C. Leeb, N.H.M Nayana, N. Saharia, H. Basric, M.I. Idrisd, et H.Z. Abdullah .2020 .**A review of gelatin: Properties, sources, process, applications, and commercialisation . elsevier ,page :07.
- Amed Ali. 2011.** les conditions de réalisation de culture de spiruline : cas de la région nord-ouest de Madagascar et Comores.
- Ammad et Larbi. 2020.** Optimisation des conditions de production de biomasse alguale *Arthrospira platensis*. Mémoire de master, Université de Médéa.
- APHA-AWWA-WPCF.,1992.** American Public Health Association, Water Environment Federation, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th ed. Washington, DC, USA.
- Arar meriem ,Benhamida Khaoula .2014 .** Dosage des sucres totaux pour une espèce halophyte dans deux biotopes différents
- Asiyanbi, T.T., Bio-Sawe, W., Idris, M.A.,et Hammed, A.M., 2017.** Gelatin- polysaccharide based materials: a review of processing and properties. Homepage, page :313.
- Audrey Manet.2016.** La spiruline : indications thérapeutiques, risques sanitaires et conseils à l'officine. dumas-01346709
- Aurélie L.,2014.** Modélisation Et Conception D'un Système De Culture De Microalgues. Génie Des Procédés. Ecole Nationale Supérieure Des Mines De Paris, Français, Nnt : 2014enmp0048

B

- Babadzhanov A.S., Abdusamatova N., Yusupova F.M., Faizullaeva N., Mezhlumyan L.G. and Malikova M.Kh., 2004.** Chemical composition of *Spirulina platensis* cultivated in Uzbekistan. Chemistry of Natural Compounds; 40 (3): p. 276-279.

- Belitz, H.-D., Grosch, W., et Schieberle, P., 2009.** Food Chemistry (4th ed.), Springer.
- Benzidane D. 2021.** Valorisation biotechnologique des microalgues : Production de biocarburants. Thèse de doctorat. Université Oran1. P213.
- Brennan Liam et Philip Owende. 2010.** Biofuels from microalgae—A review of technologies for production, processing , and extractions of biofuels and co-products. journal homepage: [www.elsevier.com/locate/rser](http://www.elsevier.com/locate/rser), doi:10.1016/j.rser.2009.10.009 ,page : 560- 562.
- Brigitte karleskind , Bruno mercier et Philippe veroli. 2013.** Guide pratique des compliments alimentaires, page 09.

C

- Camila Ramão Contessa , Gabriela Silveira da Rosa , Caroline Costa Moraes , et Janaina Fernandes de Medeiros Burkert. 2023.** Agar-Agar and Chitosan as Precursors in the Synthesis of Functional Film for Foods: A Review, *Macromol*, 275–289, <https://doi.org/10.3390/macromol3020017> , page: 277
- Campbell, Neil et Reece, Jane. 2007.** Biologie : Les activités humaines menacent la biodiversité de la Terre, Québec : 5757 rue Cypihot, page : 1311-1314
- Casal A., 2019.** l'Aliment Idéal et le plus Complet de Demain, Site web, [www.spirulinefrance.fr](http://www.spirulinefrance.fr).
- Charpy.L., Langlade. M. J., Alliod.R., 2008.** La Spiruline Peut-Elle Etre Un Atout Pour La Santé Et Le Développement En Afrique ?, Institut De Recherche Pour Le Développement. Marseille. Rapport D'expertise Pour Le Ministère De L'agriculture Et De La Pêche. 49 P
- Chisti Yusuf. 2007.** Biodiesel from microalgae, *Biotechnology Advances* ,doi:10.1016/j.biotechadv.2007.02.001 ,page : 297- 300
- Ciferri, O. 1983.** Spirulina, the edible microorganism. *Microbiological reviews*, 47(4), 551
- Ciferri.O., 1983.** Spirulina, the edible microorganism. *Microbiol. Rev.* 47(4), 551-578.
- Claire König. 2005.** Les cyanobactéries : apparition, adaptation et reproduction
- Clément-Larosière B., 2012.** Étude de la croissance de *Chlorella vulgaris* en photobioréacteur batch et continu, en présence de concentrations élevées de CO<sub>2</sub>. Thèse de doctorat, Ecole centrale des arts et manufactures (Paris), 233 p.
- Codex Stan. 2005.** Norme générale pour les jus et les nectars de fruits , page : 1.

D

**Devasya R.P., 2017.** Batch and Fed Batch Cultivation and Harvesting of *Nannochloropsis gaditana* for Environmental Applications. Thèse de doctorat, Université de Western Ontario, 188 p.

**Durandchastel H., 1993.** La Spiruline, algue de vie. Bull. Inst. Océanog. Monaco, n° special 12: 7-11

**E**

**El khilifi, M.,2020.** Contribution a l'étude de la composition chimique de la spiruline : *spirulina platensis* .mémoire de Master, Université Abou BekrBelkaid -Tlemcen.

**F**

**Falquet, J., Hurni, J.P., 2006.** Spiruline, Aspects Nutritionnels, Antenna Technologies, 41p.

**Filali Rayane.2012.** Estimation et commande robustes de culture de microalgues pour la valorisation biologique du CO<sub>2</sub>. Ecole supérieur d'Électricité / Supelec, Paris, 224 p

**Fox.1999** .Spiruline, Technique ,pratique et promesse .EDISUD, 246 page .

**Fuxa A. Pelletier T. Pilicar G., 1996.**Synthèse organique : une approche expérimentale. Ed. Masson.

**G**

**Geitler L.,1932.**Cyanophyceae. In: Rabenhorst's Kryptogamenflora von Deutschland, Osterreich und der Schweiz. KolkwitsR. (Eds.) Leipzig Germany : AkademischeVerlagsgesellschaft. 14.

**Gomont M.,1892.** Monographie des Oscillariées (Nostocacées Homocystées) ,Deuxième partie – Lyngbyées, Annales des Sciences Naturelles, Botanique, 7(16): 91-264

**Gornall,A.G.,Bardawill,C.J.,et david,M.M.,1949.** Determination of serum proteins by means of means of the biuret reaction, Journal of Biological chemistry,177 (2) ,751-766

**Goulambasse Tessine Raza. 2018.** La Spiruline : Activités Thérapeutiques et son Intérêt dans la Lutte contre la Malnutrition à Madagascar, Thèse pour le diplôme d'état de Docteur en Pharmacie, université de Lille, p 9-16,46.

**H**

**Hosna Hajati et Mojtaba Zaghari. 2019.** Spirulina platensis in Poultry Nutrition, Cambridge Scholar Publishing, Livre, p 20.

**J**

**J-P. Cadoret1 , O.Bernard.2008.** La production de biocarburant lipidique avec des microalgues : promesse et defisle journal de la Société de Biologie, 202 (3), 201-211

**Jarisoia T., 2005.** Adaptation De Spiruline Du Sud Demadagascar A La Culture En Eau De Mer, Mise Au Point De Structures De Production A L'échelle Villageoise.ThèseDoctora En Es Sciences En Océanologie Appliquée. Université De Toliara.

**Jourdain jean-rené , isabelle dublineau et Guillaume phan .2005.**Evaluation de l'emploi de la pectine chez les enfants vivant sur les territoires contaminés par les césium , page :03.

**Jourdan JP., 2006.**Cultivez votre Spiruline, Edt, Antenna Technologie , 146p. Journal Officiel des Communautés Européennes n°72 du 25 mars 2006, page : 1-2.

**L**

**Lafri Imene. 2018 .** Optimisation des methodes d'extraction de la phycocyanine à partir de la spiruline HTAM.

**Landreau marine, olivier allais , odeline molle , ghislaine narayanane et louis-georges soler.2020.** Etude du secteur des confiseries, page :17.

**Loïc Charpy, Marie JoséLanglade et Romain Alliod.2008.** « La Spiruline peut-elle être un atout pour la santé etle développement en Afrique ? .

**M**

**M'baye B.K., LôB. and Bassene E., 2011.**Etude quantitative de quelques pigments de la Spiruline cultivée en Mauritanie en vue d'une valorisation nutritionnelle. Int. J. Biol. Chem. Sci. 5(5): 2035-2038.

**Machado L., Gonçalo Carvalhoand Ricardo N. Pereira. 2022.**Effects of Innovative Processing Methods on Microalgae Cell Wall: Prospects towards Digestibility of Protein-Rich Biomass.Biomass, 2: 80-102.

**Malcolm, J. L.,et Guiné, R. P.,2019.**Handbook of Food Powders: Processes and Properties ,Woodhead Publishing

P

**Philippe Etchecopar avec la collaboration Analia Bergé, Jordi Nadal et Céline Saint Pierre.2009.**Mathématiques et environnement

Q

**Qingshan Huang, Fuhua Jiang , Lianzhou Wang, et Chao Yang .2017.**Design of Photobioreactors for Mass Cultivation of Photosynthetic Organisms. journal homepage: [www.elsevier.com/locate/eng](http://www.elsevier.com/locate/eng),<http://dx.doi.org/10.1016/J.ENG.2017.03.020> , 223 page

R

**Rachard Grabkowski .2023.** Produits de confiserie,Technique de l'ingénieur,page :1-4.

**Razzak a ., Shaikh A., Mohammad M. Hossain a., Rahima A., Lucky b ., Amarjeet S., Bassi b ., Hugo de Lasa b,n .,2013.** Integrated CO2 capture, wastewater treatment and biofuel production by microalgae culturing—A review, journal homepage: [www.elsevier.com/locate/rses](http://www.elsevier.com/locate/rses) ,[doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.063](http://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.063) ,page : 626-629

**Richmond A., 2004.** Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology. Blackwell Science, 59 p.

**Robert A.A., 2015.** Algal Culturing Techniques, 1st Edition, Academic Press, 59.

**Rybner T., 2016.** Improving the biomass productivity and phycocyanin concentration by mixotrophic cultivation of *Arthrospira platensis*. Master of Science, UniversityCopenhagen (Denmark), 61 p.

S

**Schafer K.,1998.** Accelerated solvent extraction of lipids for determining the fatty acid composition of biological material , *Analytica Chimica Acta*, 358: 69-77.

**Sepideh B., Mahshid J. and Kianoush K.-D., 2022.**Pigment Productions by *Spirulina platensis* as a RenewableResource. *J Appl Biotechnol Rep*;9(2):614-621

**Soizic Louvel .2019.** La spiruline : intérêts humanitaires et thérapeutiques, *Sciences pharmaceutiques*,dumas-02294252



**STanier R. Y., 1974.** Division I, The Cyanobacteria. In: Bergey's manual of determinative bacteriology. Bouchanan R. E and Gibbon N. E. p 22.

**T**

**Théo Veaudor , Victoire Blanc-Garin , Célia Chenebault, Encarnación Diaz-Santos , Jean-François Sassi , Corinne Cassier-Chauvat et Franck Chauvat.2020.**Recent Advances in the Photoautotrophic Metabolism of Cyanobacteria: Biotechnological Implications, *Life* , 10, 71; doi:10.3390 , 26 page

**Théodore, Z. G. H. C.,2017.** Optimisation de la culture de la spiruline en milieu contrôlé: éclairage et estimation de la biomasse (Doctoral dissertation, Toulouse 3), 176 page

**Toudert Mebarka , Bouzidi Ounissa. 2020.** Intérêt de l'utilisation de la spiruline dans les aliments fonctionnels

**V**

**Verhulst, P. F.,1838.** Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement. Correspondance mathématique et physique

**W**

**WWW.aroma-zen.com,** SpiruNours: les bonbons à la spiruline.

**Y**

**Y. Shen, W. Yuan, Z. J. Pei, Q. Wu, E. Mao.2009.** Microalgae mass production methods, DOI: 10.13031/2013.27771 ,page :1276- 1279

**Z**

**Zarrouk C .,1966.** Contribution à d'étude d'une cyanophycée. Influence de divers facteurs physiques et chimiques sur la connaissance et la photosynthèse de *Spirulina maxima*,  
Thèse de doctorat Université de Paris

# *Annexe*

## Annexe 1

Les sites où pousse la spiruline (Fox, 1999).

<b>Continent</b>	<b>Pays</b>	<b>Région</b>
<b>AFRIQUE</b>	Algérie	Tamanrasset
	Tchad	Région du Kanem : lacs Latir, Ouna, Borkou, Katam, Yoan, Leyla, Bodou, Rombou, Moro, Mombolo, Liwa, Iseïrom, Ounianga kebir
	Soudan	Cratère de Djebel Marra
	Djibouti	Lac Abber
	Ethiopie	Lacs Aranguadi, Lesougouta, Nakourou, Chiltu, Navasha, Rodolphe
	Congo	Mougounga
	Kenya	Lacs Nakuru, Elmenteita, Cratère, Natron
	Tanzanie	Lac Natron
	Tunisie	Lac Tunis ; Chott el Jerid
	Zambie	Lac Bangweoulou
	Madagascar	Beaucoup de petits lacs près de Toliara
<b>ASIE</b>	Inde	Lacs Lonar et Nagpur
	Myanmar	Lacs Twyn Taung, Twyn Ma et Taung Pyank
	Sri Lanka	Lac Beira
	Pakistan	Mares près de Lahore
	Thaïlande	Lacs d'effluents d'une usine de tapioca, province de Radburi, 80 km au S.O. de Bangkok
	Azerbaïdjan	Non précisé
<b>AMERIQUE DU SUD</b>	Pérou	Réservoir d'eau près de Paracas Près de l'île d'Amantani dans le lac Titicaca
	Mexique	Lac Texcoco ; lac Cratère
	Uruguay	Montevideo
	Equateur	Lac Quilotoa : cratère de 1km de diamètre.
	Californie	Oakland ; Del Mar Beach
	Haïti	Lac Gonâve

<b>AMERIQUE DU NORD</b>	République Dominicaine	Lac Enriquillo
<b>EUROPE</b>	Hongrie	Non précisé
	France	Camargue
<b>AUTRES SITES POSSIBLES</b>	Ethiopie	Lac Abiata
	Kenya	Lac Rodolphe ; lac Hannington
	Tanzanie	Lac Manyara ; lac Rukua
	Zambie	Lac Mweru
	Botswana	Makgadigka Salt Pans
	Namibie	Etosha Salt Pan
	Afrique du Sud	Etat libre d'Orange, près de Vaaldam
	Bolivie	Lacs Colorado, Poopo, Chalviri, Salar de Uyuni
	Chili	Aguas Calientes, Lagunas Brava, lac Vilama De Surire
	Mauritanie	Côte sud
	Inde	Rann of Kutch ; Gujarat
Madagascar	Côte Ouest	

## Annexe 2

### Calibration de la souche *Arthrospira platensis*

#### Matière en suspension

$$\text{Biomasse de } A. \textit{ platensis} \text{ (mg MES/L)} = (1,1228 \times \text{Abs } 680 \text{ nm}) - 0,1898 \text{ (R}^2 = 0,9569)$$

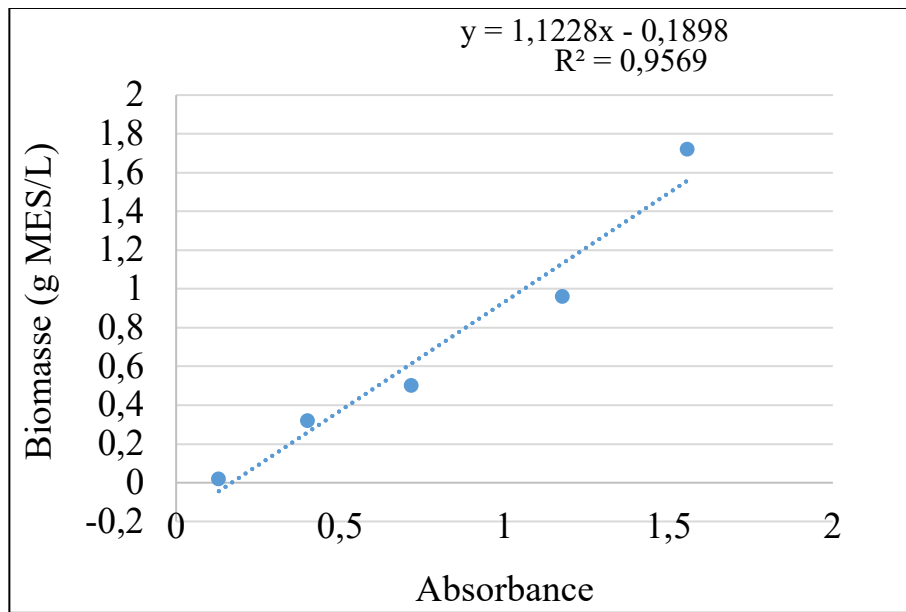


Figure 1. Courbe de calibration de la souche *Arthrospira platensis*.

#### Chlorophylle-a

$$[\text{Chlorophylle-a}] \text{ (}\mu\text{g/ml)} = (6,4052 \times \text{Abs } 680 \text{ nm}) + 1,7526 \text{ (R}^2 = 0,9851)$$

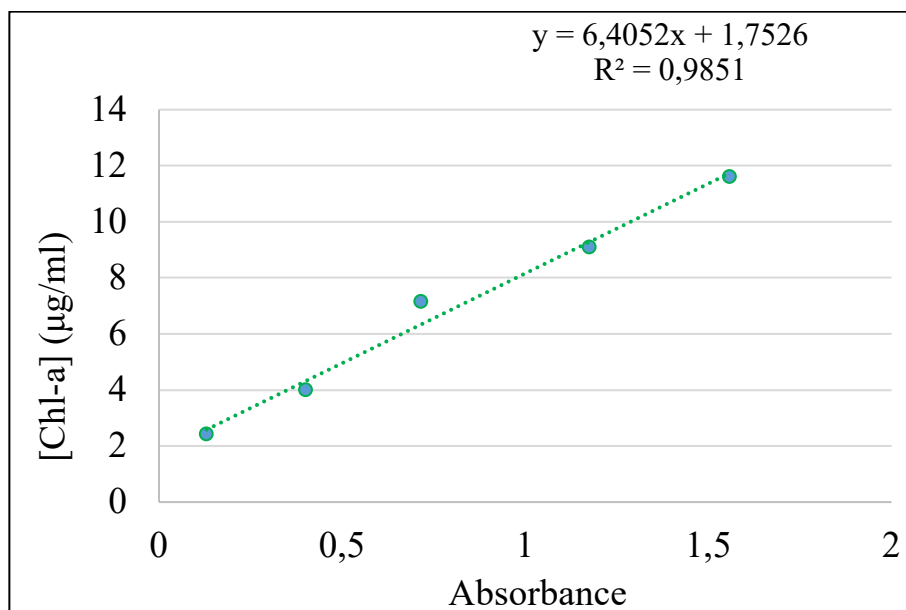
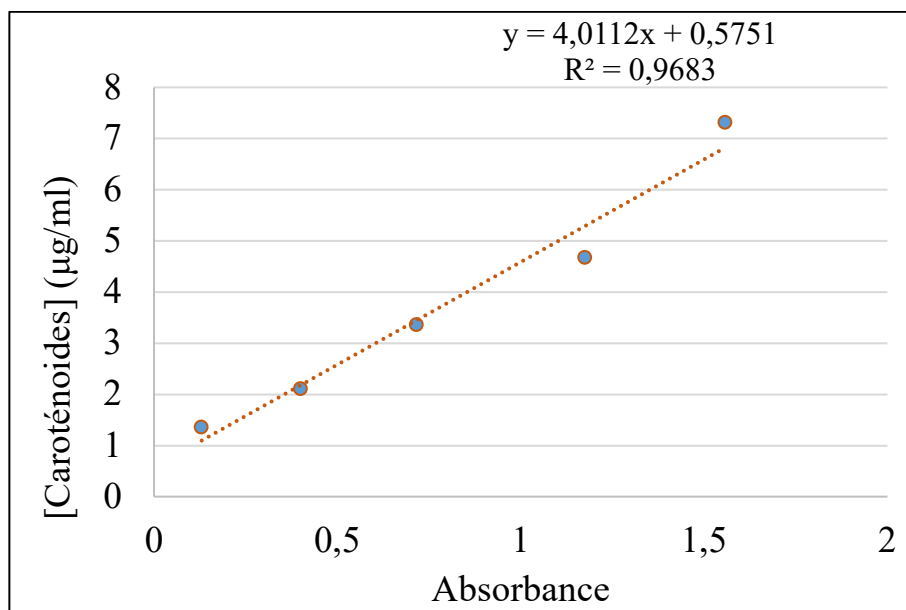


Figure 2. Courbe de calibration de la chlorophylle-a chez *Arthrospira platensis*.

**Caroténoïdes**

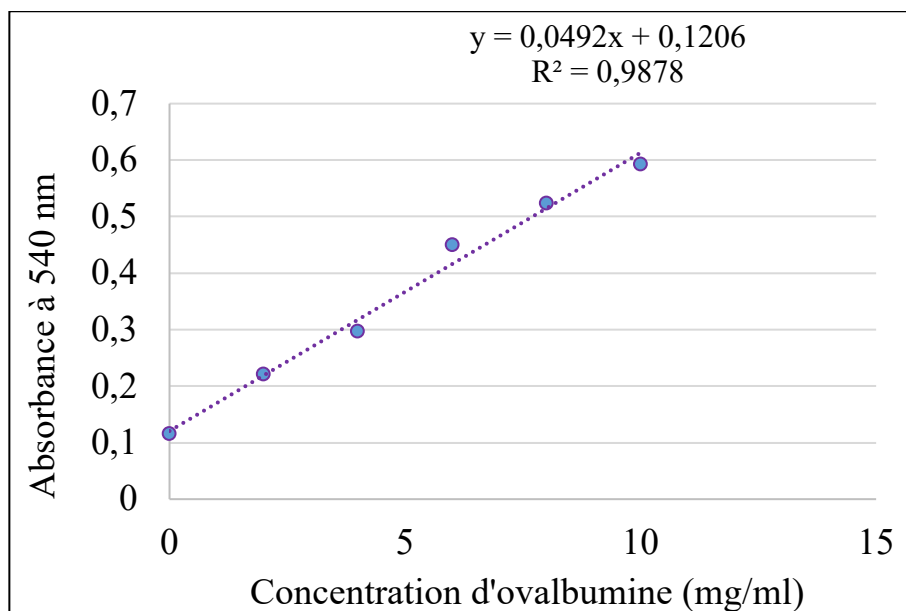
$$[\text{Caroténoïdes}] (\mu\text{g/ml}) = (4,0112 \times \text{Abs } 680 \text{ nm}) + 0,5751 \quad (R^2 = 0,9683)$$



**Figure 3.** Courbe de calibration des caroténoïdes chez *Arthrospira platensis*.

**Calibration des protéines**

$$[\text{Protéines}] (\text{mg}) = (0,0492 \times \text{Abs } 540 \text{ nm}) + 0,1206 \quad (R^2 = 0,9878)$$

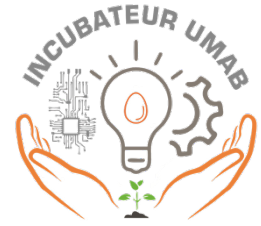


**Figure 4.** Courbe de calibration des protéines.

## Annexe 3



UNIVERSITE  
Abdelhamid Ibn Badis  
MOSTAGANEM



### Questionnaire

**Ce questionnaire rentre dans le cadre de la préparation d'un projet PFE-Startup intitulé « Valorisation de la spiruline en bonbons gélifiés ». Il a pour but de recueillir des feedbacks sur notre suppléments alimentaires à base de spiruline.**

**Merci de bien vouloir nous accorder quelques minutes en répondant aux questions suivantes :**

1 -Nom et prénom :

2- Vous êtes :  Une femme  Un homme

3- Veuillez indiquer votre tranche d'âge :

- Moins de 18 ans
- 18-24 ans
- 25-34 ans
- 35-44 ans
- 45-54 ans
- 55 ans et plus

4- Est-ce-que vous connaissez la spiruline ?

- Oui
- Non

5- Savez-vous que la spiruline est un complément alimentaire ?

- Oui
- Non

6- Est-ce que vous avez déjà goûté la spiruline ?

- Oui
- Non
- Non, mais j'aimerais bien goûter

7- Sur une échelle de 1 à 5, comment évalueriez-vous le goût de nos bonbons à base de spiruline ?

- 1 (Très mauvais)
- 2 (Mauvais)
- 3 (Neutre)
- 4 (Bon)
- 5 (Excellent)

8- Comment percevez-vous la texture de nos bonbons à base de spiruline ?



- Trop molle
- Trop dure
- Juste ce qu'il faut
- Autre(s) (veuillez préciser)

9- Quel est votre avis sur l'apparence visuelle de nos bonbons à base de spiruline ?

- Attrayante
- Neutre
- Peu attrayante
- Autre(s) (veuillez préciser)

10- Sur une échelle de 1 à 5, comment évalueriez-vous l'emballage de nos bonbons à base de spiruline en termes d'attrait visuel ?

- 1 (Très insatisfaisant)
- 2 (Insatisfaisant)
- 3 (Neutre)
- 4 (Satisfaisant)
- 5 (Très satisfaisant)

11- Recommanderiez-vous nos bonbons à base de spiruline à votre entourage ?

- Oui, absolument
- Oui, sous certaines conditions (veuillez préciser)
- Non, pas pour le moment (veuillez préciser)

12- Combien êtes-vous prêt à dépenser pour une boîte de bonbon à base de spiruline ?

- 600 - 650 Da
- 700 - 800 Da
- 850 - 1000 Da

13- Seriez-vous intéressé(e) par d'autres variantes de saveurs pour nos bonbons à base de spiruline ? Si oui, quelles saveurs aimeriez-vous voir disponibles ?

14- Avez-vous des commentaires supplémentaires ou des suggestions pour améliorer nos bonbons à base de spiruline ?

**Merci d'avoir pris le temps de répondre à ce questionnaire. Vos commentaires nous sont précieux pour améliorer la qualité de nos bonbons à base de spiruline et fournir une meilleure expérience à nos futurs clients.**

## Annexe 4

### *Fiche technique du projet*

Nom et prénom :	<ul style="list-style-type: none"><li>• TAIEB ERRAHMANI ROFIA</li><li>• DOUAR AMIRA</li><li>• BENHAMADI HADJ BOUABDALLAH</li></ul>
Intitulé de votre projet :	<b>SPIRUBON</b>
Numéro de téléphone :	<b>07 96 95 79 97</b>
Adresse e-mail :	<b>spirulinebonbons@gmail.com</b>
ville ou commune d'activité :	<b>Mostaganem, Algérie</b>

### *Nature de projet*

**Projet productif :** Vente de marchandises.

C'est un complément alimentaire à base de spiruline sous forme des bonbons gélifiés.

### ***Le problème à résoudre et à étayer par des données (statistiques le cas échéant) :***

En raison des coûts élevés de la viande et du poisson, la population en Algérie ne consomme pas suffisamment ces aliments, ce qui entraîne un manque de nutriments, en particulier en protéines et en acides gras oméga 3. Donc notre produit « SPIRUBON » va régler le problème de malnutrition par une microalgue « spiruline » qui a beaucoup d'avantages pour le corps humain parce qu'elle est riche en protéines, en vitamines (notamment la vitamine B12), en minéraux et en antioxydants. Elle est souvent considérée comme un super aliment en raison de sa densité nutritionnelle. Cependant, la spiruline a un très léger goût de salé du fait de sa richesse minérale. L'absence de goût sucré la rend moins appréciable par les consommateurs et principalement les enfants. D'où l'intérêt de proposer la spiruline sous forme de bonbons gélifiés.

### ***1/ Valeurs proposées :***

#### **1/1- La valeur que nous offrons au client :**

- Notre produit « SPIRUBON » est de haute qualité ,100% naturel et 100% algérien et son prix est acceptable pour la société algérienne.
- Il est facile à utiliser pour les adultes et les enfants à partir de 4 ans, et il offre plusieurs avantages au corps humain en raison de son composant principal, qui est la spiruline de Hoggar du désert d'Algérie.
- Les produits à base de spiruline ne sont pas acceptables à cause du goût de la spiruline mais grâce à notre produit le goût s'améliore.

#### **1/2- Quels autres projets ont été ciblés pour le même problème et mis en œuvre ?**

Il existe actuellement 03 produits qui sont à base de la spiruline mais ils ont un goût désagréable, et une texture insupportable pour tout type d'âge et aussi ne sont pas pratiques à utiliser et même des prix très chers par rapport leurs qualités.

Les 03 produits sont:

- Poudre de spiruline.

### ***2/Consommateurs:***

Les bonbons à base de spiruline sont susceptibles d'attirer un large éventail des clients de tous âge :

- **Les clients souffrant de carences en vitamines et minéraux spécifiques :** le produit peut cibler les clients à la recherche d'une source naturelle de vitamines et de minéraux dont ils

pourraient manquer. Mettre en avant les bienfaits de la spiruline en tant que source riche de ces nutriments peut être efficace.

- **Les parents dont les enfants souffrent de malnutrition** : Les bonbons gélifiés à base de spiruline se distinguent par leur équilibre unique entre des saveurs délicieuses et des ingrédients sains c'est pourquoi il est accepté par les enfants.

- **Les consommateurs de produits biologiques** : il existe une catégorie croissante de clients qui préfèrent les produits biologiques et naturels. Ils peuvent rechercher des bonbons gélifiés à base de spiruline pour profiter d'une collation saine et biologique.

- **Les sportifs et les passionnés de fitness** : les bonbons gélifiés à base de spiruline peuvent cibler cette catégorie de clients intéressés par l'amélioration des performances physiques et la récupération rapide. Le produit peut être commercialisé comme une collation saine et naturelle à consommer avant ou après l'exercice.

- **Les consommateurs à la recherche d'ingrédients alimentaires innovants** : cette catégorie de clients s'intéresse à l'expérience de nouveaux produits innovants. Mettre l'accent sur la spiruline en tant qu'ingrédient principal et unique dans les bonbons gélifiés peut attirer cette catégorie de clients.

### ***3/Relation client :***

#### **Création d'un message marketing fort :**

Il est possible de tirer parti du pouvoir des réseaux sociaux pour communiquer avec les clients et accroître la notoriété du produit du contenu attractif et interactif, interagir avec les commentaires et les questions, promouvoir des offres et des réductions exclusives

#### **Fournir des garanties :**

Les clients se sentent en confiance lorsqu'ils savent que le produit est soutenu par des garanties et des normes de qualité élevées. Il est possible de fournir des garanties de remboursement pour renforcer la confiance et encourager les clients à effectuer leur achat.

#### **Fournir un support après-vente :**

Il est possible d'offrir un support après-vente aux clients pour s'assurer de leur satisfaction et de leur pleine utilisation du produit. Cela peut inclure un service client disponible 24 heures sur 24, une communication continue pour résoudre les problèmes ou répondre aux questions, ainsi que des mises à jour et des améliorations du produit.

#### **4/ chaînes :**

##### **1/4- Mécanismes et méthodes pour informer notre produit :**

- Vente en ligne sur un site spécial pour notre produit.
- Marketing sur les réseaux sociaux.
- Collaboration avec des influenceurs et des blogueurs.
- Participation à des salons et événements.

##### **2/4-Canaux de distribution privilégiés par les clients :**

- **Les achats en ligne** : les achats en ligne sont une option préférée pour de nombreux clients.
- **Vente directe** : certains clients préfèrent traiter directement avec l'entreprise ou le fournisseur, leur permettant de commander des produits ou des services directement par téléphone ou en visitant l'entreprise.

#### **5/Partenaires :**

##### **5/1-Partenaires clés qui peuvent nous aider :**

- Les entreprises de transport et de distribution.
- Les partenaires de marketing et de vente.

##### **5/2-principaux fournisseurs :**

- **Les fournisseurs de matières premières** : cela comprend les fournisseurs des composants essentiels pour la production de notre produit, tels que les ingrédients alimentaires pour les bonbons gélifiés.
- **Les fournisseurs d'équipements** : ce sont des fournisseurs qui fournissent les machines et les équipements nécessaires pour les opérations de production et de fabrication.

#### **6/Activités clés :**

##### **6/1- Étapes clés :**

**1<sup>er</sup> étape** : On fait de la culture de la spiruline de Hoggar du désert d'Algérie, dans des **bassins** raceway

**2<sup>eme</sup> étape** : Séchage de la biomasse de la spiruline

**3<sup>eme</sup> étape** : production des bonbons gélifiés à base de la spiruline et réalisation des tests et des inspections pour garantir la qualité de notre produit et assurer sa conformité aux normes requises

**4eme étape** : conditionnement et emballage dans cette partie en réalise un conditionnement attractif et pratique du produit pour préserver sa qualité et le rendre disponible aux clients de manière sure

**5eme étape** : marketing de notre produit

**6/2-activités secondaires :**

Gestion des stocks et planification des ressources.

Gestion des opérations et coordination des activités internes.

Formation du personnel et développement des compétences.

Gestion de la qualité et garantie de la conformité aux normes.

Gestion des relations avec les fournisseurs et les partenaires.

Recherche et développement pour améliorer le produit ou le service et favoriser l'innovation.

Gestion financière et comptable.

Marketing et promotion du produit ou du service.

Gestion des opérations logistiques et de la distribution

**7/Ressources clés :**

**7/1-ressources matérielles :**

Les ressources qu'on a besoin pour réaliser notre projet sont :

<b>Ressources</b>	<b>Source locale ou étrangère</b>	<b>Fournisseur</b>
Spiruline	Local	/
Les ingrédients des bonbons	Local	/
Machine de production et d'emballage	Etrangère	Tg machine
Voiture de déplacement et livraison	Local	/
Des hangars de stock	Local	/
Bassin	Local	/

7/2-Ressources humaines:

Catégorie des ressources humaines	Nombre
Gérant	01
Responsable de marketing	01
Travailleur	3

7/3-Ressources financiers:

.....  
.....  
.....

8/la structure des coûts:

100000,00 da	Frais d'établissement
400000,00 da	Frais d'ouverture de compteurs (eaux-gaz-....)
400000,00 da	Logiciels, formations
1 000 000,00 da	Dépôt marque, brevet, modèle
2 000 000,00 da	Droits d'entrée
1 000 000,00 da	Achat fonds de commerce ou parts
500 000,00 da	Droit au bail
500 000,00 da	Caution ou dépôt de garantie
50 000,00 da	Frais de dossier
2 500 000,00 da	Enseigne et éléments de communication
10 000 000,00 da	Achat immobilier
1 500 000,00 da	Travaux et aménagements
4 479 618,00 da	Matériel
5 000 000,00 da	Matériel de bureau
1 500 000,00 da	Stock de matières et produits
3 500 000,00 da	trésorerie de départ

**TOTAL: 34 429618,00 da**

8/2- Vos frais de projet ou frais fixes:

15 000,00 da	Assurances
5000,00 da	Téléphone, internet
20 000,00 da	Autres abonnements
10 000,00 da	Carburant, transports
10 000,00 da	Frais de déplacement et hébergement
200 000,00 da	Eau, électricité, gaz
100 000,00 da	Mutuelle
300 000,00 da	Fournitures diverses
200 000,00 da	Entretien matériel et vêtements
50 000,00 da	Nettoyage des locaux
200 000,00 da	Budget publicité et communication

**TOTAL: 1 110 000,00 da**

8/3. Salaires des salariés et des fonctionnaires :

35 000,00 da	Salaires employés
70 000,00 da	Rémunération nette dirigeant

9/Sources de revenus :

9/1-Revenu total :

Déclaration	Valeur
Nombre d'unités produites par mois	100
Prix de vente	650,00 da
Revenu total = nombre d'unités produites Prix de vente	65000,00 da

9/2-Sources de revenus :

Le vent de la spiruline en bonbons.



9/3-Pourcentage d'augmentation du chiffre d'affaires entre chaque mois pour la première année  
? Deuxième ?

<b>Déclaration</b>	<b>Valeur</b>
Nombre d'unités produites par mois	200
Prix de vente	650,00 da
Revenu total = nombre d'unités produites Prix de vente	130 000,00 da