



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة أبو بكر بلقايد – تلمسان

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID --TLEMCEN-



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers
كلية علوم الطبيعة والحياة، وعلوم الأرض والكون

Département d'Ecologie Et Environnement
Laboratoire : Valorisation des actions de l'homme pour la protection de
l'environnement et application en santé publique

Mémoire présenté par

Melle BENAICHE Faïza

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER

Filière: Hydrobiologie marine et continentale
Spécialité : Sciences de la Mer

Thème :

Application de la spiruline dans
l'alimentation humaine (compote de
pomme)

Soutenu le : 25Juin 2025, devant le jury composé de :

Président: Mr. Mr. HASSANI Fayçal Professeur Université de Tlemcen
Examinatrice : Mme. BENGUEDDA WacilaM.C.A Université de Tlemcen
Encadreur: Mr. BENDIMERAD Med. El AmineM.C.A Université de Tlemcen

Année Universitaire : 2024-2025

Remerciement

Je tiens tout d'abord à remercier Allah, Le Tout-Puissant, pour m'avoir donné la force, la patience et la persévérance nécessaires à l'accomplissement de ce travail.

*Je remercie sincèrement mon encadrant, **Mr. BENDIMERAD Mohammed El Amin**, Maître de conférences et responsable de la formation Sciences de la mer, pour avoir accepté de diriger ce travail. Je lui suis profondément reconnaissant pour sa patience, ses conseils précieux et tout ce qu'il a apporté, directement ou indirectement, à la réalisation de ce mémoire.*

*Mes remerciements vont également à ma Co-encadrante, **Mme. BENSABI Sihem**, Professeure à l'École de formation technique de pêche et d'aquaculture de Beni Saf, pour sa disponibilité, ses conseils avisés et son accompagnement tout au long de ce projet.*

*Je remercie **Mr. HASSANI Fayçal** d'avoir présidé le jury et d'avoir pris le temps d'évaluer mon travail.*

*Je remercie également **Mme. BENGUEDDA Wacila** pour son rôle d'examinatrice et ses remarques enrichissantes.*

Enfin, je remercie chaleureusement toute la grande famille des Sciences de la mer, et tout particulièrement l'ensemble des enseignants pour leur soutien, leur bienveillance et les connaissances qu'ils ont su nous transmettre au fil des années

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à : Mes chers parents : Abdelhak et Nassima

Qui ont été toujours à mes côtés et m'ont toujours soutenu tout au long de ces longues années d'études. En signe de reconnaissance, qu'ils trouvent ici, l'expression de ma profonde gratitude pour tout ce qu'ils ont consenti d'efforts et de moyens pour me voir réussir dans mes études.

A mon frère Mohamed Imrane et ma sœur Safae

Qui m'encourager dans les moments les plus difficiles.

A toute ma famille

A toutes mes amies

Et a mon fiancé Khaled

Qui ont été toujours à mes côtés.

A tous les gens qui me connaissent et que je connais en particulier qui m'ont encouragé de loin ou de près.

BENAICHE Faïza

LISTE DES MATIÈRES

Table de matière :

Liste des figures :

Figure01 : photo présente un type d'algue vert (Hillewaert, 2007).....	3
Figure 02 : Algue bleus (noaa, 2009)	4
Figure 03 : Les différents aspects de la spiruline.	5
Figure 04 : Filament d' <i>Arthrospira platensis</i> observé par microscope.....	5
Figure05 : Vue microscopique de <i>Arthrospir sp.</i> (40'). (Rybner, 2016).....	6
Figure 06 : Répartition géographique de la spiruline.....	7
Figure 07 : Observation au microscope optique de souches droites et spiralées D' <i>Arthrospira</i> provenant du Burkina Fas (Ahounou, 2018).....	7
Figure 08 : <i>Spirulina platensis</i>	8
Figure 09 : Cycle biologique de la spiruline (Charpy et al., 2008).....	9
Figure 10 : Pourcentage des éléments nutritionnels de la spiruline.....	10
Figure 11 : Diagramme de positionnement de la spiruline par rapport à d'autres aliments en termes de protéines (ALL., et al 1999).....	10
Figure 12 : Condition de culture de la spiruline (Soizic, 2019).....	13
Figure13 : Les différentes étapes de production de la spiruline.....	14
Figure 14 : Etapes de fabrication de la purée de pomme (en pointillés les étapes qui peuvent être interverties).....	19
Figure 15 : Ecole de formation technique de pêche et d'aquaculture Beni Saf Ain Temouchent (original).....	20
Figure 16 : La souche mère de Spiruline (originale).....	21
Figure 17 : pH mètre pour mesure le ph d'une solution (originale).....	23
Figure 18 : Tissu de tamisage (originale).....	25
Figure 19 : Spiruline sèche (originale).....	25
Figure 20 : compote de pomme.....	26
Figure 21 : produit obtenu (compote au spiruline) (originale).....	27
Figure 22 : valeur nutritionnelles de 5 g de spiruline dans 350 g de compote de pommes....	29
Figure 23 : Un camembert représentant la différence d'opinions sur la couleur.....	30
Figure 24 : Un camembert représentant la différence d'opinions sur l'odeur.....	31
Figure 25 : Un camembert représentant la différence d'opinions sur la texture.....	31
Figure 26 : Un camembert représentant la différence d'opinions sur le goût.....	32
Figure 27 : évaluation sensorielle de la compote enrichie a la spiruline (n=10).....	32

Table des matières :

Liste des tableaux :

Tableau 01 : Composition en minéraux de la spiruline en mg/g de sa matière sèche	12
Tableau 02 : Produits ajouté pour une culture de 1 litre de milieu de culture.....	22
Tableau 03 : milieu d'enrichissement de la Spiruline pour un milieu de culture de 1 litre....	24
Tableau 04 : Valeurs nutritionnelles estimées pour 350 g de compote, avec 5g de spiruline..	28
Tableau 05 : Résultats de l'évaluation sensorielle de la compote enrichie à la spiruline (n = 10).....	30

Liste des annexes :

Annexe 01 : Bicarbonate Sodium (originale)	41
Annexe 02 : Microscope optique (original).....	41
Annexe 03 : Lampe Led (originale).....	41
Annexe 04 : Compresseur d'aquarium (Originale).....	41
Annexe 05 : Balance électrique (originale).....	42
Annexe 06 : La spiruline avant le séchage (originale).....	42
Annexe 07 : La spiruline en poudre (originale).....	42
Annexe 08 : questionnaire (originale).....	42

Sommaire :

Remerciements

Dédicace

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale.....1

Première partie : synthèse bibliographique

Chapitre I : généralités sur les algues et présentation de la spiruline

1. Généralités sur les algues	3
1.1. Classification des algues	3
1.2. Algues bleue (Cyanophrty).....	4
1.3. Présentation de la spiruline	4
1.4. Présentation de <i>Arthrospira platensis paracas</i>	5
1.5. Taxonomie de la spiruline <i>Arthrospira platensis paracas</i>	6
1.6. Habitats naturels	6
1.7. Morphologie de la spiruline <i>Arthrospira platensis paracas</i>	7
1.8. Reproduction.....	8
1.9. Composition nutritionnelle	9
1.9.1. Protéines	10
1.9.2. Lipides	11
1.9.3. Glucides	11
1.9.4. Minéraux et oligo-éléments	11
1.9.5. Les vitamines	12
1.9.6. Les enzymes.....	12
2. culture de la spiruline.....	12
2.1. Conditions de culture de la spiruline.....	12
2.1.1 Température	13
2.1.2. Lumière	13
2.1.3. pH.....	13
2.2 Milieu de culture.....	13
2.2.1. L'eau	13
2.2.2 Les éléments nutritifs.....	14
3. Technique de culture de la spiruline	14

Table des matières :

3.1. Ensemencement	15
3.2. Agitation	15
3.3. Filtration	15
3.4. Le pressage	15
3.5. L'extrusion.....	16
3.6. Le séchage	16
3.7. Le broyage et mise en conditionnement.....	16
4. L'application de la spiruline	16
4.1. Application humaine	16
4.1.1. Domaine alimentaire	16
4.1.2. Domaine de santé	16
4.1.3. Domaine cosmétiques.....	17
4.2. Application animale	17
4.2.1. Produit nutritionnels.....	17
4.2.2. Stimulant et développent et reproduction.....	17
4.2.3. Accroître la résistance immunitaire.....	17
5. Fabrication de la compote (purée de pommes).....	18
5.1. Nettoyage et trie des pommes	18
5.2. Pré-broyage.....	18
5.3. Raffinage	18
5.4. Chauffage	18
5.5. Chambrage.....	19
5.6. Dégazage	19
5.7. Pasteurisation / stérilisation.....	19
5.8. Conditionnement.....	19

Deuxième partie : Partie expérimental

Chapitre II : Matériel et Méthodes

1. La culture de la spiruline.....	20
1.1. L'objectif	20
1.2. Lieux et périodes de stage	20
1.3. Matériel	20
1.3.1. Matériel biologique	20
1.3.2. Matériel du laboratoire.....	21

Table des matières :

1.4. Méthodes.....	21
1.4.1. Préparation de milieu de culture	21
1.4.2. Ensemencement	22
1.4.3. La récolte	25
1.4.4. Le séchage.....	25
2. La fabrication de la compote.....	26
2.1. Matériel.....	26
2.2 Méthode de fabrication du compote.....	26
3. Mélange du produit final.....	27

Chapitre III : Résultats et Discussions

1. L'incorporation de la spiruline à la compote.....	28
2. Analyse sensorielle de la compote à la spiruline.....	29
Conclusion générale.....	35
Référence bibliographique	37
Annexe.....	41
Résumé	

INTRODUCTION

Introduction :

La spiruline est une algue microscopique de couleur bleu vert qui pousse dans les lacs et les étangs de nombreux pays. À poids égal, elle contient trente fois plus de protéines que le soja. (Gershwin & Belay, 2007)

La spiruline est cultivée et récoltée dans des lacs naturels ou artificiels. Cette algue accumule les métaux lourds tels que mercure et plomb, par exemple, ainsi que les pesticides : il est donc essentiel de s'assurer de son origine et de sa qualité. (Gershwin & Belay, 2007)

Cette algue est présentée comme le meilleur aliment pour l'avenir « the best food for the future » lors de la conférence des Nations Unies sur l'Alimentation en 1974. Pour l'UNESCO, elle est considérée comme « l'aliment idéal et le plus complet de demain » et « l'une des meilleures sources de protéines » pour la FDA, la spiruline est mise en avant par plusieurs structures au sein de l'ONU et de l'OMS pour son utilisation dans la lutte contre la malnutrition aigüe dans le monde. (Goulamabasse, 2018)

La **compote de pommes** est une préparation culinaire réalisée à base de pommes cuites. Elle possède généralement un goût sucré et une texture onctueuse parfois liquide.

L'objectif de ce mémoire est d'étudier la faisabilité et l'acceptabilité d'un produit alimentaire innovant destiné aux enfants, associant de la spiruline en poudre, obtenue après culture, extraction, séchage et broyage, à une compote de pommes locale sans ajout de sucre.

Cette association vise à optimiser l'acceptabilité gustative de la spiruline tout en valorisant des ingrédients naturels et nutritifs. L'étude portera sur le développement du produit, l'analyse de ses qualités organoleptiques et nutritionnelles, ainsi que sur son potentiel d'acceptation par les jeunes consommateurs.

Cela permet de diversifier les sources de nutriments dans l'alimentation quotidienne tout en offrant une alternative savoureuse et innovante.

Afin de mieux définir l'objectif de cette étude, nous avons divisé notre travail en trois chapitres :

- ✓ Dans le premier chapitre, nous tenterons d'apporter une approche générale sur les algues la spiruline et la compote.
- ✓ Le deuxième chapitre présente le matériel ainsi que les méthodes employées dans cette étude.
- ✓ Le troisième chapitre est consacré à la présentation des résultats obtenus, suivie d'une discussion en relation avec les travaux antérieurs.
- ✓ Enfin, une conclusion générale accompagnée de perspectives vient clôturer ce travail.

CHAPITRE I :

Recherche bibliographie

Généralité sur les algues et présentation de la spiruline

1. Généralité sur les algues

1.1 Classification des algues :

Les algues (phycophytes) sont des végétaux aquatiques autotrophes pour le carbone et elles sont dépendantes de la lumière solaire pour réaliser la photosynthèse. (De Reviers, 2002)

Il existe trois grandes classifications d'algues :

- Les chlorophycées sont des algues vertes qui contiennent les pigments chlorophylle a et b. (c'est-à-dire Chlamydomonas, Spirogyra et Chara).
- Les Phéophycées sont des algues brunes, elles sont principalement présentes en milieu marin. Elles contiennent des pigments tels que la chlorophylle A, C, les caroténoïdes et la xanthophylle (par exemple Dictyota, Laminaria et Sargassum)
- Les Rhodophycées sont des algues rouges qui contiennent un pigment rouge, la rphycoérythrine (Porphyra, Gracilaria et Gelidium).
- Le quatrième type d'algues est l'algue bleu-vert (Cyanobactéries) BGA qui est parfois traitée comme une algue. On trouve souvent ce type d'algues dans les aquariums domestiques, où elles recouvrent toutes les surfaces en peu de temps ; elles sont appelées algues gluantes ou algues maculées (Berrouane, Bouaissi, 2023)

Nous basons ces classifications sur trois fondements :

- Pigmentation
- Polysaccharides de réserve
- Polysaccharides pariétaux



Figure 01 : photo présente un type d'algue [verthttps://plusbaby.ch/wp-content/uploads/2023/12/Capture-decran-2023-12-22-a-11.33.57-1536x1077.png](https://plusbaby.ch/wp-content/uploads/2023/12/Capture-decran-2023-12-22-a-11.33.57-1536x1077.png) visité le 2/07/2024

1.2 Algues bleues (Les Cyanophycées) :

Les cyanobactéries ou les algues bleues sont constituées des colonies de taille, de forme et de couleur très variables. Comme les algues rouges, elles possèdent des pigments surnuméraires bleus (Phycocyanines) et rouges (Phycoérythrines) qui masquent la chlorophylle a. En dépit de leur nom ancien d'algues bleues, elles sont rarement bleues mais plus souvent rouges, vertes avec des reflets bleutés, violets, bruns, jaunes ou orangés. La plupart d'entre elles ont une consistance gélatineuse voire gluante en raison des mucilages qu'elles sécrètent (Ainane, 2011) (fig 02)



Figure 02 : Algue bleus

1.3 Présentation de la Spiruline :

La spiruline est une cyanobactérie filamenteuse, faisant partie des algues bleu-vert de type procaryote. Reconnaissable à la caractéristique morphologique du genre, cette micro-algue à caractère multicellulaire, se multiplie dès que la température de l'eau dépasse 30 °C. C'est un organisme symbiotique, autotrophe, qui se nourrit uniquement de minéraux contenus dans son milieu aqueux (Vonshak, 2002).

Se présentant généralement sous différentes formes, les spirulines sont le plus souvent enroulées en spires (Figure 3A), parfois ondulées (Figure 3B) ou de forme droite (Figure 3C) (Vicente, 2012). Cette particularité de forme est en relation directe avec les conditions écologiques rencontrées dans leur habitat (Charpy et al., 2008).

Avec une longueur moyenne de 250 µm quand elle possède 7 spires, le diamètre du filament ou du trichome formé est d'environ 10µm (Sall et al., 1999). La forme hélicoïdale

qui lui donne l'allure d'un minuscule ressort lui a valu son appellation de « Spiruline » (Charpy et al., 2008).

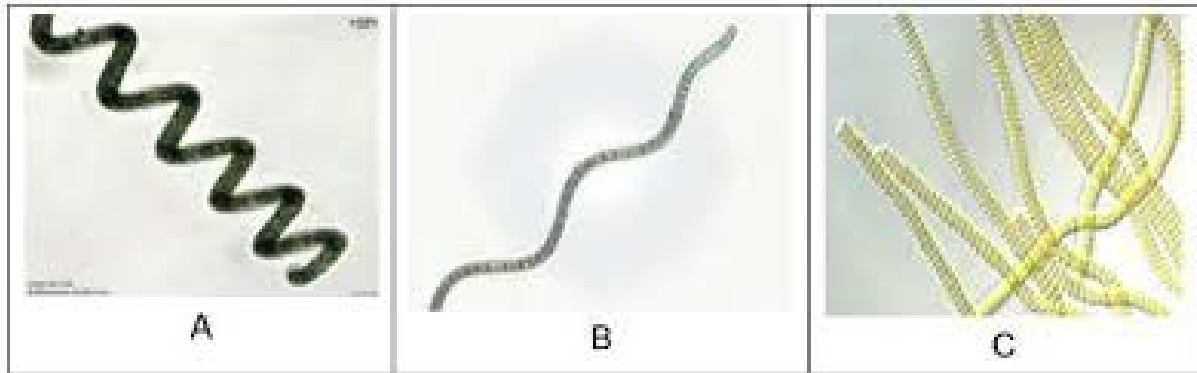


Figure 03 : Les différents aspects de la spiruline. (Ahounou, 2018)

1.4 Présentation de la *Spiruline Arthrospira platensis paracas* :

Arthrospira platensis est un genre de cyanobactéries plus connue sous le nom de « spiruline ». A ne pas confondre avec le genre *Spirulina*, qui est également un genre de cyanobactéries, mais assez éloigné d'un point de vue taxonomique et accessoirement, impropre à la consommation. On la retrouve dans les eaux chaudes et peu profondes de la ceinture intertropicale.



Figure 04 : Filament d'*Arthrospira platensis* observé par microscope

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/77/SingleSpirulinaInMicroscope4W
EB.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/77/SingleSpirulinaInMicroscope4WEB.jpg) visité le 02/07/2024

1.5 Taxonomie de de la *Spiruline Arthrospira platensis paracas* :

L'espèce du Spiruline (*Arthrospira platensis*) se compose de trichomes atteignant 350 μ de long, de 5 à 11 μ de diamètre, un peu rétrécis au niveau des articulations. Les tours de spire ont un diamètre de 20 à 50 μ , diminuant légèrement vers les extrémités (Fox, 1999).

- **Règne** Monera
- **Sousrègne** Prokaryota
- **Phylum** Cyanobacteria
- **Classe** Cyanophyceae
- **Ordre** Nostocales
- **Famille** Oscillatoriceae
- **Genre** Arthrospira
- **Espèce** *Arthrospira platensis* (Ahounou, 2018).

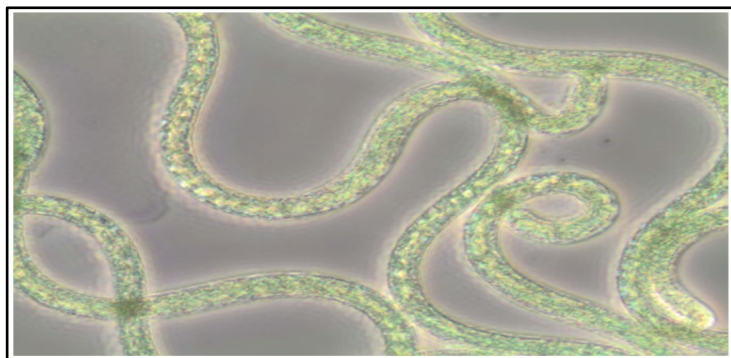


Figure O5. Vue microscopique de *Arthrospira sp.* (Rybner, 2016)

1.6 Habitat naturelle :

La Spiruline se développe préférentiellement dans des eaux chaudes, alcalines et riches en nutriments azotés et phosphorés. Plus communément, elle s'observe dans les eaux saumâtres, ainsi que dans les lacs salins de régions tropicales et semi-tropicales. Son caractère thermophile et ses besoins importants en lumière limitent son aire de répartition à une bande intertropicale située environ entre 35° de latitude Nord et 35° de latitude Sud. Sa forte plasticité écologique permet de la retrouver à l'état naturel à la fois dans les lacs alcalins en Afrique (Tchad, Ethiopie, Tunisie), en Amérique latine (Mexique, Pérou), en Asie du Sud

(Inde, Sri Lanka, Thaïlande). Cet organisme est dit ubiquiste. Il est cependant beaucoup moins abondant en Amérique du Nord et en Europe (figure 06)

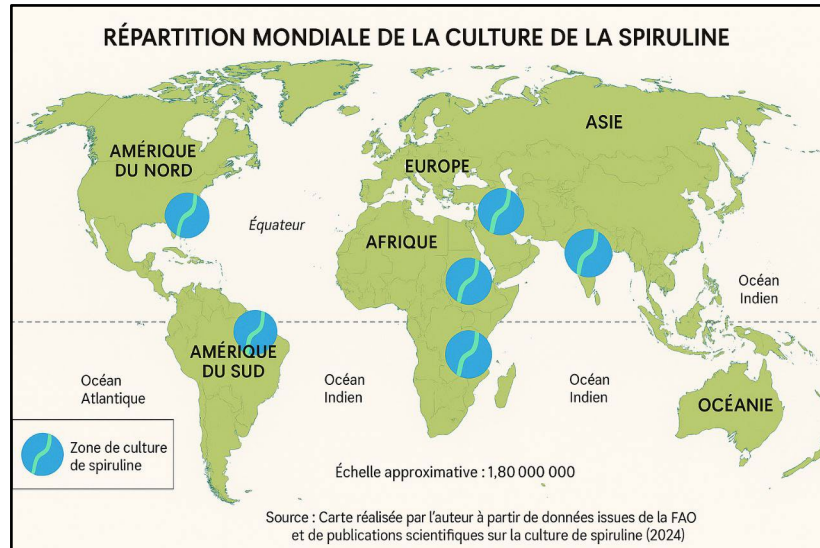


Figure 06 : Répartition géographique de la spiruline.

1.7. Morphologie de la *Spiruline Arthrospira platensis paracas* :

Arthrospira platensis se caractérise par des trichomes atteignant 350µm de long et entre 6 et 12,45 µm de diamètre ; ils sont un peu rétrécis au niveau des articulations. Les tours de spires ont un diamètre de 20 µm à 50 µm diminuant légèrement vers les extrémités. (Cruchot, 2008).



Figure 07 : Observation au microscope optique de souches droites et spiralées D'*Arthrospira* provenant du Burkina Fas (Ahounou, 2018).

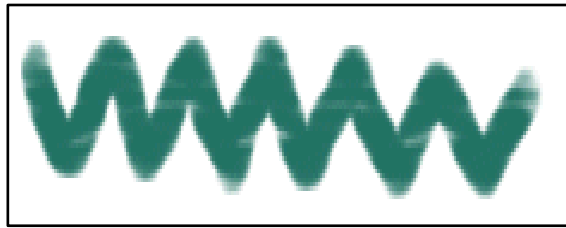


Figure 08 : *Spirulina platensis*. (Jarisoia, 2005)

Certaines souches initialement spiralées peuvent devenir ondulées ou droites, ceci est peut-être dû aux facteurs physicochimiques exogènes tels que la température, ou d'autres facteurs probablement liés aux changements génétiques

1.8. Reproduction :

Selon les espèces et les conditions environnementales, le temps de doublement des populations varie de quelques heures à plusieurs jours (Sguera, 2008), mais en général, la spiruline se développe de 25% chaque jour et sa quantité double en 4 jours (Manet, 2016).

Sa reproduction est végétative (asexuée) et s'effectue par scission simple, fission binaire ou multiple, par bourgeonnement ou fragmentation au hasard (Soizic, 2019).

Ali et al (2012) ont résumé les étapes fondamentales de son cycle de vie (figure 09) de la manière suivante :

- Le filament de Spiruline à maturité forme des cellules spéciales appelées Nécidies qui se différencient des autres cellules par leurs aspects biconcaves et sont assimilées à des disques de séparation ;
- La fragmentation des trichomes
- L'élargissement et la maturation des cellules hormogonales et l'élongation des trichomes (Maturation des trichomes et leurs divisions en filaments ou hormogonies)
- L'accroissement par fission binaire des cellules des hormogonies et leurs développements dans le sens de la longueur pour qu'elles prennent leur forme hélicoïdale.

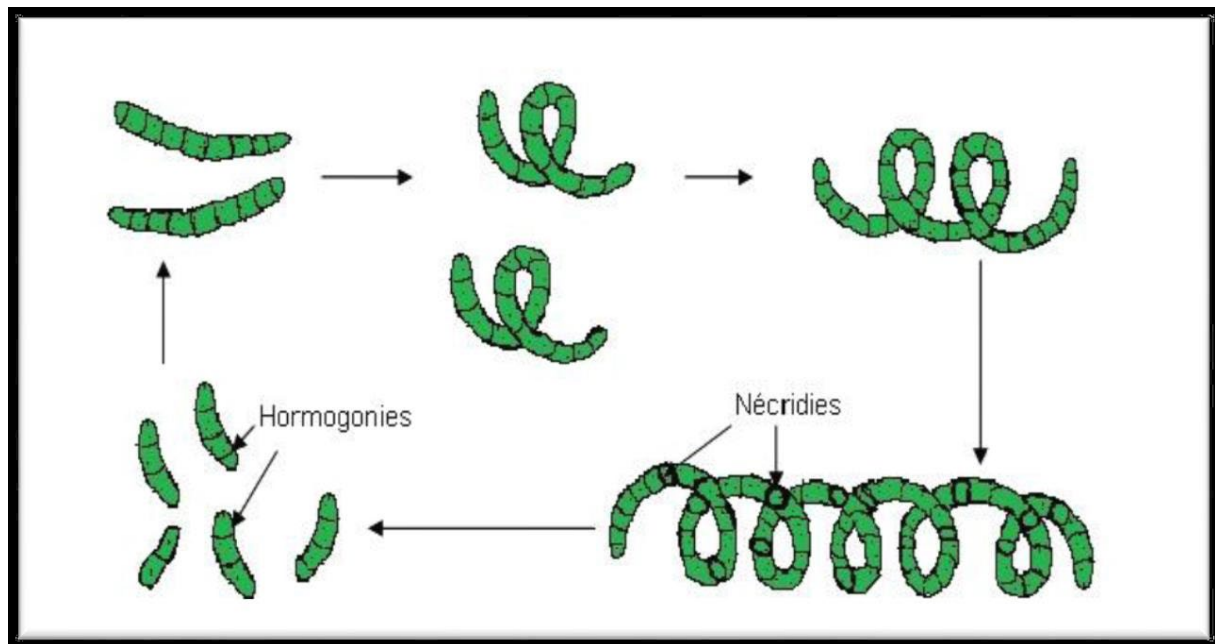


Figure 09 : Cycle biologique de la spiruline (Charpy et *al.*, 2008)

1.9. Composition nutritionnelle :

La composition de la spiruline varie selon les conditions de culture, la période de récolte, l'origine géographique, le procédé de récolte, de séchage, de broyage, de conditionnement, mais aussi par le taux d'ensoleillement et par le fait que certains industriels supplémentent les milieux de culture afin que la spiruline produite soit plus riche en fer, en zinc ou encore en acides gras. En général la spiruline est composée de 65 % de protéines, 15 % de glucides, 6 % de lipides, 7% 19 de minéraux et de 3 à 6 % d'eau. Cette composition est très complète et variée : avec un excellent apport en protéines, une bonne répartition de lipides, des glucides, des vitamines, des minéraux et des oligo-éléments. (Rogowski, 2008)

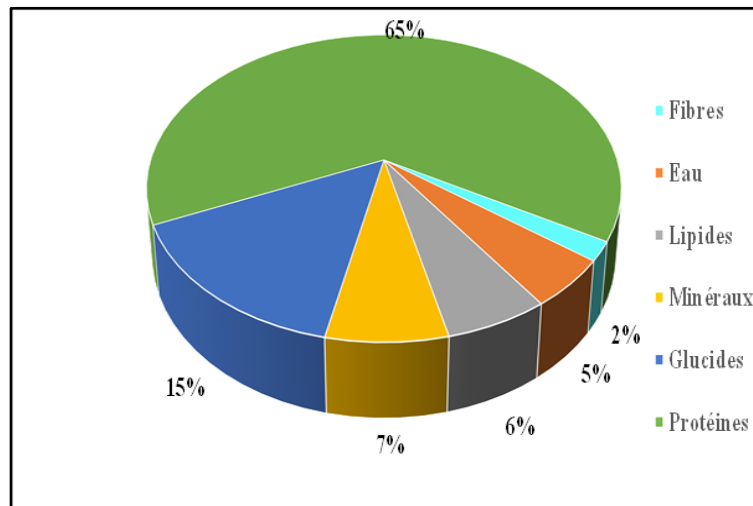


Figure 10 : Pourcentage des éléments nutritionnels de la spiruline

<https://www.ontario.ca/fr/page/les-algues-bleues> (dernière consultation 02/07/2024)

1.9.1. Protéines :

Les protéines représentent entre 50 et 70% du poids sec, ces valeurs sont tout à fait exceptionnelles, même parmi les micro-organismes. D'un point de vue qualitatif, ces protéines sont complètes, car tous les acides aminés essentiels figurent représentent 47% du poids total des protéines (Bujard *et al.*, 1970).

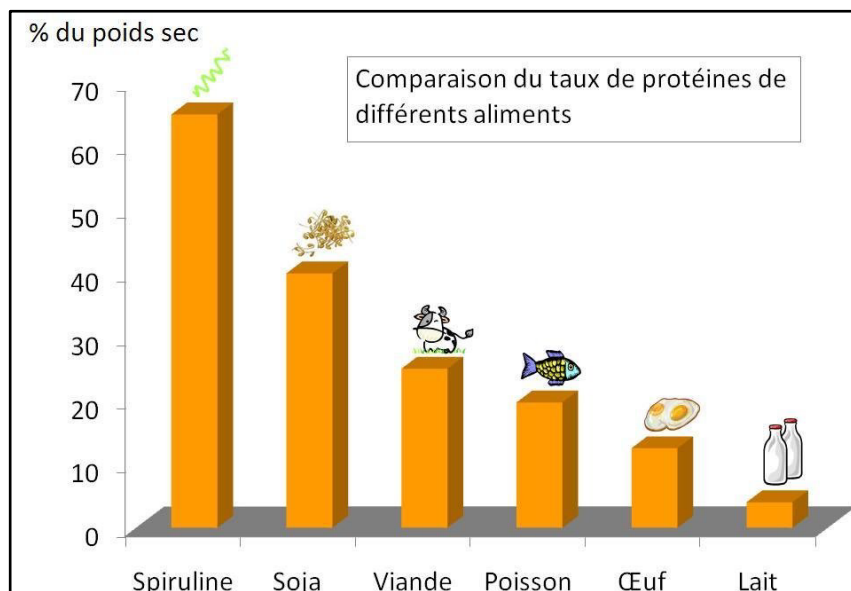


Figure 11 : Diagramme de positionnement de la spiruline par rapport à d'autres aliments

1.9.2. Lipides :

La composition en lipides se caractérise par un bon équilibre entre acides gras saturés et acides gras polyinsaturés.

La composition des principaux acides gras révèle la présence d'une forte concentration en acides gras essentiels, incluant des oméga-3 et des oméga-6 qui préviendraient l'accumulation de cholestérol dans l'organisme (**Hug et Von Der Wied, 2011**).

Ces lipides peuvent être séparés en une fraction saponifiable (83%) et une fraction insaponifiable (17%), contenant essentiellement des paraffines, des pigments, des alcools terpéniques et des stérols (**Clement, 1975**).

La Spiruline est considérée comme l'une des meilleures sources alimentaires connues d'acide γ -linoléique, après le lait humain et quelques huiles végétales peu courantes, fort chères et non chauffées (huiles d'onagre, de bourrache, de pépin de cassis et de chanvre) (**Cruchot, 2008**).

1.9.3. Glucides :

Représentant 15 à 25 % de la matière sèche, les glucides sont constituants de la membrane de la spiruline (**Mahavir, 2016**). Les glucides simples (fructose, glucose et Saccharose) sont en faible quantité comme le glycérol, mannitol et sorbitol. Cette faible proportion fait de la spiruline un aliment peu calorique.

Deux substances glucidiques sont importantes : le méso-inositol phosphate, excellente source de phosphore, et le calcium-spirulan un polysaccharide composé de rhamnose, fructose et en quantité moindre de ribose, mannose, glucose, xylose, soufre et calcium. Il a été isolé plusieurs équipes, et fait l'objet de nombreuses recherches qui seront abordées plus loin.

1.9.4. Minéraux et oligo-éléments :

La composition en minéraux de la Spiruline apparaît dans le tableau 05. On observe une grande variabilité dans les teneurs. Elle s'explique par le fait qu'elles concernent les spirulines en milieu naturel et celles cultivées. En outre, il est possible d'augmenter les teneurs en minéraux des organismes cultivés (**Falquait., et al 2006**).

Tableau 01 : Composition en minéraux de la spiruline en mg/g de sa matière sèche

Minéral	Quantité (mg)
Fer (Fe)	~28
Calcium (Ca)	~120
Magnésium (Mg)	~40
Potassium (K)	~140
Phosphore (P)	~80
Zinc (Zn)	~1.5
Cuivre (Cu)	~0.3
Manganèse (Mn)	~0.3
Sodium (Na)	~100
Sélénium (Se)	~0.005

1.9.5. Les vitamines :

La Spiruline offre de nombreuses vitamines qui contribuent au bon fonctionnement de notre organisme : des vitamines du groupe B (en particulier, vitamines B1, B2 et B12) qui participent au métabolisme énergétique et au fonctionnement du système nerveux et la β carotène, précurseur de la vitamine A, qui joue un rôle essentiel dans la vision, la reproduction des cellules et le fonctionnement normal du système immunitaire (**Miranda et al., 1998**).

La vitamine B12, la plus fortement représentée dans la Spiruline, est de loin la plus difficile à obtenir dans un régime sans viande, car aucun végétal courant n'en contient (la Spiruline est 4 fois plus riche que le foie cru, longtemps considérée comme meilleure source de vitamine B12) (**Jourdan, 2006**).

1.9.6. Les Enzymes :

De nombreuses enzymes entrent aussi dans la composition de la Spiruline, sortes de «facilitateurs » biologiques, dont l'exceptionnel SOD (super oxyde dismutase), qui représente une arme majeure contre l'oxydation ou le vieillissement cellulaire (**Ahounou, 2018**).

2. Culture de la spiruline :

2.1. Condition de culture :

Il existe trois facteurs essentiels déterminants pour la culture de la Spiruline la température, la lumière et le pH (Jourdan, 1999).

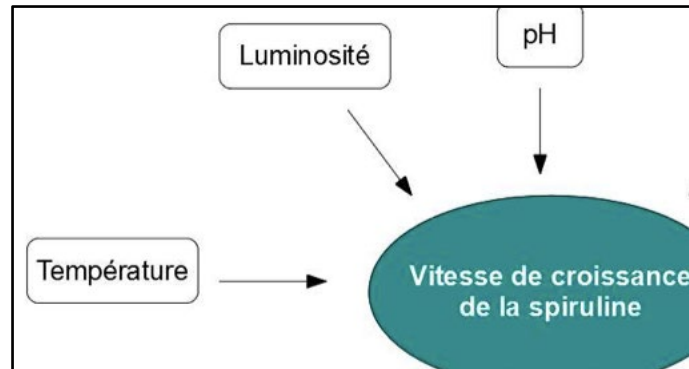


Figure 12. Condition de culture de la spiruline (Soizic, 2019).

2.1.1. 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).

2.1.2. Lumière :

La lumière influence directement la croissance de la spiruline qui est assurée par la photosynthèse ainsi qu'une forte intensité lumineuse peut conduire à la photolyse et pour l'éviter, il est convenable de vérifier deux conditions nécessaires (Fox, 1999)

2.1.3. pH :

La Spiruline se développe dans des milieux alcalins, avec un pH optimal entre 8 et 11, si cette variation n'est pas respectée, elle peut inhiber sa croissance. Le pH du milieu de culture doit être surveillé et ajusté régulièrement (Borowitzka, 2000).

2.2. Milieu de culture :

2.2.1. L'eau :

L'eau utilisée pour la culture de la Spiruline doit être propre et dépourvue de contaminants pouvant compromettre sa croissance, des sources d'eau appropriées, telles que l'eau de source ou de puits, ainsi que l'eau du robinet dé-chlorée, peuvent être utilisées (Richmond et Amos, 2008).

Une surveillance régulière de la qualité de l'eau et des ajustements éventuels, tels que la dé-chloration et la filtration, sont recommandés pour garantir des conditions optimales de croissance de la Spiruline (**Richmond et Amos, 2008**).

2.2.2. Les éléments nutritifs :

L'eau utilisé peut apporter de façon naturelle les besoins de la Spiruline pour se développer et limite ainsi la quantité d'intrants nécessaire à sa croissance. Le milieu de culture de la Spiruline doit être apporté tous les éléments suivants :(**Jordan, 1999**).

- **Bicarbonate de sodium (NaHCO_3)** : est la source d'alcalinité, qui peut aussi apporter par le natron ou l'eau de cendre.
- **Le phosphore (P)** : est indispensable pour la photosynthèse, apporté par n'importe quel Orthophosphate soluble.
- **L'azote (N)** : est un constituant important des acides aminés, qui apporté principalement par l'azote atmosphérique, et aussi l'urée.
- **Le carbone(C)** : c'est la nourriture principale de la spiruline, qui apporté principalement par le gaz carbonique, et aussi le sucre.
- **Les métaux** : essentiellement le fer, le bore et le magnésium.

3. Technique de culture de la spiruline :

Il existe 7 étapes principales :



Figure13 : Les différentes étapes de production de la spiruline

3.1. Ensemencement :

Dans un site dépourvu de la Spiruline, ou pour redémarrer avec une nouvelle souche, il doit démarrer avec un gramme de Spiruline concentré dans un volume de culture, si on veut travailler avec un volume important il s'agit de multiplier de volume de semence initiale, il est convenable de faire des cultures successives, si la concentration de culture est plus faible, il faut ombrer avec une agitation continue sinon la Spiruline va s'agglomère (**Jourdan, 1999**).

3.2. Agitation :

Elle est nécessaire pour assurer une bonne culture, au moins (2 à 4) fois par jour, qui augmente avec l'intensité de la lumière, cela permet d'assurer l'homogénéisation de la culture, répartition de l'éclairage, évité la formation des boues minéraux et aussi l'agglomération des filaments de la Spiruline (**Jourdan, 1999**).

Le mode d'agitation peut être, manuelle avec un balai ou électrique avec une pompe ou une roue à aubes, l'agitation peut être continue si on utilise une pompe sans danger sur la Spiruline. L'agitation nocturne continue favorise nettement l'autoépuration de milieu (**Jourdan, 1999**).

3.3. 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**).

3.4. 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

modélée, 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 (**Soizic, 2019**).

3.5. L'extrusion :

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

3.6. 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 (**Soizic, 2019**).

3.7. 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 (**Soizic, 2019**).

4. Application de la spiruline :

4.1. Application humaine :

4.1.1. Domaine alimentaire :

En agroalimentaire, elle est utilisée comme colorant naturel (la phycocyanine est un des rares pigments naturels de couleur bleue) dans les chewing-gums, sorbets, sucreries, produits laitiers, boissons non alcoolisées. Elle apparaît également dans une gamme de produits algaux mélangée à du sel, des tagliatelles, etc. En Suisse et au Japon, il existe depuis longtemps du pain à la spiruline (**Boudaoud, 2016**).

4.1.2. Domaine de santé :

Utilisée par les nutritionnistes et les médecins sous forme de poudre et mélangée avec des céréales et de l'eau pour aider les enfants souffrant de malnutrition sévère (**Fox, 1999**).

La Spiruline peut aider à diminuer l'excès de cholestérol et à améliorer la santé. Elle est un concentré de nutriments essentiels telles que les protéines et les vitamines B. seulement trois grammes par jour assurent la quantité suffisante en vitamine B12 et elle en contient deux fois plus que la viande (**Grosgogeat, 2009**).

4.1.3. Domaine cosmétique :

Grâce à ses propriétés anti-oxydants qui empêchent la formation de radicaux libres, la spiruline améliore la souplesse et l'élasticité de la peau et donc retarde son vieillissement et apporte brillance et résistance aux ongles et aux cheveux par les nutriments et les oligoéléments qu'elle concentre. Certains laboratoires de soins de beauté l'ont incorporé dans des crèmes, des shampoings ou des sérums (**Banks, 2007**).

4.2. Application animale :

4.2.1. Produit nutritionnel :

La Spiruline est utilisée comme complément alimentaire chez les animaux de compagnie (chiens, chats, les chevaux, les vaches, les poules, les poissons et les oiseaux) (**Henrikson, 1994**).

4.2.2. Stimuler le développement et la reproduction :

Des études sur les poissons d'aquarium et la crevette ont montré les effets bénéfiques de *Spirulina platensis* dans ce domaine (**Kim et al., 2006**).

4.2.3. Accroître la résistance immunitaire :

La Spiruline est ajoutée aux granulés dans la nourriture des poissons d'élevage, plus souvent soumis à des infections virales ou bactériennes que les poissons sauvages, à cause de l'effet immunostimulant de *Spirulina platensis* (**Watanuki et al., 2006**).

5. La fabrication du compote (purées de pomme) :

La transformation de pommes fraîches en purée comprend un certain nombre d'étapes qui impliquent des traitements thermiques et mécaniques qui eux-mêmes engendrent la **déstructuration plus ou moins poussée des tissus** de la pomme. Ces étapes sont décrites ci-après :

5.1. Nettoyage et tri de pommes :

D'abord les pommes entières sont lavées. Cette étape a pour objectif d'éliminer les éléments non désirables présents au niveau de la surface des fruits (particules de terre, résidus organiques, etc). Cela consiste à les faire passer dans un tunnel avec de l'eau pour enlever les impuretés. Les fruits lavés sont ensuite triés. Cette étape permet d'écarter les pommes n'ayant pas les qualités requises pour la fabrication de la purée, en général ce sont des pommes abîmées présentant des défauts visuels majeurs.

5.2. Pré-broyage :

Cette étape est faite dans un broyeur à « marteaux » qui permet de découper les pommes en petits morceaux. Lors de la perte d'intégrité cellulaire (par exemple à la découpe) et en présence d'oxygène, l'oxydation enzymatique des polyphénols des fruits a lieu sous l'effet de la polyphénoloxydase (PPO) (**Colin-Henrion, 2008**). Pour éviter ou diminuer les phénomènes d'oxydation et donc préserver la couleur des fruits en limitant les réactions de brunissement enzymatique, de l'acide ascorbique (**Martinez & Whitaker, 1995**) et de la vapeur sont injectés.

5.3. Raffinage :

Pendant le raffinage le produit est forcé au travers d'orifices, ce qui va écraser et déstructurer les morceaux de pomme.

5.4. Chauffage :

Ce premier traitement thermique, appelé également « break » (de l'anglais), amollit les tissus végétaux et vise à **inactiver les enzymes endogènes pectinolytiques** (Colin-Henrion, 2008). Ce traitement peut être effectué à des températures élevées, méthode connue sous le nom de « **Hot Break** », ou à des températures plus basses, le « **Cold Break** ».

5.5. Chambrage :

Cette opération permet de maintenir la température de la purée avant le dégazage.

5.6. Dégazage :

Il s'agit d'une désaération sous vide qui permet d'enlever l'air qui se trouve éventuellement dans le produit.

5.7. Pasteurisation/ Stérilisation :

L'objectif de ce deuxième traitement thermique est de **détruire significativement les micro-organismes** pour augmenter le niveau de sécurité sanitaire du produit final et assurer une conservation de longue durée à température ambiante

5.8. Conditionnement :

Dans certains cas le produit est stérilisé dans son emballage (pot ou boîte de conserve) et dans d'autres cas le conditionnement se fait après la stérilisation dans des conditions stériles dans l'emballage souhaité (poches aseptiques, gourdes, petits pots, etc)

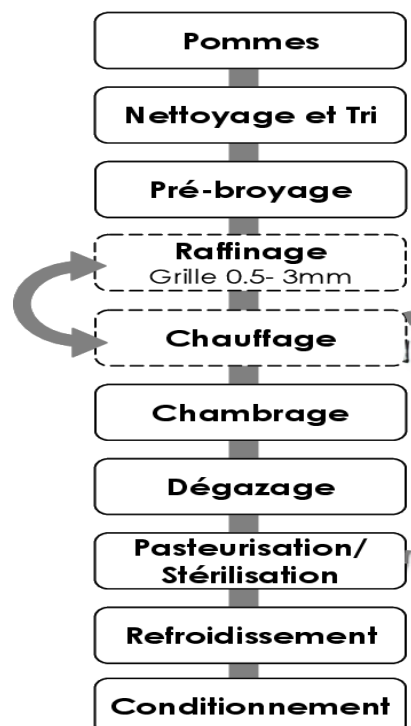


Figure 14 : Etapes de fabrication de la purée de pomme (en pointillés les étapes qui peuvent être interverties).

CHAPITRE II :

Matériel et méthode

1. La culture de la spiruline :

1.1. Objectif :

Le but de notre étude est de savoir comment cultiver la spiruline et à partir du matériel extrait (poudre) essayer de faire de la compote de pommes, qui est un aliment pour les enfants, et de connaître les utilisations de ce matériel (spiruline) dans les domaines humains et animal.

1.2. Lieux et période de stage :

Afin de mener cette étude sur la Spiruline et de tout apprendre à son sujet, nous avons effectué un stage à l'Ecole de formation technique de pêche et d'aquaculture situé à Beni Saf dans la wilaya d'Ain Temouchent. Cela s'est produit tous les mercredis pendant deux mois et demi, de 29/01/2025 à 06/05/2025



Figure 15 : Ecole de formation technique de pêche et d'aquaculture Beni Saf Ain Temouchent (originale)

1.3. Matériel :

1.3.1. Matériel biologique : Le matériel biologique utilisé pour la culture c'est l'algue bleu-vert (*Arthrospira platensis*)

- La souche d'*Arthrospira platensis* rapporté de l'école de formation technique de pêche et d'aquaculture de Beni Saf (figure 16)



Figure 16 : La souche mère de Spiruline (originale)

1.3.2. Matériel du laboratoire :

- Bouteille de plastique 5 litre
- Compresseur d'aquarium (annexe)
- pH mètre
- Balance électronique (annexe)
- Microscope optique (annexe)
- 1 litre d'eau de source
- Lampe Led (annexe)

1.4. Méthode :

On a commencé à cultiver la spiruline en petite quantité pour s'habituer aux phénomènes naturels et apprendre à utiliser les outils qu'on a fabriqués nous-mêmes. Par contre, on ne peut pas vraiment garantir la qualité de la spiruline produite à un endroit précis, avec un climat et des conditions particulières.

1.4.1. Préparation de milieu de culture :

❖ Pour l'application humaine :

On a ajouté 1 litre d'eau de source dans une bouteille de plastique alimentaire propre transparente pour profiter plus de luminosité, une lampe Led aidé la lumière naturelle a arrivé à la luminosité souhaitable de 12h par jour, Nous remuons ce mélange de temps en temps pour assurer un mélange homogène du nutriment et une distribution uniforme des cellules de Spiruline.

Ensuite, on a dissous les produits du milieu de culture recommandé par Jourdan (2018). Le tableau 2 présente notre propre interprétation de ce milieu de culture.

Tableau 2 : Produits ajouté pour une culture de 1 litre de milieu de culture

Milieu Produits	Eau	Bicarbonate	Sel
	1litre d'eau de robinet	8gr	5gr

❖ Pour l'application animale :

Nous répétons les mêmes étapes de la première utilisation, seulement nous ajoutons une cuillère à soupe de NPK pour chaque 5 litres de milieux de culture. NPK : le NPK est un engrais solide complet, riche en soufre.

1.4.2. Ensemencement :

Avant d'introduire la spiruline pure dans le milieu de culture, le pH a été contrôlé à l'aide d'un pH-mètre (Figure 17) et ajusté si besoin, à l'aide de bicarbonate de sodium (annex), afin de le maintenir entre 9 et 10. Pour prévenir tout choc thermique, la température de la souche a été préalablement équilibrée avec celle du milieu de culture.

L'ensemencement a ensuite été effectué en veillant à ce que la densité cellulaire initiale soit suffisante pour favoriser une croissance optimale (Jourdan, 2018).

La souche a été ajoutée de manière progressive et délicate, afin de limiter les variations de température, puis le milieu a été mélangé doucement pour assurer une distribution homogène des cellules.

Ensuite l'étape la plus importante la Surveillance et ajustement :

Le pH et la température ont été vérifiés quotidiennement. En cas de baisse du niveau d'eau, causée par l'évaporation, de l'eau propre était ajoutée afin de maintenir la profondeur optimale du milieu de culture.

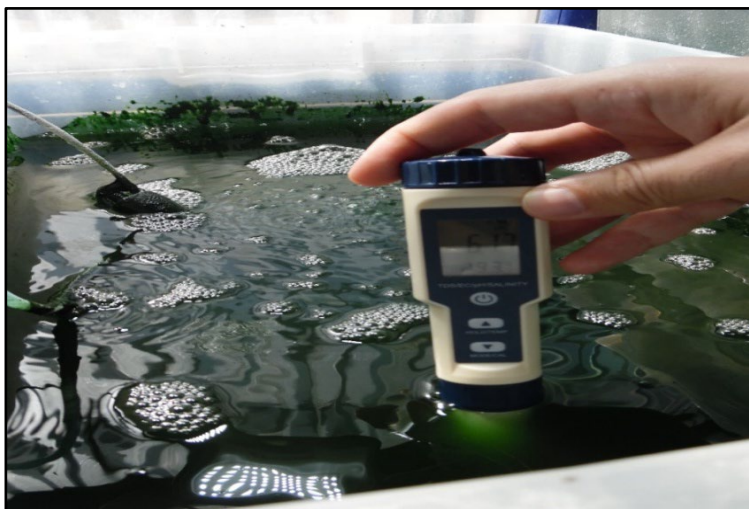


Figure 17 :pH mètre pour mesure le ph d'une solution (originale)

Selon Jourdan (2018), il convient de dissoudre les nutriments mentionnés dans le tableau 3 pour préparer un milieu d'enrichissement de 1 litres, à renouveler une fois par semaine.

Tableau 3 : milieu d'enrichissement de la Spiruline pour un milieu de culture de 1 litre

Bicarbonate de sodium (NaHCO_3)	16g
Nitrate de sodium (NaNO_3)	2 ,5 g
Phosphate dipotassique (K_2HPO_4)	0,5g
Chlorure de sodium (NaCl)	1g
Sulfate de magnésium(MgSO_4)	0,16g
Sulfate de fer (FeSO_4)	0,01g
Sulfate de calcium (CaSO_4)	0,04g
Sulfate de potassium (K_2SO_4)	1g

1.4.3. La récolte :

On sépare la spiruline de l'eau avec le tissu de tamisage à maille fin figure 18



Figure 18 : Tissu de tamisage (originale)

1.4.4. Le séchage :

Après la récolte, on répartir la spiruline en fine couche sur une surface propre, puis la laisser sécher au soleil pendant 48 heures au maximum pour permettre l'évaporation de l'eau et obtenir une spiruline sèche (Figure 19).



Figure 19 : Spiruline sèche (originale)

2.Fabrication du compote (protocole personnelle) :**1.1.Matériel :**

- ✓ Casserole
- ✓ Mixeur
- ✓ Petite cuillère
- ✓ Petite boîte en ver alimentaire
- ✓ Pommes
- ✓ Miel

2.1. Méthode de fabrication de compote :

Éplucher les pommes 500 g, les couper en petits morceaux et les mettre dans une casserole avec un peu d'eau 100 ml et un peu de miel 10 ml. Faites cuire environ 30 min à feu doux.

Ensuite lorsque les pommes sont fondantes, écrasez-les ou mixez-les Servez tiède ou réservez au réfrigérateur



Figure 20 : compote de pomme

3.Mélange du produit final :

On a mélangé la compote de pommes obtenue (350g) avec la spiruline(5g) afin d'obtenir le produit souhaité, dans le but d'améliorer le goût de la spiruline pour les nourrissons et de leur faire bénéficier de ses bienfaits



Figure 21 : produit obtenu (compote au spiruline) (originale)

CHAPITRE III :

Résultat et discussions

Pour cette étude, et comme mentionné au niveau des chapitres précédents, nous avons préparé de la compote de pommes afin d'atteindre la nutrition humaine (nourrissons), et à partir de là, nous avons obtenu plusieurs résultats qui montrent la valeur de la spiruline et le changement des valeurs nutritionnelles de la compote de pommes après l'avoir ajoutée, et c'est ce que nous remarquerons.

1. L'incorporation de la spiruline à la compote :

À la suite de la culture de la spiruline, une compote de pommes enrichie en spiruline a été élaborée. Cette démarche s'inscrit dans une approche d'innovation alimentaire visant à associer un produit traditionnel à une micro-algue reconnue pour ses qualités nutritionnelles. L'objectif est de développer un aliment fonctionnel, alliant qualités organoleptiques et apport en nutriments bénéfiques pour la santé.

Tableau 4 : Valeurs nutritionnelles estimées pour 350 g de compote, avec 5g de spiruline

Nutriment	Quantité pour 350 g de compote + 5 g de spiruline
Énergie (kcal)	~186 kcal
Protéines	~3,8 g
Glucides	~45 g
– dont sucres	~36 g
Lipides	~0,8 g
– dont saturés	~0,3 g
Fibres	~5,5 g
Fer	~5,2 mg
Calcium	~27 mg
Magnésium	~33 mg
Vitamine B12	~0,03 µg*
Bêta-carotène (provit. A)	~2,7 mg

Les résultats obtenus dans le tableau 4, ont été représentés sur la figure 22 :

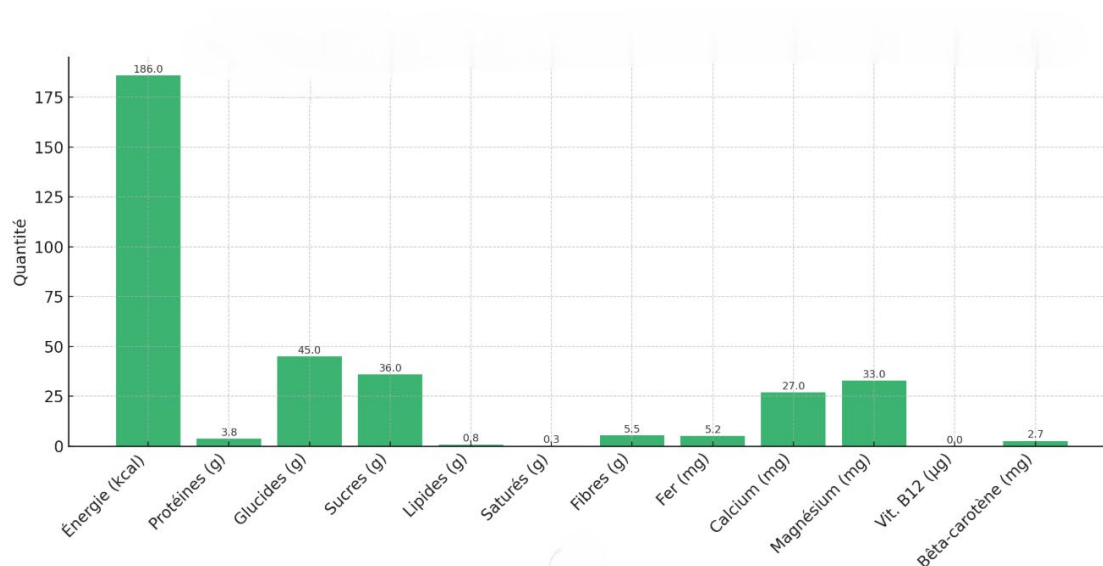


Figure 22 : valeur nutritionnelles de 5 g de spiruline dans 350 g de compote de pommes

Interprétation :

L'ajout de 5 g de spiruline augmente significativement la teneur en **protéines** et en **fer**, tout en apportant un léger gain énergétique. Cette amélioration nutritionnelle est intéressante dans une logique de **produit fonctionnel**, destiné à enrichir l'alimentation humaine, notamment pour des populations à risque de carences (en fer ou en protéines).

2. Analyse sensorielle de la compote à la Spiruline :

L'analyse sensorielle est une méthode scientifique qui permet d'évaluer, de mesurer et d'interpréter les réactions des individus face aux caractéristiques organoleptiques d'un produit alimentaire. Dans le cadre de cette étude, elle a été utilisée pour apprécier l'impact de l'incorporation de spiruline sur les propriétés sensorielles de la compote de pommes.

Cette méthode est couramment utilisée dans l'industrie alimentaire, les cosmétiques, les produits pharmaceutiques et bien d'autres domaines pour évaluer la qualité des produits, développer de nouveaux produits et comprendre les préférences des consommateurs (LAWLESS et al., 2010).

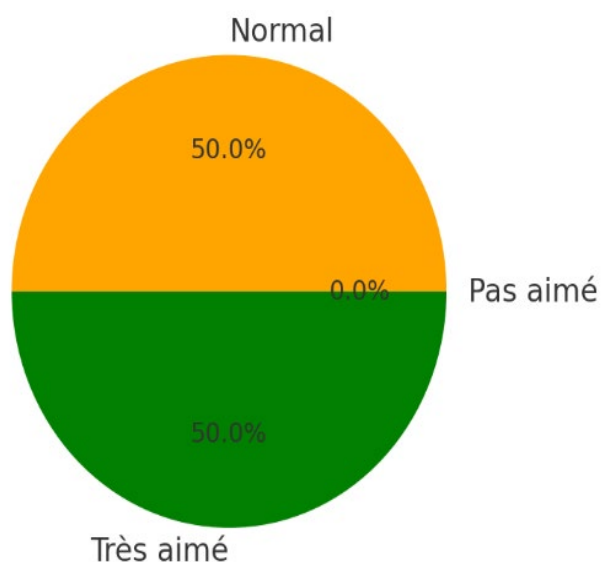
Les résultats concernant les analyses sensorielles sont présentés dans le tableau ci-dessous

Tableau 5 : Résultats de l'évaluation sensorielle de la compote enrichie à la spiruline (n = 10)

Critère sensoriel	Pas aimé (n)	Appréciation normale (n)	Très apprécié (n)
Goût	1	4	5
Couleur	0	5	5
Odeur	0	6	4
Texture	0	5	5

L'évaluation sensorielle montre que la majorité des participants ont trouvé la compote agréable à consommer, notamment pour la texture et la couleur. Le goût, bien qu'apprécié par 50 % des testeurs, reste un facteur à surveiller pour les futurs développements, en raison de la saveur caractéristique de la spiruline.

□Couleur : 50 % très aimé, 50 % normal, 0 % pas aimé.

**Figure 23 :**Un camembert représentant la différence d'opinions sur la couleur

Odeur : 40 % très aimé, 60 % normal, 0 % pas aimé.

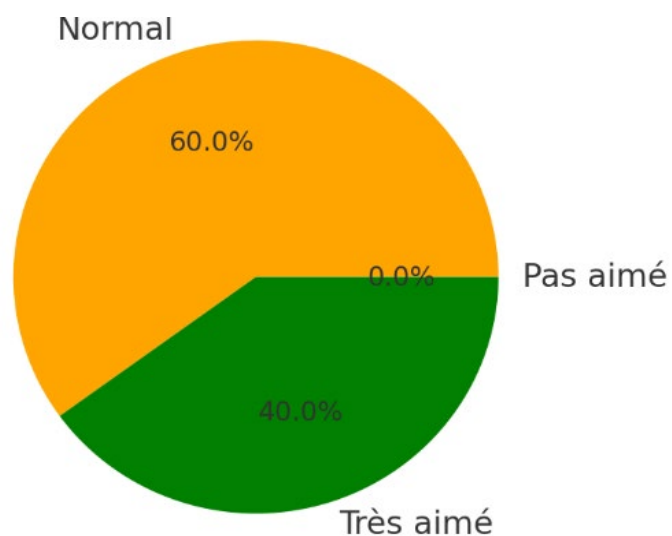


Figure 24 : Un camembert représentant la différence d'opinions sur l'odeur

Texture : 50 % très aimé, 50 % normal, 0 % pas aimé.

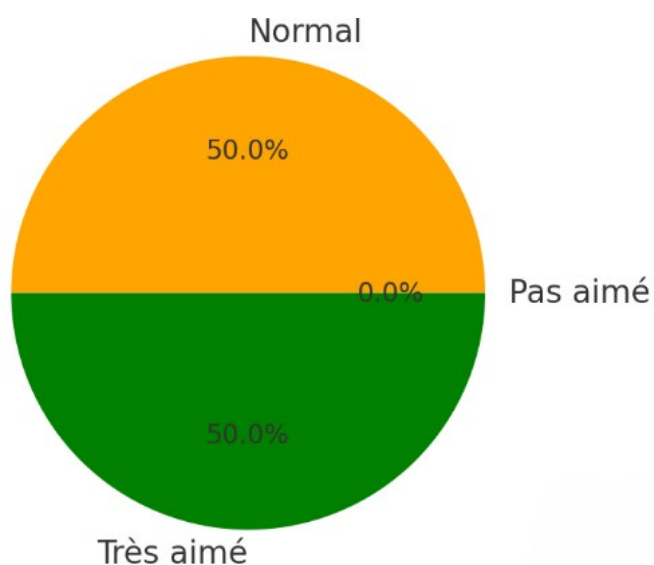


Figure 25 : Un camembert représentant la différence d'opinions sur la texture.

Goût :50 % très aimé, 40 % normal, 10 % pas aimé.

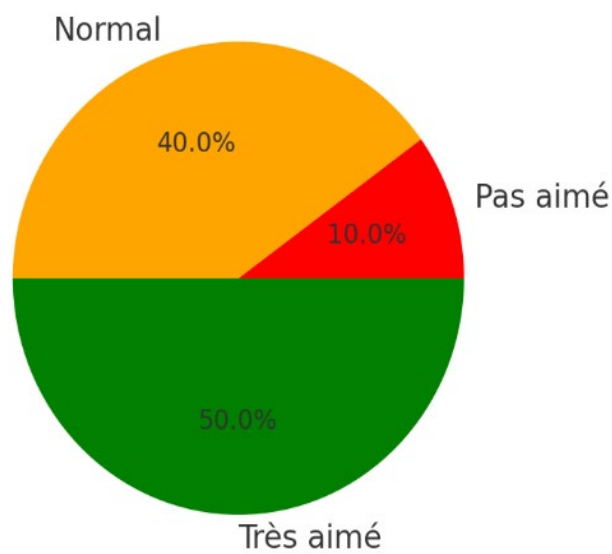


Figure 26 : Un camembert représentant la différence d'opinions sur le goût.

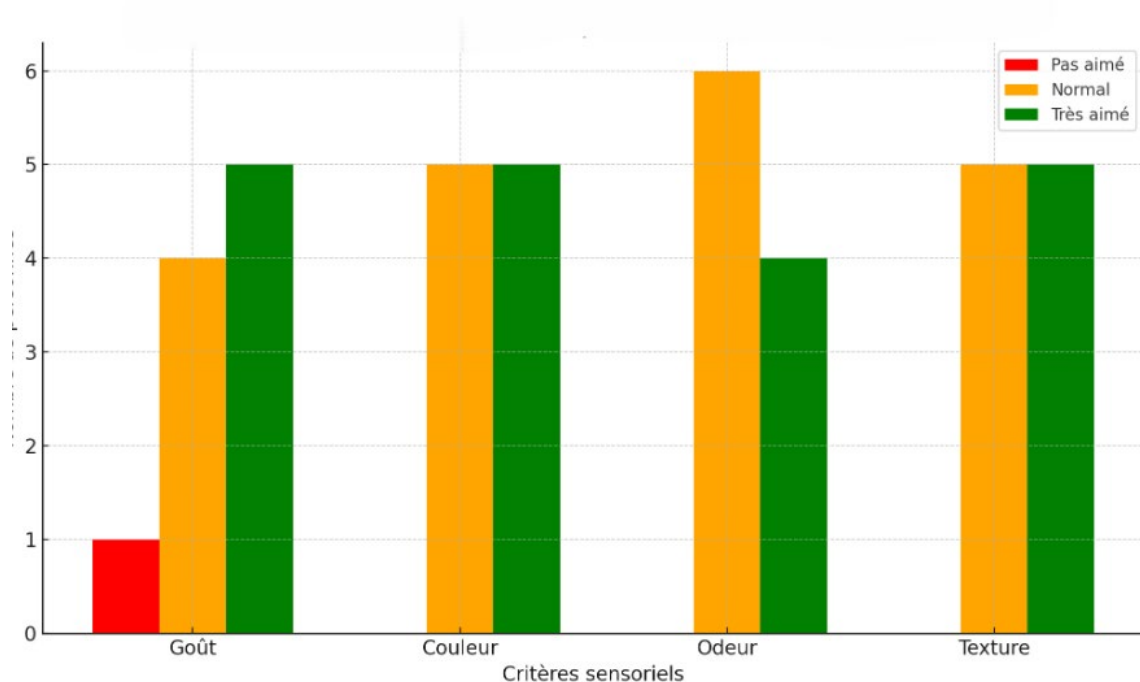


Figure 27 :évaluation sensorielle de la compote enrichie a la spiruline (n=10)

Interprétation générale des résultats sensoriels :

L'analyse sensorielle menée auprès de 10 panélistes révèle une **bonne acceptabilité globale** de la compote enrichie à la spiruline, à travers quatre critères : goût, couleur, odeur et texture.

- **Goût** : Malgré un avis négatif (10 % des participants), la majorité des évaluateurs (50 %) ont jugé le goût **très agréable**, et 40 % l'ont trouvé **acceptable**. Cela montre que le goût, souvent perçu comme un frein avec la spiruline, a ici été bien intégré à la formulation du produit.
- **Couleur** : Aucun participant n'a exprimé de rejet. La moitié a trouvé la couleur **normale**, et l'autre moitié l'a **très appréciée**, ce qui démontre une bonne perception visuelle du produit, probablement grâce à une maîtrise de la proportion de spiruline pour éviter une teinte trop marquée.
- **Odeur** : Ce critère reste le moins apprécié, bien qu'aucun avis négatif n'ait été rapporté. 60 % des participants jugent l'odeur **normale**, contre 40 % qui l'ont **très appréciée**. Cela suggère une certaine **neutralité olfactive**, qui pourrait être améliorée pour renforcer l'attrait sensoriel global.
- **Texture** : Comme pour la couleur, la texture est très bien perçue : 50 % des participants l'ont **très aimée**, et 50 % la trouvent **normale**. Aucun rejet n'a été signalé, ce qui confirme une **bonne maîtrise de la consistance**, souvent affectée par l'ajout de micro-algues.

Conclusion :**Alimentation humaine :**

Ces résultats mettent en évidence une **formulation sensoriellement équilibrée**, avec une **bonne tolérance du goût et de la couleur**, et une **texture appréciée**. L'odeur, bien que neutre, constitue un axe potentiel d'amélioration pour optimiser l'acceptabilité globale du produit. Globalement, la compote enrichie à la spiruline présente un **fort potentiel d'acceptation par les consommateurs**

Domaine de santé :

La spiruline intervient au niveau du système immunitaire. Elle active les macrophages et les cellules NK. Elle induit la production d'anticorps, et active également les cellules T et B (MATHEW et al., 1995). Elle a des effets immunomodulateurs en augmentant la production des cytokines (interleukine-4 (IL-4), l'interféron- γ (IFN- γ), l'interleukine-2 (IL-2) et de Natural

killer (NK). Elle a des effets anti-inflammatoires, antianémiques (augmentation de l'hémoglobine), anticancéreux, hépato-protecteur.

La spiruline contribue à augmenter le taux de cholestérol HDL et à diminuer les autres paramètres lipidiques (cholestérol total, cholestérol LDL, cholestérol VLDL, triglycérides) chez l'homme. Elle a diminué aussi le taux du glucose sanguin (la réduction de l'Hémoglobine glyquée (HbA1c) chez l'homme. Ces modifications des paramètres lipidiques ont été observées avec des doses de spiruline allant de 1 g/j à 8 g/j pendant 6 semaines à 2 mois. En outre, une diminution des fréquences cardiaques et de production des apolipoprotéines.(**KERMICHE &KOUIDRI, 2021**)

Domaine de cosmétique :

-L'étude rhéologique a permis d'affirmer que le procédé de la formulation de gel à base de spiruline que nous avons adopté est reproductible.

-Le test de capacité anti-oxydante a démontré que la poudre de spiruline présente un potentiel réducteur susceptible d'avoir des applications dans la formulation de produits dermo-cosmétiques offrant ainsi la possibilité de substituer ou de diminuer l'utilisation de substances anti-oxydantes synthétiques.

-La phycocyanine est une molécule très délicate à extraire en raison de sa grande instabilité en phase aqueuse, en cas de contamination bactérienne, cette molécule se dégrade très rapidement et perd ses propriétés anti-oxydantes.

-L'incorporation de la spiruline dans un gel à utilisation dermique est possible car la troisième formulation du gel conçu s'est avérée stable.(**MERAH &BOUZOUIDJA ,2021**)

Alimentation animale :

Les souris ayant reçu une concentration de 80mg/l de spiruline ont eu une réponse rapide envers leur régime alimentaire se traduisant par un faible gain de poids, un faible taux de glycémie sanguine, un taux plus élevé du rapport de *Escherichia coli* / *Bifidobacterium* et un taux de globules rouges et de plaquettes sanguines plus élevé et cela en comparaison avec notre lot témoin. Il serait intéressant d'utiliser la spiruline dans la lutte thérapeutique ou préventive vis-à-vis des maladies d'origine alimentaire et autres.(**BOUZAR & GHARZOULI, 2011**)

CONCLUSION

À travers ce travail de recherche, nous avons exploré les nombreuses potentialités de la spiruline, une micro-algue aux propriétés nutritionnelles et fonctionnelles remarquables, dans le domaine de l'alimentation humaine et animale. Dans un contexte mondial marqué par la croissance démographique, le changement climatique et la nécessité de repenser nos systèmes alimentaires, la spiruline s'impose comme une ressource naturelle stratégique, à la fois durable, nutritive et respectueuse de l'environnement.

Notre étude s'est articulée autour d'un double objectif : d'une part, analyser les avantages et les limites de l'utilisation de la spiruline dans la nutrition, et d'autre part, mettre en œuvre une application concrète à travers l'enrichissement d'un produit alimentaire courant – en l'occurrence, une compote de pomme – afin d'évaluer son potentiel en tant qu'aliment fonctionnel.

L'enrichissement de la compote de pomme a permis d'illustrer de manière concrète les bénéfices nutritionnels apportés par la spiruline, notamment en termes d'augmentation de la teneur en protéines, en fer, et en antioxydants. Cependant, cette démarche a également mis en lumière certains défis techniques et sensoriels, comme le changement de couleur du produit et l'impact sur le goût. Il a donc été nécessaire de réaliser plusieurs ajustements de formulation afin de trouver un équilibre entre amélioration nutritionnelle et acceptabilité par le consommateur.

Ce travail a aussi permis de souligner l'importance de l'innovation dans le développement de nouveaux produits alimentaires sains et accessibles. La compote enrichie à la spiruline peut être envisagée comme une piste intéressante pour lutter contre certaines carences nutritionnelles, notamment chez les enfants ou les personnes âgées, tout en intégrant une dimension durable et naturelle dans la formulation des aliments.

Concernant l'alimentation animale, notre revue bibliographique a montré que la spiruline peut améliorer la croissance, renforcer l'immunité, et remplacer certains additifs de synthèse, ce qui en fait une alternative prometteuse pour une agriculture plus respectueuse de l'environnement et de la santé animale.

Malgré tous ces avantages, le développement de la spiruline à grande échelle reste freiné par plusieurs obstacles : coût de production relativement élevé, manque de structuration de la filière, questions réglementaires, et méconnaissance du produit par le grand public.

Conclusion :

En conclusion, la spiruline possède un potentiel réel pour répondre aux défis alimentaires actuels et futurs. Le travail réalisé dans le cadre de ce mémoire, notamment l'élaboration de la compote enrichie, démontre qu'il est possible d'intégrer cette micro-algue dans des produits alimentaires accessibles, tout en apportant une réelle valeur ajoutée nutritionnelle. Poursuivre les recherches dans ce domaine, soutenir la production locale et sensibiliser les consommateurs seront des étapes essentielles pour faire de la spiruline un acteur clé de l'alimentation de demain.

RÉFÉRENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

AHOUNOU, M.N., 2018. La spiruline : un complément alimentaire en conseil à l'officine, Enquête d'utilisation. Doctoral dissertation, Université de Rouen.

Ali M.G., DANKOKO B., BADIANE M., EHUAEE., KUWAKUWI N., 1999:La Spiruline, Une Source Alimentaire à Promouvoir, Laboratoire de Chimie Thérapeutique, Dakar, Sénégal, Article 46 (3).

BANKS, J., (2007). Etude de la Spiruline au Palacret, Etudier la Faisabilité de la Mise en Place d'une Filière Spiruline sur le site du Palacret, dans les Côtes d'Armor, Manuel, 10-11p.

BERROUANE H, BOUAISSI L ,(2023), Valorisation des bioressources marines dans des formulations pharmaceutiques. Master. Université de Blida1. 112p.

BOROWITZKA, M.A. "Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters."Journal of Biotechnology, 2000.)

BOUDAUD, S., (2016). Incorporation de la Spiruline sur les Qualités Nutritionnelles, Organoleptiques et Technologiques du Couscous Artisanal, Mémoire de Master en Agronomie, Université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen. 35p.

BOUZAR, A. T., & GHARZOULI, S. C. (2011). Effet d'une supplémentation de la spiruline dans l'alimentation animale sur la physiologie du cobaye (souris Balb/c) (Mémoire de Master, Université Saad Dahlab - Blida, Faculté des Sciences Agro-Vétérinaires, Département des Sciences Agronomiques, Spécialité Sciences Alimentaires).90p. Browning. *Trends in Food Science & Technology*, **6**(6), 195-200.

BUJARD, E., BRACO, U., MAURON, J., MOTTU, F., NABHOLZ, A., WUHRMANN, J.J. et CLEMENT G. (1970). Composition and Nutritive Value of Blue Green Algae (*Spirulina*) and their Possible Use in Food Formulations. *3rd.international Congress of Food Science and Technology, Washington*.

CHARPY L., LANGLADE M. J., ALLIOD R., 2008.La Spiruline peut-elle être un Atout pour la Santé et le Développement en Afrique ? Institut de recherche pour le développement, Marseille, p 6, 16.

Références Bibliographiques :

CHERIFI A, MEKHISSI M ,2008, Contribution à l'évaluation de la pollution marine par les métaux lourds chez les algues (cas de Bouzadjer) Wilaya de Ain Temouchent. Master, Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib.65p.

CLEMENTG., (1975).Production et constituants caractéristiques des algues *Spirulina maxima* et *platensis*. Ann. Nutr. Aliment. 29(6), pages 477-487.

COLIN-HENRION, M. (2008). De la pomme à la pomme transformée: Impact du procédé sur consultation le 15 mars 2016)

CRUCHOT H. (2008) La spiruline: bilan et perspectives. Thèse d'exercice. Université de Franche-Comté. Faculté de médecine et de pharmacie, 2008.

FALQUET, J., HURNI, J.P., 2006. Spiruline, Aspects Nutritionnels, Antenna Technologies, 41p.

FOX.1999 .Spiruline, Technique ,pratique et promesse .EDISUD, 246 page . France. 274p.

GERSHWIN, M. E., & BELAY, A. (2007). 1st Edition. Spirulina in Human Nutrition and Health. CRC Press.328p.

GOULAMABASSE T,(2018), LA SPIRULINE : ACTIVITES THERAPEUTIQUES ET SON INTERET DANS LA LUTTE CONTRE LA MALNUTRITION A MADAGASCAR- thèse de Doctorat, Université de LILLE .135 p.

GROSGOGEAT H., (2009). ‘‘Ma promesse anti-âge. « Ralentir le vieillissement, Maigrir durablement, Combattre les maladies modernes »’’. Ed Odile Jacobe, 212p. Paris

HENRIKSON, (1994). Earth food Spirulina, How this remarkable blue-green algae can transform your health and our planet. RonoreEnterprises Inc., U.S.A.

HUG C et VON Der Wied D., (2011). La Spiruline dans la lutte contre la malnutrition, Bilan et perspectives. Antenna Technologies, Genève, 30 p. international biotechnology, Inde, PPP58, 96,97.

JORDAN, (1999) sugar as a source of carbon for spirulina (*Arthrospira platensis*) culture,

JOURDAN, PAUL., (2006) : Manuel de culture artisanale de la Spiruline.

KERMICHE, A., KOUIDRI, O. (2021). La culture et les intérêts nutritionnelle et thérapeutique de la spiruline *Arthrospira platensis* (Mémoire de master). Université Mohamed Khider Biskra.

KIM, H., PARK, J., LEE, S., & CHOI, Y. (2006). *Effects of Spirulina supplementation on growth performance and immune response in animals.* Journal of Applied Phycology, 18(5), 497–504

LAWLESS, H. T., & HEYMANN, H. (2010). Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices.

MAHAVIR J. (2013) SPIRULINA: THE BENEFICIAL ALGAE. Disponible sur:

MANET, A. (2016). La spiruline : Indications Thérapeutiques, Risques Sanitaires et Conseils à l'Officine. Thèse présentée pour l'obtention du titre de Docteur en pharmacie. Diplôme d'État. Université Grenoble Alpes. Faculté de Pharmacie de Grenoble. 116p

MARTINEZ, M. V. & WHITAKER, J. R. (1995). The Biochemistry and Control of Enzymatic

MERAH, H., & BOUZOUIDJA, L. (2021). Étude des propriétés biochimiques et microbiologiques d'un produit de soin dermatologique à base de spiruline [Mémoire de Master, Université Saad Dahlab - Blida 1, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biologie et Physiologie Cellulaire]. Promotion 2020/2021. 48 p.

MIRANDA M. S., CINTRA R. G., BARROS S. B., (1998). Antioxydant Activity of produits transformés. *Thèse de Doctorat.* Ecole Supérieure d'Agriculture. Angers,

RICHMOND, A. (2008). "Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology." John Wiley & Sons, 2008.

SALL M.G., DANKOKO B., BADIANE M., EHUA E., KUWAKUWI N., (1999). La Spiruline, Une Source Alimentaire à Promouvoir, Laboratoire de Chimie Thérapeutique, Dakar, Sénégal, Article 46 (3)

Références Bibliographiques :

SGUERA, S. (2008). Spirulina platensis et ses constituants : intérêts nutritionnels et activités thérapeutiques (Doctoral dissertation, UHP-Université Henri Poincaré). 175p

SOIZIC LOUVEL .2019. La spiruline : intérêts humanitaires et thérapeutiques, Sciences pharmaceutiques,dumas-02294252

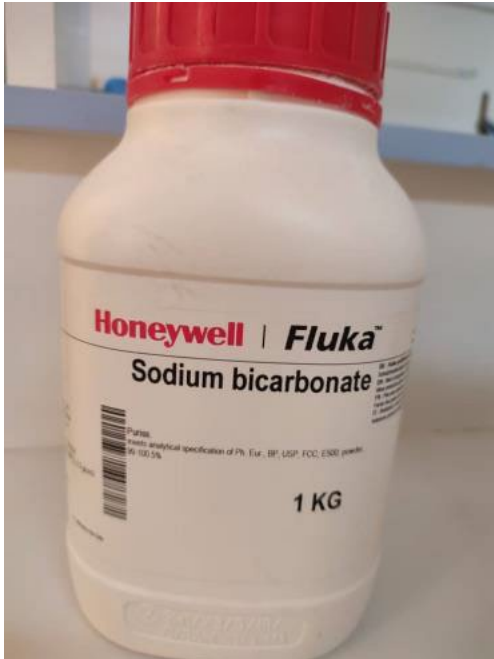
SOIZIC, L. (2019). La spiruline : Intérêts humanitaires et thérapeutiques. Thèse de Doctorat en Pharmacie. Université d'Aix-Marseille. France. 95p.Springer. Themicoalga Spirulina maxima, Braz J Med Biol Res, 1998; 31: 1075-9.

VONSHAK A., (2002).Spirulinaplatensis (Arthrospira) : Physiology, Cell-biology and Biotechnology, p 1-17.

WATANUKI. H, OTA. K, et al. (2006).Immunostimulant effects of dietary *Spirulinaplatensis* on carp, *Cyprinus carpio*. Aquaculture 258.p 157-163.

LES ANNEXES

Les annexes :



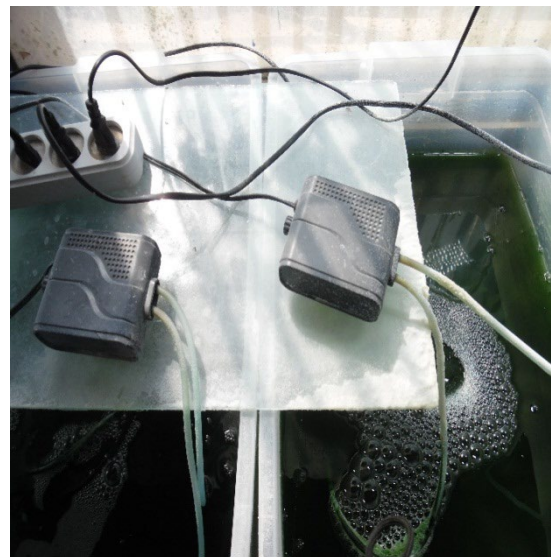
**Annexe 01 : Bicarbonate Sodium (originale)
(originale)**



Annexe 03 : Lampe Led



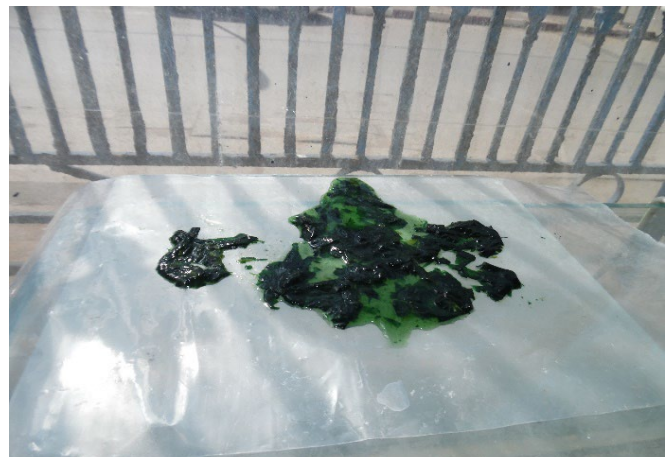
Annexe 02 : Microscope optique (original)



**Annexe 04 : Compresseur d'aquarium
(Originale)**



Annexe 05 : Balance électrique (originale)



Annexe 06 : La spiruline avant le séchage
(Originale)



Annexe 07 : La spiruline en poudre (originale)

Date: _____ Lieu: _____

Nom du dégustateur: _____

Critère	Pas aimé	Normal	Très aimé
Visuel	☐	☐	☐
Odeur	☐	☐	☐
Texture	☐	☐	☐
Goût	☐	☐	☐

Annexe 08 : questionnaire (originale)

Résumé :

Dans un contexte de recherche de solutions alimentaires plus durables et riches en nutriments, cette étude s'intéresse à l'enrichissement d'une compote de pomme par l'ajout de spiruline, une micro-algue reconnue pour ses propriétés nutritionnelles exceptionnelles. Le travail vise à évaluer les effets de l'incorporation de spiruline sur la qualité nutritionnelle, les propriétés physico-chimiques et les caractéristiques organoleptiques du produit final. Une série d'analyses de laboratoire ont été réalisées, notamment des mesures de pH, de teneur en protéines, en chlorophylle et en antioxydants. Parallèlement, une évaluation sensorielle a été conduite auprès d'un panel de dégustateurs afin d'apprécier l'acceptabilité du produit. Les résultats montrent que la spiruline améliore significativement la valeur nutritionnelle de la compote, bien que son impact sur la couleur et le goût puisse influencer l'acceptabilité selon la concentration utilisée. Ce travail ouvre la voie à l'intégration de la spiruline dans des produits alimentaires courants à visée fonctionnelle.

Mots-clés : Spiruline – Compote – Nutrition – Acceptabilité – Analyse sensorielle – Innovation alimentaire

Abstract:

In the pursuit of more sustainable and nutrient-dense food solutions, this research focuses on enriching applesauce with spirulina, a microalga known for its exceptional nutritional properties. The objective of this work is to assess the impact of spirulina incorporation on the nutritional quality, physicochemical characteristics, and sensory attributes of the final product. Laboratory analyses were carried out, including pH measurements, protein content, chlorophyll concentration, and antioxidant levels. In parallel, a sensory evaluation was conducted with a panel of tasters to determine product acceptability. The findings indicate that spirulina significantly enhances the nutritional value of applesauce, although its effect on color and taste may influence acceptability depending on the dosage. This study highlights the potential of integrating spirulina into everyday food products with functional benefits.

Keywords: Spirulina – Applesauce – Nutrition – Acceptability – Sensory analysis – Food innovation

الملخص

في سياق البحث عن حلول غذائية مستدامة وغنية بالعناصر الغذائية، تهدف هذه الدراسة إلى إثراء عصيدة التفاح بإضافة السبيرولينا، وهي طحلب دقيق معروف بخصائصه الغذائية العالية. يسعى هذا العمل إلى تقييم تأثير دمج السبيرولينا على الجودة الغذائية والخصائص الفيزيائية-الكيميائية والصفات الحسية للمنتج النهائي. تم إجراء مجموعة من التحاليل في المختبر، مثل قياس درجة الحموضة، ومحتوى البروتين، والكلوروفيل، ومضادات الأكسدة. بالإضافة إلى ذلك، أُجري تقييم حسي من قبل لجنة تذوق من أجل تقدير مدى تقبل المنتج. أظهرت النتائج أن السبيرولينا تساهم في تعزيز القيمة الغذائية للعصيدة، إلا أن تأثيرها على اللون والنكهة قد يؤثر على القبول الحسي حسب الكمية المضافة. تفتح هذه الدراسة المجال لإدماج السبيرولينا في منتجات غذائية يومية ذات بعد وظيفي

الكلمات المفتاحية: السبيرولينا – عصيدة التفاح – التغذية – التقبل – التحليل الحسي – الابتكار الغذائي