

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل  
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement  
du Littoral



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme  
d'Ingénieur d'état et Master en Sciences de la Mer  
Option : Aquaculture

Thème :

**Production de la spiruline (*Arthrospira platensis*) dans des  
conditions de culture différentes**

Présenté par :

**AIT OUAMER Nesrine**

**BOUAZIZ Nour El-Houda**

Soutenu le 18/10/2021 devant le jury composé de :

<b>Mme HAMDI S.</b>	<b>Professeur</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Présidente</b>
<b>Mme CHAOU N.</b>	<b>Maître Assistante A</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Examinatrice</b>
<b>M. KABRANE A.</b>	<b>Maître Assistant A</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Examineur</b>
<b>M. AIT SAIDI A.</b>	<b>Maître de conférences B</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Promoteur</b>

**Année universitaire : 2020-2021**



## **Remerciements**

*Louange à Allah, Le Très-Savant, Le donneur de force et de volonté, par sa grâce nous avons terminé ce travail.*

*Nous tenons à exprimer notre gratitude au directeur de notre mémoire*

***M. Adel AIT SAIDI***

*Nous remercions les membres de jury Mme **HAMDI**, Mme **CHAOU** et M. **KABRANE** pour tous leurs efforts, non seulement dans l'évaluation de ce travail, Mais aussi pour tous les efforts qu'ils ont faits pour nous former tout au long de notre carrière scientifique à l'ENSSMAL, Vous méritez notre entière reconnaissance.*

*Nous ne manquons pas de remercier M. **Abdelkader HIRI** de nous avoir accordé, avec soin, la matière première de notre étude et pour son soutien à chaque fois que nous le demandons.*

*Merci au technicien de la ferme aquacole M. **HANICHE H.** pour toute son aide et sa disponibilité et pour son précieux temps, et aux ingénieurs des laboratoires de l'ENSSMAL : Mesdames : **AMINA, HOUDA** et **RAFES**, M. **YOUCEF** et M. **NOUREDDINE**. Votre aide, vos conseils et vos encouragements nous ont été d'un bien inestimable.*

*Nous remercions toutes les personnes qui ont contribué au succès de ce travail.*

## **Dédicaces**

**Je dédie Ce mémoire :**

**À mes chers parents : AITOUAMER Mustapha & YAHY Nacera**

*Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être. Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.*

*Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez. Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.*

**À Mon Encadreur M. AIT SAIDI A.**

*J'ai eu l'honneur d'être parmi vos élèves et de bénéficier de votre riche enseignement. Vos qualités pédagogiques et humaines sont pour moi un modèle. Votre gentillesse, et votre disponibilité permanente ont toujours suscité mon admiration. Veuillez bien monsieur recevoir mes remerciements pour le grand honneur que vous m'avez fait d'accepter l'encadrement de ce travail.*

**À ma chère collègue : BOUAZIZ Nour El-Houda**

*Je ne peux pas trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées, vous êtes pour moi une sœur sur qui je peux compter. En témoignage de l'amitié qui nous uni et des souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble.*

**À mes chers et adorable sœurs et frère: Manel, Lina et Hocine**

*En témoignage de mon affection fraternelle, de ma profonde tendresse et reconnaissance, je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde.*

**À toutes les personnes qui ont participé à L'élaboration de ce travail et à tous ceux que j'ai omis de citer.**

**AITOUAMER Nesrine.**

## **Dédicaces**

***Je remercie, tout d'abord, Dieu tout puissant De m'avoir donné la force et le courage pour accomplir ce modeste travail qui je dédie à tous ceux qui ont participé à nos succès :***

***A mes chères parents : BOUAZIZ Nadji & OULDTOUMI Naima***

*Pour leur confiance, leur amour, leur présence et leur soutien dans les épreuves que la vie nous a réservées, qui sont l'origine de ma réussite, que dieu les gardes pour moi et les protèges. Qu'ils trouvent dans ce travail le témoignage de ma profonde reconnaissance et de l'amour que j'ai pour eux.*

***À Mon Encadreur M. AIT SAIDI A.***

*Vous nous avez fait l'honneur d'accepter de suivre la réalisation de ce mémoire. Vous nous avez offert un sujet à la fois original et très riche. Nous avons apprécié votre gentillesse et votre disponibilité. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de nos sincères remerciements.*

***À ma chère collègue : AITOUAMER Nesrine***

*Merci d'être mon binôme, ma sœur et ma chère collègue pendant ces deux années que j'ai passé des bons moments avec et que nous avons fait de très beaux souvenirs ensemble. Merci pour ton aide, ton amour, ton soutien, ta bonne humeur, ta patience et ton amitié.*

***A ma chère sœur et mon petit frère : Nesrine et Abd el Hak***

*Je vous dédie ce mémoire et merci pour votre amour; votre soutien et votre disponibilité qui m'ont apporté un support moral et intellectuel tout au long de ma démarche.*

***A tous les membres de ma grande famille***

*La famille BOUAZIZ, OULD TOUMI & MIHOUBI. Vivants ou disparus, je vous dédie ce travail.*

***A tous l'équipe d'aquaculture et mes chères amies***

*M. Hassan, les ingénieurs des laboratoires YUCEF, AMINA et HOUDA.*

*Mes chères amies qui j'ai passé les meilleurs moments avec : BOUACHA Narjes, ZOUAREG Sabah, SISSAOUI Khadidja, BENZAADA Amira, DJEMAI Amira, GHOZEL Kenza et BENZIANE Djamel. Merci pour votre soutien, votre présence et votre amitié.*

***BOUAZIZ Nour el houda.***

# TABLE DES MATIERES

Remerciements

Dédicaces

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

**INTRODUCTION .....1**

## **CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

**1. DEFINITIONS .....3**

1.1. LES MICRO-ALGUES ..... 3

1.2. LES CYANOBACTERIES .....4

1.3. LA SPIRULINE .....5

**2. HISTORIQUE .....5**

2.1. DECOUVERTE ET APPARITION DANS LE MONDE .....5

2.2. PRODUCTION DANS LE MONDE.....6

**3. CARACTERISTIQUE DE LA SPIRULINE.....10**

3.1. CYTOLOGIE ..... 10

3.2. MORPHOLOGIE ..... 11

3.3. SYSTEMATIQUE ..... 11

3.4. REPRODUCTION ..... 12

3.5. CYCLE BIOLOGIQUE..... 13

3.6. MOBILITE ..... 13

**4. HABITAT ET ÉCOLOGIE .....13**

4.1. LES GISEMENTS NATURELS DANS LE MONDE ..... 13

4.2. DISTRIBUTION GEOGRAPHIQUE..... 14

**5. VALEUR NUTRITIONNELLE .....15**

5.1. PROTEINES ..... 16

5.2. MINERAUX ..... 17

5.3. VITAMINES ..... 18

5.4. LIPIDES..... 18

5.5. GLUCIDES..... 18

5.6. PIGMENTS..... 19

**6. UTILISATION ET INTERET .....20**

6.1. UTILISATION HUMAINE..... 20

6.2. UTILISATION ANIMALE ..... 21

**7. LA CULTURE DE LA SPIRULINE.....22**

7.1. LES CONDITIONS DE CULTURE ..... 23

7.2.	LE MILIEU DE CULTURE .....	25
7.3.	LES MODES DE CULTURE .....	27
7.4.	LA TECHNIQUE DE CULTURE .....	29

## **CHAPITRE II : MATERIEL & METHODES**

<b>1.</b>	<b>MATERIEL D'ETUDE .....</b>	<b>34</b>
1.1.	MATERIEL BIOLOGIQUE .....	34
1.2.	MATERIEL DE CULTURE .....	34
1.3.	MATERIEL DE LABORATOIRE .....	35
<b>2.</b>	<b>METHODE DE CULTURE SUIVIE .....</b>	<b>35</b>
2.1.	OBSERVATION MICROSCOPIQUE DE LA SOUCHE .....	35
2.2.	PREPARATION DU MILIEU DE CULTURE .....	36
2.3.	ENSEMENCEMENT .....	37
2.4.	CONDITIONS DE CULTURE .....	41
2.5.	ÉVOLUTION DU DEVELOPPEMENT ALGAL .....	43
2.6.	LA RECOLTE .....	44
2.7.	LE SECHAGE .....	45
2.8.	LE CONDITIONNEMENT .....	46
2.9.	CALCUL DE LA MATIERE SECHE .....	47

## **CHAPITRE III : RESULTATS & DISCUSSION**

<b>1.</b>	<b>L'ENSEMENCEMENT .....</b>	<b>49</b>
<b>2.</b>	<b>EVALUATION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES .....</b>	<b>51</b>
2.1.	TEMPERATURE .....	51
2.2.	LE PH .....	52
2.3.	LA SALINITE .....	53
<b>3.</b>	<b>EVOLUTION BIOLOGIQUE .....</b>	<b>54</b>
<b>4.</b>	<b>LA RECOLTE ET LE SECHAGE .....</b>	<b>57</b>
<b>5.</b>	<b>TAUX D'HUMIDITE .....</b>	<b>58</b>
<b>6.</b>	<b>ETUDE COMPARATIVE .....</b>	<b>59</b>
	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>62</b>
	<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>63</b>

## **ANNEXES**

## LISTE DES ABREVIATIONS

%	Pour cent
°C	Degré Celsius
μ	Micron
μm	Micro mètre
ADN	Acide Désoxyribonucléique
ARN	Acide Ribonucléique
CO <sub>2</sub>	Dioxyde de carbone
ENSSMAL	Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et l'Aménagement du Littoral
FAO	Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
FSF	Fédération des Spiruliniers de France
g	Gramme
H	Heure
Ha	Hectare
Hz	Hertz
kg	Kilo gramme
L	Litre
m <sup>2</sup>	Mètre carré
mg	Milligramme
ml	Millilitre
mm	Millimètre
n°	Numéro
ONG	Organisation Non Gouvernementale
pH	Potentiel hydrogène
ppm	Partie Par Million
PVC	Poly-Vinyl Chloride
R.A.S.	Système Aquacole de Recirculation
T	Température
V	Volt
VIH	Virus de l'Immunodéficience Humaine
W	Watt
WHO	World Health Organization

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau I.1:</b> Caractéristiques communes des cyanobactéries (algues et bactéries).....	4
<b>Tableau I.2 :</b> Production mondiale de la spiruline destinée à la consommation (1997) ( <b>Antenna Technology, 2002</b> ).....	7
<b>Tableau I.3 :</b> Confusions liées au terme de spiruline ( <b>Antenna technologies, 2009</b> ).....	12
<b>Tableau I. 4 :</b> Systématique de la spiruline ( <b>Fox, 1999</b> ).....	12
<b>Tableau I.5 :</b> Distribution géographique naturelle de la spiruline ( <b>Jourdan, 1999</b> ).....	14
<b>Tableau I.6 :</b> Quantité de protéines de spiruline et d'autres aliments ( <b>Syidoglu et al., 2017</b> )....	16
<b>Tableau I.7 :</b> Les acides aminés de la Spiruline ( <b>Jourdan, 2012</b> ).....	17
<b>Tableau I.8 :</b> Les minéraux et oligo-éléments de la Spiruline ( <b>Falquet, 1996</b> ).....	17
<b>Tableau I.9 :</b> Teneurs en vitamines exprimées en mg par kg de matière sèche de Spiruline ( <b>Jourdan, 2012</b> ). .....	18
<b>Tableau I.10 :</b> Teneurs en pigments exprimées en mg pour 10g de matière sèche de la spiruline ( <b>Pierlovisi, 2007</b> ).....	19
<b>Tableau I.11 :</b> Limites de concentrations admissibles pour les différents éléments dans milieu de culture ( <b>Jourdan, 2013</b> ).....	26
<b>Tableau I.12 :</b> Composition chimique du milieu de culture ‘ ZARROUK ’ .....	27
<b>Tableau I.13 :</b> Composition chimique du milieu de culture ‘ Hiri ’ .....	27
<b>Tableau II.1 :</b> Composition chimique du milieu de culture recommandé par M. Hiri.....	36
<b>Tableau II.2 :</b> Quantités de milieu de culture et eau potable utilisées.....	37
<b>Tableau II.3 :</b> Subdivision de la souche en petits volumes.....	38
<b>Tableau II.4 :</b> Les couleurs pour le diagnostic préliminaire ( <b>Fox, 1999</b> ).....	44
<b>Tableau III.1 :</b> Quantité de semence (souche de spiruline) et de milieu de culture utilisées lors des ensemencements.....	49
<b>Tableau III.2 :</b> les observations microscopiques et macroscopiques des cultures de spiruline et leurs significations.....	54
<b>Tableau III.3 :</b> les dates de récolte et les masses obtenues.....	58
<b>Tableau III.4 :</b> Taux d’humidité et la matière sèche des 2 échantillons de la spiruline.....	58
<b>Tableau III.5 :</b> Comparaison des étapes de culture des 2 expériences.....	59
<b>Tableau III.6 :</b> Le climat en été à Alger et Tamanrasset ( <a href="http://www.m.dzmeteo.com">www.m.dzmeteo.com</a> ).....	60

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure I.1</b> : La frise chronologique.....	3
<b>Figure I.2</b> : La formule de la photosynthèse.....	4
<b>Figure I.3</b> : Production de la spiruline en France FSF ‘Fédération des Spiruliniers en France’...	8
<b>Figure I.4</b> : Guelta Afilal.....	9
<b>Figure I.5</b> : Guelta Aisgrasen.....	9
<b>Figure I.6</b> : Ferme ‘Spirulina Algérie’ à Oran.....	9
<b>Figure I.7</b> : Schéma de structure d'une cyanobactérie <a href="http://data.abuledu.org/URI/52152780-schema-de-la-structure-d-une-cyanobacterie">http://data.abuledu.org/URI/52152780-schema-de-la-structure-d-une-cyanobacterie</a> .....	10
<b>Figure I.8</b> : Morphologie typique de la spiruline ( <b>Jarisoia, 2005</b> ).....	11
<b>Figure I.9</b> : Cycle biologique de la spiruline selon ( <b>Balloni et al., 1980</b> ).....	13
<b>Figure I.10</b> : Zone de croissance naturelle de la spiruline dans le monde ( <b>Fox, 1999</b> ).....	14
<b>Figure I.11</b> : Photo-bioréacteur contenant une souche de spiruline originaire du Borkina Faso ( <b>Ahounou,2017</b> ).....	29
<b>Figure I.12</b> : Représentation d'un disque de Secchi.....	30
<b>Figure II.1</b> : La souche utilisée de spiruline ( <i>Arthrospira platensis</i> ).....	34
<b>Figure II.2</b> : la spiruline vue au microscope optique ‘A (G×10) et B (G×40)’.....	35
<b>Figure II.3</b> : Le milieu de culture fourni par M. Hiri.....	36
<b>Figure II.4</b> : La dilution du milieu de culture.....	37
<b>Figure II.5</b> : L'ensemencement de la culture.....	38
<b>Figure II.6</b> : Diagramme des ensemencements.....	39
<b>Figure II.7</b> : 1 <sup>er</sup> ensemencement (J0).....	40
<b>Figure II.8</b> : 2 <sup>ème</sup> ensemencement (J20).....	40
<b>Figure II.9</b> : 3 <sup>ème</sup> ensemencement (J33).....	41
<b>Figure II.10</b> : Pompe air aquarium (RS-100) (A) ; Agitateurs mécanique (B).....	42
<b>Figure II.11</b> : Le bain marie.....	42
<b>Figure II.12</b> : Le pH mètre (A) ; Le conductimètre (B).....	43
<b>Figure II.13</b> : La récolte.....	45
<b>Figure II.14</b> : Le séchage traditionnel.....	46
<b>Figure II.15</b> : Le séchage à l'étuve.....	46
<b>Figure II.16</b> : La spiruline conditionnée dans des boites en verre.....	47
<b>Figure II.17</b> : La dessiccation des échantillons de spiruline.....	47
<b>Figure III.1</b> : les cultures après 15 jours du 1 <sup>er</sup> ensemencement.....	50
<b>Figure III.2</b> : les cultures après 33 jours du 1 <sup>er</sup> ensemencement.....	50
<b>Figure III.3</b> : Evolution de la température des cultures(C°).....	51
<b>Figure III.4</b> : Evolution du pH des cultures.....	52
<b>Figure III.5</b> : Evolution de la salinité des cultures (g/l).....	53
<b>Figure III.6</b> : La courbe de croissance des micro-algues ( <b>Salomez, 2009</b> ).....	55
<b>Figure III.7</b> : Observation microscopique d'un filament de spiruline lors de sa division ‘A (G×40) et B (G×10)’.....	56
<b>Figure III.8</b> : Le volume H3 après 55 jours.....	56
<b>Figure III.9</b> : la biomasse de la spiruline récoltée.....	57
<b>Figure III.10</b> : La spiruline sèche.....	57

# **INTRODUCTION**

La pandémie de **COVID-19** met en péril la santé humaine et perturbe les systèmes alimentaires qui constituent la base de la santé. Si nous n'agissons pas immédiatement, nous risquons de nous retrouver face à une crise alimentaire mondiale qui pourrait avoir un impact à long terme sur des centaines de millions d'enfants et d'adultes (**FAO, 2020**).

En 1970, l'Américain **Ripley Fox** docteur en microbiologie voit en la spiruline un complément nutritionnel par excellence, et la solution au problème de la faim dans le monde. Plusieurs recherches scientifiques ont montré que cet aliment miracle, dénommé **Spiruline**, contient 300% de calcium plus que le lait entier, 2300% plus de fer que les épinards, 3900% de bêta-carotène plus que les carottes ; 375% de protéines plus que le soja (**Moorhead, 2006**), Souvent considérée comme une micro-algue bleue verte (**Leonard et al., 1967**), elle est parmi les espèces les plus produites dans le monde pour la consommation humaine (**A. Guillou, 2006**).

*Spirulina Htam*, est une souche cultivée principalement à Tamanrasset (Algérie), dont la systématique n'est pas encore établie, voire même sa composition n'est pas encore détaillée.

A partir de ce principe, notre recherche a porté sur plusieurs axes à savoir :

- La réalisation d'essais de culture à petite échelle de la spiruline de Tamanrasset dans le milieu de culture produit par M. Hiri ;
- L'optimisation des principales conditions opérationnelles de culture (température, pH, salinité et agitation).

Cette étude a permis, toutefois, d'élucider quelques questions ; entres autres :

- Quelles seraient les meilleures conditions de culture ?
- En récoltant, comment conduire le séchage ?

L'objectif de notre recherche est de répondre à ces questions après avoir menée plusieurs essais tout en tenant compte du fait que la spiruline n'a pas encore livrée tous ses secrets.

Notre travail est présenté en trois parties :

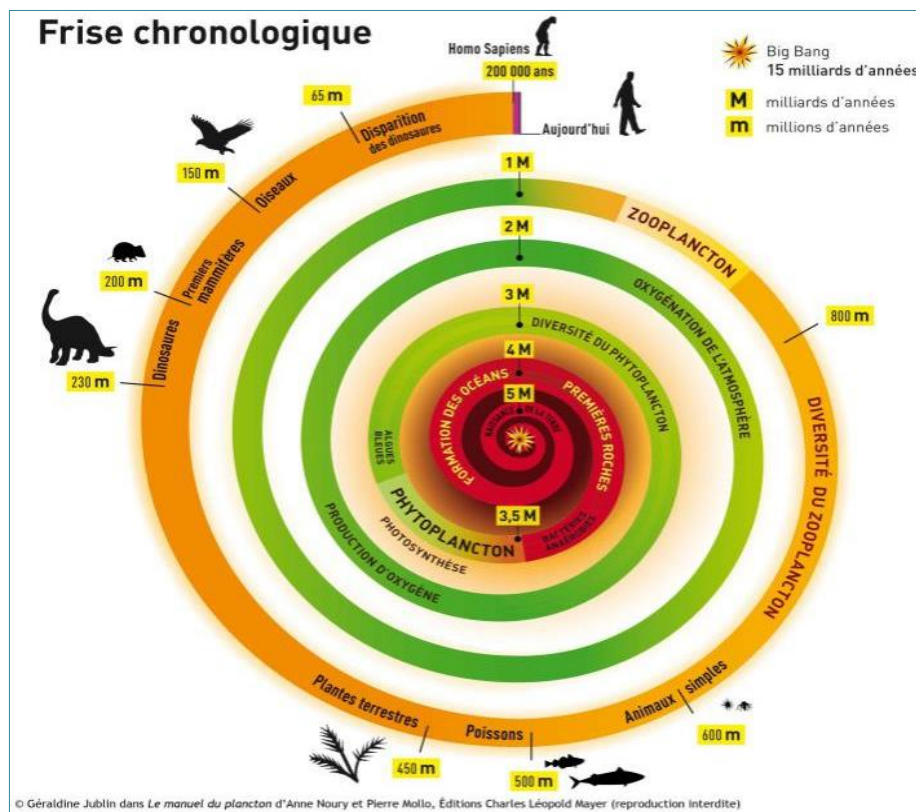
- La première partie traite des généralités sur la spiruline et du cadre d'étude ;
  - La deuxième partie expose le matériel et méthodes appliquées pour cultiver la spiruline ;
  - La troisième partie présente les résultats obtenus et les interprète par une discussion ;
- enfin, des conclusions.

# **CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

## 1. Définitions

### 1.1. Les Micro-algues

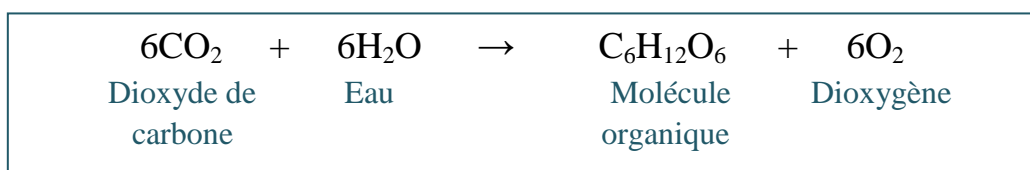
Les cyanobactéries soient les plus primitifs des organismes photosynthétiques produisant l'oxygène et sont séparées des plantes supérieures par une distance évolutive excessivement longue (**Figure I.1**), ils possèdent un appareil photosynthétique qui est remarquablement similaire à celui présent dans les chloroplastes des plantes supérieures (**Krogmann, 1982**).



**Figure I.1:** La frise chronologique (<http://www.plancton-du-monde.org/module-formation/img/plancton/frise.png>).

Les micro-algues sont des micro-organismes photo-autotrophes, unicellulaires ou pluricellulaires, procaryotes ou eucaryotes. Avec leur processus de photosynthèse (**Figure I.2**), elles peuvent produire leur propre matière organique à partir de composés minéraux, d'eau, et de l'énergie lumineuse captée grâce à leur chlorophylle, en transformant le gaz carbonique et en libérant de l'oxygène (**WHO, 1999**).

Les micro-algues sont importantes pour la vie sur terre en produisant environ la moitié de l'oxygène atmosphérique. (**Thurman, 1997**).



**Figure I.2:** La formule de la photosynthèse.

Les micro-algues sont présentes dans chaque groupe algal, on distingue :

- Les cyanobactéries;
- Les rhodophycées ;
- Les chrysophycées et les pyrophycofycées ;
- Les chlorophycées.

Les micro-algues sont d'excellentes sources naturelles de composés bioactifs de grande valeur et sont devenues les sources les plus prometteuses et les plus innovantes de nouveaux produits alimentaires et fonctionnels au XXI<sup>e</sup> siècle (**Matos et al., 2017**).

## 1.2. Les cyanobactéries

Anciennement appelées algues bleues puis cyanophycées, elles peuvent être unicellulaires ou pluricellulaires; dans ce dernier cas, leurs cellules s'arrangent en amas de type colonies ou, le plus souvent, en filaments appelés trichomes composés de cellules alignées. La taille des cellules de cyanobactéries est comprise généralement entre 1 et 10 microns. Leur paroi est de type Gram-négatif classique (**Fox, 1999 ; Girardin, 2005**).

Les cyanobactéries se rapprochent des algues et des bactéries par certaines caractéristiques communes, présentées dans le **Tableau I.1 (Bernard, 2014)**.

**Tableau I.1:** Caractéristiques des cyanobactéries (algues et bactéries) (**Bernard, 2014**).

Algues	Bactéries
<b>Chlorophylle A</b>	Absence de membrane nucléaire
<b>Deux photosystèmes I et II</b>	Absence de membrane plastidiale
<b>Photosynthèse : production d'O<sub>2</sub></b>	Absence de mitochondries
<b>Pigments photosynthétiques</b>	Absence de réticulum endoplasmique et
<b>Phycobiliprotéines</b>	dictyosome
<b>Eau : donneur d'électrons</b>	Paroi cellulaire Gram - : muréine

### 1.3. La spiruline

La spiruline est une cyanobactérie pluricellulaire filamenteuse. C'est une espèce à trichome régulièrement enroulé en hélice plus ou moins serrée. Elle est à peine visible à l'œil nu et ne mesure pas plus de 0,2 à 0,3 mm de long.

Son déplacement s'effectue en se vrillant dans l'eau à la façon d'une vis. Cette espèce est abondante dans les eaux salées et natronées sahéliennes dans certaines régions du Tchad (*Kanem*) et Mexique (*Mexico*). Elle est récoltée et vendue sur les marchés de ces pays sous le nom *Déhi* ou *Tecuitlat* en forme de galettes et utilisée dans l'alimentation (**Iltis, 1980**).

L'intérêt que présente cette micro-algue sur les plans alimentaire et diététique réside essentiellement dans sa richesse en protéines végétales.

La première culture artisanale de la spiruline méritant vraiment cette appellation revient sans doute **Dr. Fox** qui fut le premier à lancer cette activité en Inde en 1973, en collaboration avec 'le Navsari Agricultural College'.

## 2. Historique

### 2.1. Découverte et apparition dans le monde

La spiruline est décrite par **Wittrock** et **Nordstedt** en 1844, et elle est consommée dans les deux côtés de l'Atlantique par les Kanembous du Tchad et par les Aztèques depuis des temps immémoriaux.

#### 2.1.1. Tchad

En 1959, **M.Y. Brandily** signalait l'existence au Nord de la République du Tchad d'une population noire se nourrissant d'algues depuis les temps les plus anciens et elles sont toujours récoltées avec les méthodes les plus primitives dans le lac Tchad où elles croissent naturellement; ces algues qui accumulent à la surface des mares sont recueillies dans de simples paniers de vannerie, séchées sur le sable au soleil et conservées facilement sous la forme d'une galette, *le Dié (Dihé)* (**Zarrouk, 1966**).

Le *Dihé* est émietté dans une sauce composée de tomates, de piments, d'épices et accompagne le mil pilé cuit à l'eau (**Gantar et Svirčev, 2008**).

### 2.1.2. Mexique

Vers 1300 après J.C., les Aztèques ont récolté la spiruline du lac *Texcoco*, près de *Tenochtitlan* (aujourd'hui *Mexico*) et l'ont utilisé pour produire des gâteaux secs appelés *Tecuitlat*, qui étaient vendus sur les marchés partout au Mexique, et étaient généralement consommés avec du maïs et d'autres céréales, ou dans une sauce appelée *chilmolli* à base de tomates, de pigments et d'épices (**Barsanti et Gualtieri, 2014**).

### 2.1.3. Algérie (Hoggar)

Dans les années 1980, le **Dr. Boileau** a découvert une algue assez particulière dans une guelta (point d'eau en montagne) dans les environs de la ville de Tamanrasset. Le **Dr. Fox** confirma qu'il s'agissait bien de la spiruline. En 1996, **M. Hiri** a entamé des expériences sur la culture et la mise au point du milieu de culture de la spiruline sur une souche Paracas (souche du Pérou) remise par le **Dr. Jourdan**. Par la suite **Dr. Boileau** a révélé à **M. Hiri** la présence de la spiruline au Hoggar.

**M. Hiri** la localisa en juin 2004 dans la guelta du palmier. Décidemment, cette souche a été dénommée '**H Tam**'. En prélevant des fragments de cette souche de son biotope, **M. Hiri** a réussi à la développer dans des bassins en utilisant un milieu de culture innové et propice à sa croissance optimale.

## 2.2. Production dans le monde

La **FAO** a conclu qu'en l'an 2000, sur les 65 pays ciblés n'ayant pas les ressources suffisantes pour leurs besoins alimentaires, seuls 19 d'entre eux peuvent les satisfaire grâce à des récoltes de nature conventionnelle, d'où l'idée de se tourner vers de nouvelles sources alimentaires comme les algues (en particulier les micro-algues).

Actuellement produite à l'échelle industrielle et commercialisée comme complément alimentaire diététique dans le monde entier, la spiruline peut s'avérer un bon exemple pour satisfaire en partie les besoins nutritifs et surtout protéiniques des populations.

### 2.1.2. Les pays producteurs

Selon **Antenna Technology (2002)**, le Japon et la Chine sont les leaders dans la production de la spiruline. '*Earthrise Farms*' (Californie) est devenue une propriété de *Dai Nippon Ink Corporation Tokyo et Siam Algae* est une de leur filiale. (*Earthrise Farms* est l'association de toutes les fermes en Californie et Mexico ...) (**Tableau I.2**).

La quantité de spiruline produite au niveau mondial est difficilement estimable, mais d'après **FAO**, la production totale mondiale est de **8000tonnes/an**.

La principale limitation de la production pour les fermes situées dans les plus hautes latitudes est qu'elles ont une saison de culture et de récolte plus courte que les exploitations situées à des latitudes plus basses (5 mois au lieu de 9-12 mois/an), du fait de température et d'ensoleillement inférieurs. Cependant, Taiwan qui *a priori* réunit de bonnes conditions présente une production plus faible, car elle subit l'influence des orages durant l'été.

**Tableau I.1** : Production mondiale de la spiruline destinée à la consommation (**1997**) (**Antenna Technology, 2002**).

<b>PRODUCTEUR</b>	<b>LOCALITE</b>	<b>TONNES/AN</b>
<b>Earthrise Frams* (20ha)</b>	Calipatria, Californie	200
<b>Cyanotech Corp (12ha)</b>	Keahole Point, Hawai	175
<b>Siam Algae Co*(2ha)</b>	Bangkok, Thaïlande	80
<b>Far East Microalgae</b>	Taiwan	200
<b>Solarium</b>	Iquique, Chili	20
<b>Bionor</b>	La Serena, Chili	20
<b>Vinh Hoa</b>	Thuanhai, Vietman	30
<b>Cyanotech Ltd</b>	Bangalore, Inde	15
<b>Parey Agro Ltd</b>	Inde	10
<b>Green Diamond</b>	Chang Mai, Thaïlande	10
<b>Unisyn</b>	Kaomua Hawai	30
<b>Ballapure industries</b>	Mysore, Inde	50
<b>Proteal Saint Anne</b>	Martinique	20
<b>Imade Grenade</b>	Espagne	10
<b>Strembel Sourrigues</b>	Rosario, Argentine	15
<b>La Havane</b>	Cuba	20
<b>Ile de Hainan</b>	Chine	100
<b>Nanchang</b>	Chine	50
<b>Wuhan</b>	Chine	100
<b>Myanmar</b>	Birmanie	30
<b>Ukraine</b>	Ukraine	20
<b>TOTAL</b>		<b>1205</b>

D'autres exploitations s'ensuivront un peu partout dans le monde. Grâce aux progrès faits sur les techniques de culture, l'Europe est entrée dans la course et les productions à petite échelle se développent dans les pays en voie de développement (Vidal, 2008).

### 2.2.2. En France

La production française destinée à la consommation directe est réalisée à l'échelle artisanale (Figure I.3). Dans cette partie, ne sera évoqué que la production destinée à l'alimentation, et non la spiruline dont sont extraites des molécules à forte valeur ajoutée. La production de spiruline dans l'hexagone est très fortement limitée par les facteurs climatiques des zones tempérées. Les produits consommés proviennent donc essentiellement d'importations. Les grandes marques leaders, étrangères, telles que 'FLAMANT VERT', 'MARCUS ROHRER' ou 'EARTHRISE' sont distribuées en magasins 'Bio' et diététiques (Antenna Technology, 2002).

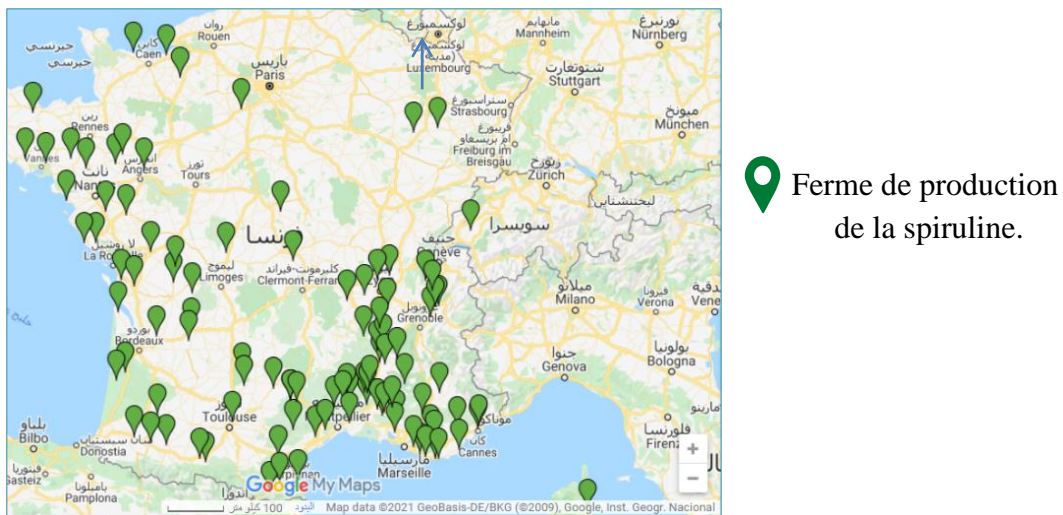


Figure I.3: Production de la spiruline en France (FSF 'Fédération des Spiruliniers de France').

### 2.2.3. En Algérie

En Algérie, la production de la spiruline reste très faible. A notre connaissance il existe quelques fermes de culture artisanale tel que : la ferme de **M. Hiri** à Tamanrasset et la ferme de **M. Redouane** à Oran.

#### La ferme de Tamanrasset

Entre les 18 et 25 Avril 2004, des scientifiques, chercheurs et responsables d'ONG ayant une expérience de la culture et des utilisations de la spiruline visite la mini-ferme de spiruline installée dans l'enceinte du camping. Cette exploitation, fermée de murs, se compose de 4 bassins en dur de 4 m<sup>2</sup> environ plus une culture familiale dans des bassins en plastique.

**M. Hiri** expérimente la culture et les utilisations de la spiruline depuis 22 ans, D'abord dans son jardin, puis dans sa ferme nommée *Bordj4x4 Tam* où il a installé des bassins totalisant 16 m<sup>2</sup> et capables de produire un maximum de 20 kg/an. Dans des phases ultérieures **M. Hiri** prévoit de produire sous serre et à plus grande échelle sur des terrains de plusieurs hectares, tout en diffusant la technique de culture familiale dans les villages pauvres du Hoggar.

Elle existe naturellement à Tamanrasset dans les gueltas (**Figure I.4** et **Figure I.5**) :

(<http://algerieterredafrique.blogspot.com/2011/08/loued-daffila-et-ses-gueltas.html?m=1> )



**Figure I.4:** Guelta *Afilal*.



**Figure I.5:** Guelta *Aisgrasen*.

### La ferme d'Oran

**M. Redouane** a créé sa propre ferme pour la production de la spiruline sous le nom '**Spirulina Algérie**' depuis 2013, une culture artisanale en serre à Oran (**Figure I.6**) et il a commercialisé le produit par livraison à toutes les wilayas de l'Algérie sur les réseaux sociaux.



**Figure I.6 :** Ferme 'Spirulina Algérie' à Oran.

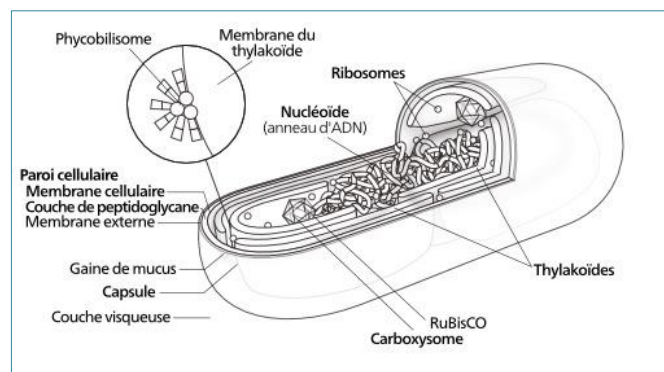
### 3. Caractéristique de la spiruline

La spiruline est une cyanobactérie microscopique, sa taille étant de 50 à 500  $\mu\text{m}$  de long et 3 à 4  $\mu\text{m}$  de large. Sous microscope optique, des filaments bleu-vert composés de cellules végétatives sont observés, ces trichomes sont régulièrement enroulés et enveloppés d'une gaine mince formant des constriction (Manet, 2016).

#### 3.1. Cytologie

La spiruline est constituée de cellules transparentes empilées bout à bout formant ainsi un filament ou trichome. Selon Merceron (2006), la structure, le fonctionnement de ces cellules et leur organisation sont relativement simples et semblables à ceux des cellules de procaryotes (Figure I.7) :

- Paroi : un procaryote à Gram négatif possède une membrane pluristratifiée de 4 couches riches en mucopolymères et mucopeptides ;
- Noyau : Absence de membrane nucléaire, l'ADN et ARN sont distribués plus ou moins au hasard dans la cellule ;
- Chloroplaste : Absence de plastes individualisés, leur coloration est homogène on distingue une zone périphérique colorée (le chromoplasma) et une partie centrale plus claire (le centroplasma) ;
- Autre organites : Absence de mitochondries, réticulum endoplasmique, appareil de Golgi, et flagelles ;
- Les vésicules de gaz : elles se présentent sous la forme de faisceaux de minuscules cylindres contenant de l'azote. Leur rôle est de réguler la flottabilité des filaments de spiruline. (Antenna technologie, 2009).



**Figure I.7** : Schéma de structure d'une cyanobactérie. <http://data.abuledu.org/URI/52152780-schema-de-la-structure-d-une-cyanobacterie>.

### 3.2. Morphologie

La spiruline se compose de trichomes atteignant  $350\mu$  de long, de 5 à  $11\mu$  de diamètre, un peu rétrécis au niveau des articulations. Les tours de spire ont un diamètre de 20 à  $50\mu$ , diminuant légèrement vers les extrémités (Fox, 1999).

On distingue plusieurs morphologies ‘spirales’, ‘ondulées’, et ‘droites’ (Figure I.8) :

- Les ‘spirales’, désigne les souches dont les filaments ont la forme d’une queue de cochon, telle la ‘Lonar’ (variété présente en Inde) ;
- Les ‘ondulées’, désigne les souches dont les filaments sont en spirale étirée, telle la ‘Paracas’ (variété présente au Pérou) ;
- Les ‘droites’, désigne les souches dont les filaments sont tellement étirés qu’ils donnent l’impression d’être presque rectilignes telle la variété M2 (Jarisoia, 2005).

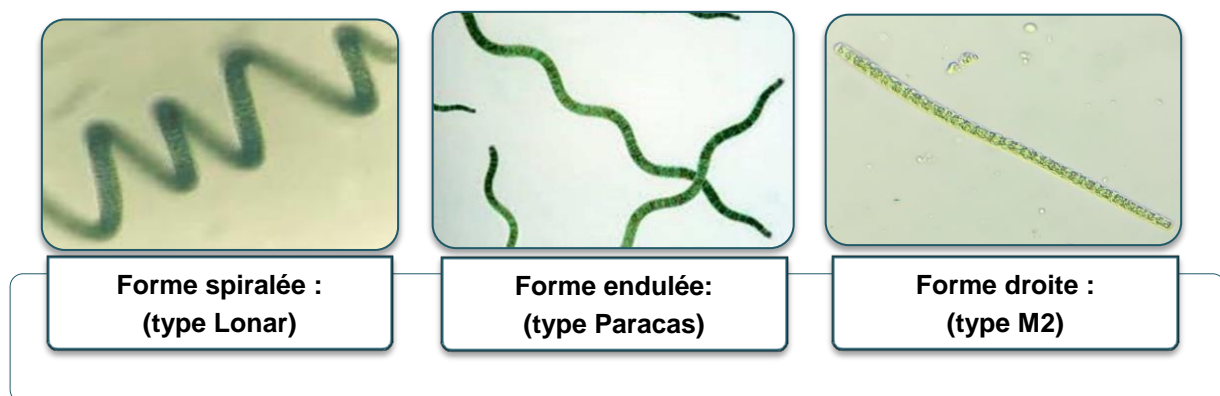


Figure I.8 : Morphologie typiques de la spiruline (Jarisoia, 2005).

### 3.3. Systématique

Arthrospira le nom qui dérive de la configuration physique spiralée et hélicoïdale de ses filaments, en latin ‘spira’ signifie enroulement. Les différentes confusions faites par rapport à l’emploi du terme spiruline sont regroupées dans le **Tableau I.3** :

**Tableau I.3 :** Confusions liées au terme de spiruline (Antenna technologies, 2009).

Spiruline	<i>Spirulina</i>	<i>Arthrospira</i>
- Terme vernaculaire générique regroupant toutes les spirulines en vente sur le marché ( <i>Spirulina</i> non comestible et <i>Arthrospira</i> comestible).	- Nom scientifique et taxonomique d'une autre cyanobactérie très éloignée du genre <i>Arthrospira</i> qui n'est pas utilisé dans le cadre de l'alimentation.	- Nom scientifique et taxonomique d'un groupe de cyanobactéries auxquelles appartient la spiruline utilisée dans le cadre de l'alimentation.
- Nom commercial <b>francophone</b> de la cyanobactérie appartenant au genre <i>Arthrospira</i> .	- Nom commercial <b>anglophone</b> de la cyanobactérie appartenant au genre <i>Arthrospira</i> .	

Les espèces sont regroupées en genres et divisées en sous-ensembles dénommés souches ou variétés. Selon **Cruchot (2008)**, les deux espèces les plus souvent retrouvées pour l'alimentation sont :

- *Arthrospira platensis* originaire d'Afrique ;
- *Arthrospira maxima* originaire d'Amérique centrale.

En Algérie, une souche d'*Arthrospira platensis* est endémique du Hoggar (**Tableau I.4**).

**Tableau I.4:** Systématique d'*Arthrospira platensis* (Fox, 1999).

<b>Embranchement</b>	Schizophyte (procaryotes)
<b>Sous embranchement</b>	Cyanoschizophyceae
<b>Classe</b>	Cyanophyceae
<b>Sous classe</b>	Hormogonophycideae
<b>Ordre</b>	Nostocales
<b>Famille</b>	Oscillatoriaceae
<b>Genre</b>	<i>Arthrospira</i>
<b>Espèce</b>	<i>Arthrospira platensis</i> (Gomont, 1892).

### 3.4. Reproduction

La spiruline se reproduit suivant un mode végétatif, une multiplication asexuée qui suit le principe de la bipartition. Le filament de la spiruline à maturité forme des cellules intercalaires spéciales appelées *nécridies*.

Elles se différencient des autres cellules par leur aspect biconcave et sont assimilées à des disques de séparation. A partir de ces derniers, le trichome se fragmente pour donner de nouveaux filaments de 2 à 4 cellules appelés *hormogonies* (Ciferri et Tiboni, 1985).

Les hormogonies vont croître en longueur par division binaire et prendre la forme typique hélicoïdale. 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 génération est très court (7 heures) (Zarrouk, 1966).

### 3.5. Cycle biologique

La spiruline se développe de 25% chaque jour, sa quantité doublant en 4 jours. Les 3 étapes fondamentales de son cycle de vie sont (Figure I.9) :

- la fragmentation des trichomes ;
- les cellules s'élargissent, le trichome mature ;
- il se divise en filaments par fission binaire, ces filaments prenant une forme hélicoïdale

(Balloni *et al.*, 1980).

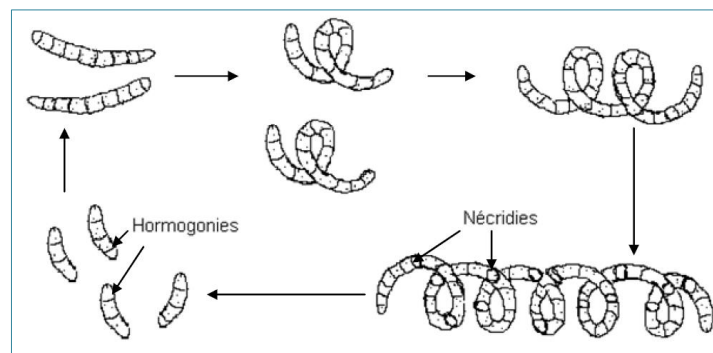


Figure I.9 : Cycle biologique de la Spiruline selon (Balloni *et al.*, 1980).

### 3.6. Mobilité

Les filaments de la spiruline sont motiles, se déplaçant souvent par des mouvements en vrilles à plus de 5µm par seconde (Fox, 1999).

## 4. Habitat et Écologie

### 4.1. Les gisements naturels dans le monde

La présence d'un gisement naturel dans un lac ou dans une mare n'est pas due au hasard, mais aux différents facteurs climatiques et pédologiques qui rendent favorable le développement de ce

microorganisme. Les milieux privilégiés sont alcalins et riches en nutriments azotés et phosphorés. Ils sont de plus, bien éclairés et présentent une température élevée. De telles conditions se trouvent naturellement dans de nombreux sites répartis sur la ceinture intertropicale. Les conditions naturelles favorables à la croissance de la spiruline sont réunies dans la ceinture intertropicale du globe entre la latitude 35° nord et 35° Sud (**Figure I.10**).



**Figure I.10** : Zone de croissance naturelle de la Spiruline dans le monde (**Fox, 1999**).

#### 4.2. Distribution géographique

La spiruline se développe préférentiellement dans des eaux chaudes, alcalines contenant du carbonate de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ou du bicarbonate de sodium ( $\text{NaHCO}_3$ ), 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 (**Tableau I.5**).

**Tableau I.5** : Distribution géographique naturelle de la spiruline (**Jourdan, 1999**).

Continent	Pays	Région
Afrique	ALGERIE	Tamanrasset
	TCHAD	Région du Kanem : lacs Latir, Ouna, Borkou, Katam, Yoan, Leyla, Bodou, Rombou, Moro, Mombolo, Liwa, Iseirom, Ounianga kebir
	SOUDAN	Cratère de Djebel Marra
	DJIBOUTI	Lac Abber
	ETHIOPIE	Lacs Aranguadi, Lesougouta, Nakourou, Chiltu, Navasha, Rodolphe

(Suite **Tableau I.5**)

	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
	INDE	Lacs Lonar et Nagpur
	MYANMAR	Lacs Twyn Taung, Twyn Ma et Taung Pyank
	SRI LANKA	Lac Beira
<b>Asie</b>	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
	PEROU	Réservoir d'eau près de Paracas Près de l'île d'Amantani dans le lac Titicaca
<b>Amérique de sud</b>	MEXIQUE	Lac Texcoco ; lac Cratère
	URUGUAY	Montevideo
	EQUATEUR	Lac Quiliotoa : cratère de 1km de diamètre.
	CALIFORNIE (USA)	Oakland ; Del Mar Beach
<b>Amérique de nord</b>	HAÏTI	Lac Gonâve
	REPUBLIQUE DOMINICAINE	Lac Enriquillo
	HONGRIE	Non précisé
<b>Europe</b>	FRANCE (CAMARGUE)	Camargue

## 5. Valeur nutritionnelle

La spiruline a été proposée dans l'alimentation humaine par plusieurs scientifiques et nutritionnistes grâce à ses qualités nutritionnelles exceptionnelles, sa facilité de culture, sa haute productivité et son faible coût de production.

La spiruline est considérée comme une ressource alimentaire non conventionnelle très riche en protéines ; elle est riche en sels minéraux, en oligo-éléments et en nombreuses vitamines (B1, B2, B12, E) (Sall et al., 1999).

### 5.1. Protéines

L'intérêt que présente cette micro-algue sur les plans alimentaire et diététique réside essentiellement dans sa richesse en protéines (60 à 70% de son poids). Les meilleures sources de protéines végétales n'arrivent qu'à la moitié de ces teneurs. La farine de soja par exemple, contient 36% de protéines (Tableau I.6).

**Tableau I.6 :** Taux de protéines dans la spiruline et dans d'autres aliments (Syidoglu et al., 2017).

Origine des protéines alimentaires	Protéines (%)
Poudre de spiruline	60-70
Œuf entier séché	47
Levure de bière	45
Lait écrémé en poudre	36
Farine de soja entière	36
Parmesan	36
Germe de blé	27
Cacahuètes	26
Poulet	19-24

D'un point de vue qualitatif, les protéines de la spiruline sont complètes car elles contiennent l'ensemble des acides aminés essentiels (47% du poids total des protéines) (Tableau I.7).

Un autre avantage réside dans sa digestion relativement beaucoup plus facile que d'autres compléments alimentaires comme les levures ou les chlorelles. Ses cellules ne sont pas protégées par d'épaisses parois cellulosiques, ce qui lui vaut un 'taux de digestibilité' de l'ordre de 83 à 90% (Charpy et al., 2008).

**Tableau I.7** : Les acides aminés de la Spiruline (Jourdan, 2012).

Acide aminé	Teneur dans la spiruline (g/kg)	Acide aminé	Teneur dans la spiruline (g/kg)
Alanine	47	Lysine	29
Arginine	43	Méthionine	14
Acide aspartique	61	Phénylalanine	28
Cystine	6	Proline	27
Acide glutamique	91	Sérine	32
Glycine	32	Thréonine	32
Histidine	10	Tryptophane	9
Isoleucine	35	Tyrosine	30
Leucine	54	Valine	40

## 5.2. Minéraux

Les micro-algues photosynthétiques comportent des fonctions carboxyles, sulfates, fonctions ionisables et réactives qui permettent la fixation ionique ou chimique de molécules. C'est justement le cas de la plupart des oligo-éléments et les métaux essentiels (**Tableau I.8**) ; mais c'est aussi le cas des métaux toxiques comme le plomb et le mercure.

Les minéraux spécialement intéressants de la spiruline sont le fer (20 fois plus élevée que le germe de blé), le calcium, le phosphore et le magnésium (**Belay, 2002 ; Shizhong et al., 2004 ; Charpy et al., 2008**).

**Tableau I.8** : Les minéraux et oligo-éléments de la Spiruline (**Falquet, 1996**).

Minéraux	Teneur dans la Spiruline (mg/kg)	Doses requises pour adulte (mg/jour)
<b>Calcium</b>	1300 – 14000	1200
<b>Phosphore</b>	6700 – 9000	1000
<b>Magnésium</b>	2000 – 2900	250 – 350
<b>Fer</b>	580 – 1800	18
<b>Zinc</b>	21 – 40	15

### 5.3. Vitamines

La spiruline contient des taux exceptionnels de vitamines A et B12 (**Tableau I.9**). Elle est très riche en pigments caroténoïdes provitamine A (**Tabutin et al., 2002**).

**Tableau I.9** : Teneurs en vitamines exprimées en mg par kg de matière sèche de Spiruline (**Jourdan, 2012**).

Vitamines	Teneur dans la Spiruline (mg/kg)
Bêta-carotène	1400
E (Tocophérol)	100
B1 (Thiamine)	35
B2 (Riboflavine)	40
B3 ou PP (Niacine)	140
B5 (Acide pantothénique)	1
B8 ou H (Biotine)	0,05
B12 (Cobalamine)	3,2
Inositol	640
K (Phylloquinone)	20

### 5.4. Lipides

La spiruline est riche en acides gras insaturés oléique et linoléique de forme *cis*, seule forme biologiquement active. Ce sont des lipides essentiels non synthétisés par l'organisme des poissons, nécessaires à la croissance normale, au développement de la peau, à la digestion, à la lactation et au transport du cholestérol.

L'oxydation des lipides insaturés est inhibée par la vitamine E (tocophérol) que l'on trouve aussi dans la spiruline (**Falquet et Hurni, 2006**).

### 5.5. Glucides

Les glucides constituent globalement 15 à 25% de la matière sèche de spiruline. L'essentiel des glucides assimilables est constitué de polymères tels que des glucosanes aminés (1,9% du poids sec) et des rhamnosanes aminés (9,7%) ou encore de glycogène (0,5%).

Les glucides simples ne sont présents qu'en très faibles quantités (glucose, fructose et saccharose), on trouve aussi des polyols comme le glycérol, le mannitol et le sorbitol. (**Ciferri, 1983 ; Falquet, 2006**).

## 5.6. Pigments

La spiruline, cette cyanobactérie qu'on dit bleue mais que nous voyons verte et qui donne aux plumes des flamants la couleur rose, contient toutes sortes de pigments (**Tableau I.10**). Elle contient des chlorophylles dont la chlorophylle a (typique des végétaux), des caroténoïdes dont le principal est le  $\beta$ -carotène et des phycobiliprotéines telles la phycocyanine et la phycoérythrine (**Pierlovisi, 2007**).

**Tableau I.10** : Teneurs en pigments exprimées en mg pour 10g de matière sèche de la spiruline (**Pierlovisi, 2007**).

Pigments	Teneur dans la Spiruline (mg/10 g)
Chlorophylles totales	115
Chlorophylle a	61 – 75
Caroténoïdes (orange)	37
Phycocyanine (bleu)	1500 – 2000
Phycoérythrine (rouge)	2900 – 10000

### 5.6.1. Les caroténoïdes

Les caroténoïdes forment une famille de polyènes conjugués, pigmentaires aux capacités antioxydantes similaires à celles des tocophérols (**Coulon, 2004**).

Dans les conditions physiologiques de basse pression d'O<sub>2</sub>, les caroténoïdes sont d'excellents piègeurs de radicaux libres (**Fedkovic et al., 1993 ; Barros et al., 2007**). Les caroténoïdes sont aussi capables d'inactiver l'oxygène singlet (**Datta et al., 2004**).

Des études menées pendant plusieurs années aux États-Unis et au Japon ont montré que la spiruline permet d'apporter une quantité importante d'antioxydants nécessaires à notre organisme: les caroténoïdes comme le bêta-carotène (la teneur en  $\beta$ -carotène est exceptionnelle, elle est 30 fois plus élevée que pour la carotte).

### 5.6.2. La phycocyanine

La spiruline est une excellente source de phycocyanine. D'après **Vonshak (1997)**, la fraction protéique pourrait contenir jusqu'à 20% de phycocyanine. Plusieurs études ont démontré le rôle primordial de la phycocyanine comme agent antioxydant et anti-radicalaire (**Chopra et Bishnoi, 2007 ; Wu et Ho, 2007 ; Chen et Wong, 2008**).

Des études *in vivo* montrent que la consommation de spiruline a un impact positif sur la prévention et la réduction de pathologies comme le cancer, les maladies cardio-vasculaires, le vieillissement prématuré, les maladies infectieuses et le déficit du système immunitaire (**Manoj et al., 1992 ; Fedkovic, 1993 ; Reddy et al., 2000 ; Belay, 2002 ; Girardin-Andremi, 2005**).

La spiruline peut être consommée sans aucun danger soit à l'état frais ou sec sous forme de poudre ou de granules. Elle a gagné la popularité mondiale comme supplément alimentaire (**Décret n° 2006/352 du 20 mars 2006 in Charpy et al., 2008**). Son innocuité en tant que nourriture a été établie par des siècles d'utilisation humaine ainsi que par des études toxicologiques rigoureuses. Les doses préconisées vont de 5 g à 10 g/jours pour l'enfant (**Branger et al., 2003**) et de 100 g chez l'adulte (**Santillan, 1974 ; Belay, 2002**).

## 6. Utilisation et intérêt

### 6.1. Utilisation humaine

La spiruline a fait l'objet de nombreuses et rigoureuses études toxicologiques qui ont mis en évidence ses applications thérapeutiques potentielles dans le domaine de l'immuno-modulation des effets anticancéreux, antiviraux et de la réduction du cholestérol. Un certain nombre d'extraits se sont révélés remarquablement actifs dans la protection des cellules T-lymphoblastoïdes humaines contre les effets cytopathiques de l'infection par le VIH (**Barsanti, 2014**).

#### 6.1.1. Bienfaits thérapeutiques

Les spirulines sont des cyanobactéries aux multiples propriétés thérapeutiques :

Anti-oxydante : elle diminue le stress oxydant (**Sguera, 2008**) ;

Anti-inflammatoire : l'activité anti-inflammatoire est constatée lors d'une administration *pe ros* (par voie orale) avant l'induction de la réaction inflammatoire (**Sguera, 2008**) ;

Anticancéreuse : le calcium-spirulan agit par prévention de l'adhésion et de la migration des cellules tumorales vers la lame basale (**Sguera, 2008**) ;

Antivirale : la spiruline bloque l'adsorption et la pénétration virale dans la membrane cellulaire (**Sguera, 2008**) ;

Effets contre l'hyperlipidémie : la consommation régulière de spiruline diminue le taux de cholestérol. Le premier rapport sur la réduction du cholestérol sanguin par la Spiruline a été réalisé sur des rats par **Devi et Venkataraman en 1983** ;

Effets contre le diabète : la fraction soluble dans l'eau de la spiruline a la propriété de diminuer le taux de glucose dans le sérum (**Takai et al., 1991**) ;

Effets contre l'hypertension : **Iwata et al. (1990)** ont remarqué une suppression de l'hypertension chez les rats, suite à un apport de spiruline ;

Effets contre l'obésité : **Becker et al.** ont montré en 1986 qu'une supplémentation en Spiruline de 2,8 g, 3 fois par jour pendant 4 semaines entraînait une réduction du poids corporel chez les obèses ;

Immuno-modulateur : différentes études ont démontré que la spiruline était incontestablement un puissant tonifiant du système immunitaire (**Qureshi, 1996**) ;

Effets protecteurs contre les radiations : d'après **Schwartz et al. (1987)**, les molécules protectrices présentes dans l'extrait de spiruline agissent comme facteurs stabilisants de l'ADN. **Belay (2002)** a observé une diminution des micronucleus induits par des rayons  $\gamma$  ;

Hépatoprotection : Les actions de la spiruline ou de ses composants sont plus préventives que curatives (**Sguera, 2008**).

### 6.1.2. Bienfaits cosmétiques

La spiruline renferme toutes les vitamines et minéraux nécessaires pour avoir une peau, des cheveux et des ongles sains. La vitamine A permet un bronzage plus rapide et plus uniforme, la vitamine B5 permet à la peau de conserver son hydratation et sa souplesse et la vitamine B8, en diminuant l'excrétion de sébum, réduit la principale cause de chute des cheveux (**Algosopette, 2017**). La phycocyanine est utilisée dans la cosmétologie pour la variété de couleurs qu'elle peut donner, mélangée avec d'autres composés.

## 6.2. Utilisation animale

### 6.2.1. Application en aquaculture

L'utilisation de la spiruline comme complément alimentaire pour traiter les effluents d'aquaculture et pour le contrôle de la qualité de l'eau semble être une excellente stratégie intégrée pour la pisciculture.

- Améliorer la performance de croissance des poissons en remplaçant jusqu'à 75 % des protéines dans les régimes alimentaires des tilapias du Nil juvéniles (*O. niloticus* et *O. mossambicus*) sans avoir d'effet négatif sur les performances de croissance ou la chimie du sang ; des réactions similaires pour la carpe commune (*Cyprinus carpio* L.). (**Velasquez et al., 2016** ; **Nandeesh et al., 2001** ; **Zhang et al., 2020**) ;
- Affecter la qualité de la carcasse, et peut modifier les lipides musculaires et protéiques des poissons de la daurade royale (*Pagrus major*), du tilapia (*O. niloticus*) et de la truite arc-en-

ciel. (*O.mykiss*) (Lu *et al.*, 2003 ; Teimouri *et al.*, 2016 ; Mustafa *et al.*, 1994 ; Zhang *et al.*, 2020) ;

- Effets sur la performance reproductive des poissons et les œufs par les acides gras essentiels, l'acide ascorbique et les caroténoïdes (Scabini *et al.*, 2011 ; Zhang *et al.*, 2020) ;
- Effets sur la pigmentation des poissons par les niveaux élevés de  $\beta$ -carotène et de zéaxanthine ;
- Peuvent améliorer la pigmentation de divers poissons (Martin *et al.*, 2008 ; Zhang *et al.*, 2020) ;
- Immunostimulant en augmentant l'activité phagocytaire, l'activité du lysozyme, l'activité bactéricide du mucus cutané et les globules blancs (Zhang *et al.*, 2020).
- Protection des poissons de la toxicité des métaux lourds par les pigments actifs anti-oxydantes et anti-inflammatoires (Wu *et al.*, 2016 ; Zhang *et al.*, 2020).

### 6.2.2. Traitement des eaux usées dans les pêcheries

- Élimination des métaux lourds :

Les études ont montré que la biomasse de spiruline est un biosorbant idéal pour l'élimination des métaux lourds. La spiruline peut adsorber efficacement le cadmium (Putri, 2017).

Celekli et Bozkurt (2011) ont utilisé la spiruline pour adsorber les ions de cadmium et de nickel.

- Élimination des nutriments :

Olguin *et al.* (2003), Markou *et al.* (2012), Wuang *et al.* (2016), Lababpour (2017), Zhou *et al.* (2017), et Zhai *et al.* (2017) ont constaté que la spiruline éliminait l'azote et le phosphore des eaux usées municipales avec des efficacités respectives de 81,51 et 80,52 %.

- Intégrer la spiruline dans les systèmes d'aquaculture en recirculation :

Des niveaux élevés de nitrites peuvent être évités en intégrant le traitement de la spiruline à un système de traitement des eaux usées R.A.S. qui peut convertir les nitrites en nitrate en utilisant des processus biologiques (Otte et Rosenthal, 1979).

## 7. La culture de la spiruline

La spiruline est une micro-algue largement cultivée dans le monde. Sa production mondiale a augmenté depuis 1995, atteignant plus de 4000 T/an (Statistique Cubia, 2000).

La spiruline se développe soit dans des cultures artificielles soit dans des cultures de lac. Elle s'adapte à de nombreux biotopes (sable, eau douce, eau de mer) (Tredecchi *et al.*, 1986 ; Wu *et al.*, 1993 ; Halland, 2006).

### 7.1. Les conditions de culture

Les exigences de croissance de la culture de spiruline sont similaires à celles des plantes terrestres mais elles utilisent ces ressources très efficacement pour augmenter la productivité de la biomasse, en consommant comparativement moins d'eau (**Sudhakar, Premalatha et Rajesh, 2014**).

#### 7.1.1. La Température

La température du milieu de culture influence directement la vitesse de croissance de la spiruline, bien qu'assez résistante au froid (jusqu'à 3-5°C au-dessus de zéro), la spiruline ne commence à croître d'une manière appréciable qu'au-dessus de 20°C (**Jourdan, 2006**).

La vitesse de croissance est maximale vers 35-37°C. Au-delà de cette température, on risque rapidement une destruction de la culture qui survient à coup sûr après quelques heures au-delà de 43-44°C (**Zarrouk, 1966**).

Dans les conditions expérimentales, l'optimum de température pour la croissance de la spiruline se situe entre 32 et 40°C, soit au voisinage de 35°C. En dessous de 20°C la croissance est très lente et finit par s'arrêter, mais cette inhibition de la croissance cesse quand la température redevient favorable. A des températures permanentes (40°C) les algues subissent des dommages irréversibles, apparaissent au bout de 4 jours et bien plus rapidement à des températures supérieures. Par contre, si la culture est maintenue uniquement durant les 12 h d'éclairement avec une température moyenne de 25°C pendant la période obscure, la température de 40°C permet une croissance optimale de la culture sans affecter la morphologie des algues (**Zarrouk, 1966**).

#### 7.1.2. La Lumière

La lumière est un facteur important, mais une exposition directe du soleil n'est pas recommandée. De préférence, il est recommandé d'exposer la culture à 30 % de la lumière du soleil, sauf qu'une quantité plus importante peut être nécessaire pour chauffer rapidement la culture le matin (**Saeid et Chojnacka, 2015**).

La croissance de la spiruline n'a lieu qu'à la lumière, mais un éclairage 24h/24 n'est pas non plus recommandé.

Pendant les périodes d'obscurité, des réactions chimiques ont lieu dans la spiruline, comme la synthèse des protéines et la respiration (**Ruma A. et Sudhakar, 2017**).

Une intensité lumineuse élevée sans agitation conduit à une photolyse ou destruction par l'effet photoélectrique (les électrons sont 'en ébullition'). Une forte intensité lumineuse avec une forte agitation donne la croissance optimale (**Fox, Ripley D., 1999**).

### 7.1.3. Le pH

Le pH optimum d'un milieu de culture neuf à confectionner dépend de son utilisation :

- S'il doit être inséminé pour démarrer une nouvelle culture, le pH du milieu doit être d'au moins 9 ; s'il est trop bas, la culture risque de mal démarrer, avec formation de grumeaux ou précipitation de la spiruline au fond. Le natron ou le mélange carbonate et bicarbonate, ou l'eau de cendre carbonatée sont bien adaptés à ce cas (**Fox et Ripley, 1999**).
- Par contre, si le milieu neuf doit servir d'appoint à une culture existante, son pH peut être avantageusement voisin de 8, ce qui contribue à maintenir le pH de la culture suffisamment bas par rapport au milieu riche en bicarbonate (**Jourdan, 2006**).

Il est rapporté que l'effet du pH sur la croissance des algues, la production de pigments et la teneur en protéines de la spiruline a un effet direct sur l'effet antioxydant. (**Ogbonda et al, 2007 ; Vonshak et Guy, 1987**).

La croissance de la spiruline peut être affectée de deux manières :

- L'altération du carbone disponible, qui peut interférer avec la photosynthèse ;
- Par la perturbation des processus de la membrane cellulaire.

### 7.1.4. Le CO<sub>2</sub>

L'aliment principal de la spiruline est le carbone dont la source normale est le gaz carbonique. La méthode de culture la plus simple, où la nourriture carbonée vient de l'air (qui contient du gaz carbonique, mais extrêmement dilué), présente une productivité modeste, mais qui, exprimée en protéines, reste très supérieure à celle des meilleures cultures agricoles ou horticoles.

L'absorption du CO<sub>2</sub> atmosphérique se fait nuit et jour, indépendamment des variations quotidiennes du temps, lequel n'influe pas sur la productivité moyenne de ces cultures. Selon **Zarrouk (1966)**, cette dernière n'est pas non plus affectée par une température exagérée la nuit (le pH baisse à cause de la respiration nocturne, mais sans perte de CO<sub>2</sub>, qui sera utilisé plus tard).

Selon **Jourdan (2006)**, il est aussi possible d'augmenter la productivité par beau temps en la faisant passer à 12 ou 15, voire 20 g/jour/m<sup>2</sup> en maintenant l'agitation assez suffisante et en injectant du gaz carbonique pur directement dans la culture pour baisser son pH à 10 ou moins. La consommation de CO<sub>2</sub> est de l'ordre de 2 kg/kg de spiruline (théorie = 1,71).

### 7.1.5. La Salinité

La spiruline peut être considérée comme une espèce à la fois halophile et très euryhaline ; en milieu naturel, les salinités tolérées vont de 8,5 g de sel par litre à 270 g/l (**Beadle, 1943**).

Les limites inférieures de tolérance de salinité sont plus basses lorsqu'il s'agit de culture pure ; parce qu'en milieu naturel, d'autres espèces de cyanophycées planctoniques empêchent le développement de la spiruline dans la zone voisine des limites inférieures de tolérance de salinité de cette espèce.

## 7.2. Le milieu de culture

Il s'agit d'une reproduction artificielle du milieu dans lequel la spiruline croît naturellement. C'est donc une solution natronée et alcaline constituée d'un mélange d'eau et de sels minéraux, qui apporte à la spiruline tous les éléments chimiques qui lui sont nécessaires (**Jourdan, 2014**).

### 7.2.1. L'eau

Les Spirulines vivent dans une eau à la fois salée et alcaline. L'eau utilisée pour le milieu de culture doit être de préférence potable (mais ne sentant pas fortement le chlore) ou au moins filtrée (sur bougie filtrante ou sable), le plus important étant l'élimination des algues étrangères.

L'eau de pluie, de source ou de forage est en général de qualité convenable. Si l'eau est dure, il se produira des boues minérales (plus ou moins abondantes selon la teneur en calcium, magnésium et fer), qui décantent rapidement et ne sont pas particulièrement gênantes pour la culture, à condition toutefois que l'ensemencement initial en spirulines soit assez concentré. (**Jordan, 1999**).

### 7.2.2. Les éléments nutritifs

Le milieu de culture adéquat à la croissance de la spiruline dépend surtout de sa composition minérale (**Fox, 1999**). Ce milieu de culture doit lui apporter tous les éléments chimiques nutritifs qui lui sont nécessaires (**Zarrouk, 1966**) (**Tableau I.11**) :

- Carbone (C) : apporté par le carbonate de sodium (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) ou bicarbonate de sodium (NaHCO<sub>3</sub>) ;

- Azote (N) : Les sources d'azote préférées des spirulines sont l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) et l'urée ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) ; mais en raison de leur toxicité, l'utilisation des nitrates est plus recommandée ;
- Phosphore (P) : apporté dans le milieu par les orthophosphates ; par exemple : le phosphate monoammonique ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ), le phosphate dipotassique ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ) ou le phosphate tri-sodique ( $\text{Na}_3\text{PO}_4, 12 \text{H}_2\text{O}$ ), ou encore l'acide phosphorique ;
- Fer (Fe) : Le fer est apporté par une solution de sulfate de fer acidulée ;
- Potassium (K) : fourni par le nitrate de potassium, le chlorure de potassium, le sulfate ou le phosphate dipotassique ;
- Magnésium (Mg) : La source de magnésium habituelle est le sulfate de magnésium ( $\text{MgSO}_4$ ) ;
- Calcium (Ca) : apporté par le sulfate de calcium ou par un sel de calcium soluble (nitrate, chlorure). En cas d'ensemencement d'une nouvelle culture avec peu de spiruline, mieux vaut s'abstenir d'ajouter du calcium au début pour éviter de perdre de la semence entraînée dans les boues minérales ;

On notera la possibilité d'apporter plusieurs éléments à la fois par le même produit, par exemple N et K par le nitrate de potasse, P et K par le phosphate di-potassique, ou S et Mg par le sulfate de magnésium.

**Tableau I.11** : Limites de concentrations admissibles pour les différents éléments dans milieu de culture (Jourdan, 2013).

Elément	Concentration	Elément	Concentration
Nitrates	440 – 6600	Manganèse	0,5
Ammonium	0,3 – 30	Zinc	< 1
Urée	< 50	Cuivre	< 0,01
Phosphate	0,1 – 300	Molybdène	0,01
Potassium	> 10	Chrome	0,01
Magnésium	1 – 30	Bore	0,5
Sulfate	> 30	Nickel	0,01
Fer	> 0,4	Cobalt	0,01
Calcium	> 0,6		

Les concentrations sont exprimées en mg/litre  
(Ou ppm)

### 7.2.3. Exemples du milieu de culture

#### 7.2.3.1. Milieu de culture ‘ ZARROUK ’

Le milieu de Zarrouk (**Tableau I.12**) est composé essentiellement d'éléments minéraux. Sa composition est constituée de 3 solutions A9, A5 et A6.

**Tableau I.12 :** Composition chimique du milieu de culture ‘ ZARROUK ’.

La solution A9		La solution A5		La solution A6	
NaHCO <sub>3</sub>	16	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	2,86	CO(NO <sub>3</sub> ), 6H <sub>2</sub> O	0,044
K <sub>2</sub> HPO <sub>2</sub>	0,5	MnCl <sub>2</sub> , 4H <sub>2</sub> O	1,8	K <sub>2</sub> Cr(SO <sub>4</sub> ), 24H <sub>2</sub> O	0,0960
NaNO <sub>3</sub>	2,5	ZnSO <sub>4</sub> , 7H <sub>2</sub> O	0,22	NiSO <sub>4</sub> , 7H <sub>2</sub> O	0,0477
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1	CuSO <sub>4</sub> , 7H <sub>2</sub> O	0,08	Ti(SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	0,04
MgSO <sub>4</sub> , 7H <sub>2</sub> O	0,2	MO <sub>3</sub>	0,01	NH <sub>4</sub> VO <sub>3</sub>	0,0299
CaCl <sub>2</sub>	0,04			NaWO <sub>4</sub>	0,0179
FeSO <sub>4</sub> , 7H <sub>2</sub> O	0,01				
EDTA	0,08				

#### 7.2.3.2. Milieu de culture ‘ Hiri ’

**Tableau I.13 :** Composition chimique du milieu de culture ‘ Hiri ’

Composant	Concentration (g/l)
Natron	16
Sel de table NaCl	1
MgSO <sub>4</sub>	0,1
FeSO <sub>4</sub>	0,01
(NH <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,1
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,5
CaCl <sub>2</sub>	0,1
Urée	0,1

### 7.3. Les modes de culture

En fonction de la surface totale d'exploitation des bassins et des moyens technologiques utilisés, on distingue **la culture artisanale** et **la culture industrielle** (Jourdan, 2006).

### **7.3.1. Culture artisanale**

Elle consiste à construire des bassins et un réservoir en béton près d'un lac. Cette méthode nécessite le remplissage du réservoir par de l'eau pompée du lac puis passe par gravité dans un filtre à sable avant d'arriver dans les bassins de culture de spiruline. Ce système permet d'obtenir un produit de haute qualité pour la consommation humaine (filtration avec filtre de 50  $\mu\text{m}$  avant l'arrivée dans les bassins) et également une récolte d'algues moins pure (filtre 150  $\mu\text{m}$ ), utilisable pour l'aviculture ou l'aquaculture (**Scheldeman et al., 1999**).

### **7.3.2. Culture industrielle**

La culture est réalisée dans des bassins de formes diverses, de grande surface (plusieurs hectares) agités mécaniquement. La spiruline est séchée par atomisation.

L'investissement est élevé mais les productions peuvent atteindre des centaines de tonnes. (**Jourdan, 2006**).

### **7.3.3. Production en Photo-bioréacteurs**

Un photo-bioréacteur (**Figure I.11**) est constitué d'un système de tubes en plastique transparent posé sur un plan plat ou incliné. Placés verticalement ou horizontalement, ils sont souvent agencés sous forme de murs de tubes horizontaux ou verticaux (**Tredici, 1999**).

Tout comme en bioréacteur, un suivi et un contrôle de grandeurs caractérisant la croissance est nécessaire telles que le dégagement d'oxygène, la consommation de dioxyde de carbone, l'augmentation du pH, etc. Une régulation est mise en place afin d'assurer une optimisation des cultures (**Ogbonna, 2003**).

Le photo-bioréacteur est surtout utilisé pour la production de biomasse très pure, pour en extraire des molécules de haute valeur. Il ne convient pas à la culture de masse. Les tubes, les bioréacteurs et les micro-fermes sont employés dans les pays tempérés ou froids, ou cette micro-algue ne peut pas croître naturellement. Ce sont des systèmes très chers (**Elyah, 2003**).



**Figure I.11 :** Photo-bioréacteur contenant une souche de spiruline originaire du Burkina Faso (Ahounou, 2017).

## **7.4. La technique de culture**

Le processus de culture de la spiruline passe cependant par les mêmes étapes obligatoires, lesquelles seront décrites ci-après.

### **7.4.1. Ensemencement**

#### **7.4.1.1. Choix de la souche**

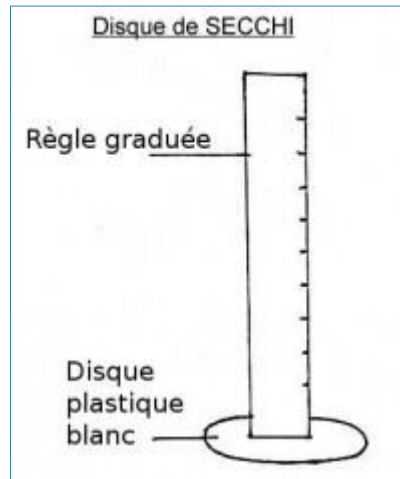
Les experts en culture de spiruline recommandent aux futurs exploitants de choisir une souche monoclonale, exclusivement spiralée, de grande taille, filtrant facilement et de couleur bleu-vert. A partir d'1 g de souche, un taux de croissance de 20% par jour permet d'obtenir 20 m d'un bassin de 15 cm de profondeur, la récolte étant possible dès le quarantième jour (Fox, 1999).

Pour ensemer, il suffit de transvaser dans du milieu de culture neuf, un certain volume de culture provenant d'un autre bassin en production jusqu'à ce que la couleur devienne verte (Jourdan, 1999).

#### **7.4.1.2. Mesure de la concentration d'une culture de Spiruline**

La concentration d'une culture peut être évaluée par l'intensité de sa couleur. On utilise pour cela un 'disque de Secchi' : il s'agit d'une règle graduée à l'extrémité de laquelle se trouve fixé (perpendiculairement) un petit disque blanc (Figure I.12). On plonge cet instrument dans la culture, jusqu'au point où le disque cesse d'être visible. La profondeur du disque est alors lue sur la règle graduée. Une culture est diluée si le disque de Secchi reste visible au-delà de 5-6 cm de

profondeur ; une valeur de 2-3 cm correspond à une culture prête à la production. Des valeurs inférieures à 2 cm indiquent qu'il est nécessaire de diluer la culture, ou de récolter immédiatement (**Flaquet, 1996**).



**Figure I.12** : Représentation d'un disque de Secchi.

### 7.4.2. L'agitation

Elle est nécessaire pour assurer une bonne culture, au moins 2 à 4 fois par jour, pour homogénéiser et assurer une bonne répartition de l'éclairage entre tous les filaments de la spiruline.

L'agitation joue un rôle important dans la productivité des cultures à ultra-haute densité. Elle permet également de distribuer la concentration en CO<sub>2</sub> uniformément et élimine les substances inhibitrices comme l'oxygène (**Dubey, 2006 ; Richmond et Vonshak, 1978**).

Le mode d'agitation peut être :

- manuel avec un balai ou ;
- électrique avec une pompe ou une roue à aubes.

L'agitation peut être continue si on utilise une pompe n'entraînant pas de danger sur la culture de la spiruline. Selon **Jourdan (1999)**, l'agitation nocturne continue favorise nettement l'autoépuration du milieu.

### 7.4.3. L'ombrage

L'ombrage est nécessaire quand la température de la culture est très basse, inférieure de 10°C avec une forte intensité lumineuse pour éviter la destruction de la spiruline par la photolyse, ainsi

une culture sous ombrage est plus facile à récolter et la qualité de la spiruline est améliorée (Jordan, 1999).

#### **7.4.4. La récolte et le pressage**

Les récoltes s'effectuent au gré des saisons, la luminosité et l'ensoleillement jouant un rôle prépondérant dans le processus de production de spiruline. Cette dernière sera prête pour la récolte lorsque sa concentration dans le bassin de culture est autour d'un Secchi de 2-3 cm (Ahounou, 2017).

Elle est organisée de manière à maintenir un flux continu entre les matières premières et le produit fini. Ainsi, une récolte régulière permettra à la culture de garder une croissance exponentielle (Jourdan, 2014).

La spiruline recueillie est une pâte fluide appelée biomasse. Cette biomasse de spiruline ne doit pas être laissée à l'air libre afin d'éviter sa fermentation. Elle subit ensuite le processus de pressage.

Le processus de pressage sous vide permet d'éliminer le milieu de culture restante dans la spiruline. Ce pressage immédiat de la matière permet de recueillir une pâte de spiruline 'essorée' (Ahounou, 2017).

#### **7.4.5. L'extrusion et Le séchage**

Le séchage doit être suffisamment rapide pour que le produit sèche sans fermenter. La biomasse issue du pressage est d'abord répartie par extrusion en 'spaghetti' sur un plateau, si la biomasse est trop fluide, on l'étale en couche mince sur un film de polyéthylène (méthode 'indienne'). L'extrusion en spaghetti peut se faire à l'aide d'un décorateur de gâteau, ou avec un instrument de cuisine courant ou une boîte à fond percée de petits trous et d'un piston, ou à l'aide d'un pistolet à colle silicone modifié (bouchon PVC de 50 mm percé de trous de 2 mm), ou avec un poussoir à saucisses, etc. (Jourdan, 2006).

On peut sécher à l'ombre simplement dans un courant d'air à température ambiante, sous moustiquaire (il suffit que l'air soit à température nettement supérieure à son point de rosée).

Le séchage au plein soleil en plein air est le plus rapide et le moins coûteux, mais il a des inconvénients : le produit est exposé aux poussières et aux animaux (il faut au minimum le protéger par une moustiquaire) (Fox, 1999).

Le temps de séchage varie selon l'épaisseur de la biomasse, la température et l'humidité. Il se situe autour de 4 heures, mais il est possible d'arriver à sécher en une heure (**Jourdan, 1999**).

### **7.4.6. Le conditionnement**

La spiruline sèche peut se conserver longtemps sans perdre trop de ses qualités à condition d'être stockée en sachets bien remplis et étanches, à l'abri de la lumière, de l'air, et des fortes chaleurs. Des sachets en plastique aluminisés multicouches, thermoscellables, conviennent très bien. Il est préférable de faire le vide dans les sachets ; dans ce cas, le produit peut se conserver 5 ans. Si l'on ne peut pas sceller sous vide, l'absorption de l'oxygène restant dans le sachet convenablement scellé provoquera souvent sa mise en 'sous vide' spontanée en quelques jours (**Jourdan, 2006**).

# **CHAPITRE II : MATERIEL & METHODES**

### 1. Matériel d'étude

#### 1.1. Matériel biologique

La souche utilisée dans cette étude est une spiruline de l'espèce *Arthrospira platensis* type M2 (morphologie droite), originaire de Tamanrasset (variété propre à la région), cultivée dans la ferme de M. Hiri.

Un premier volume de la souche FOXBEHATAM (fourni par M. Hiri ; **Volume H**) de 0,5 litre a été reçu le 24 mai 2021 avec une concentration estimée de 0,2 g/l ;

Un deuxième volume de la même souche (fourni par M. Hiri; **Volume B**) de 2 litres a été reçu le 25 mai 2021.

Ces deux volumes ont été transportés (depuis la ferme de Tamanrasset jusqu'à la ferme aquacole de ENSSMAL) dans des bouteilles en plastique transparentes de 1L, ensuite versés dans des Béchers de 2L (**Figure II.1**).



**Figure II.1** : La souche utilisée de spiruline (*Arthrospira platensis*).

#### 1.2. Matériel de culture

- 3 Aquariums (100 × 40 × 30 cm) ;
- 4 Bidons en plastiques transparents (20L) ;
- 4 Boucaux de différents volumes (5L, 10L) ;
- 2 Béchers (2L) ;
- 4 Résistances d'aquarium (RS-200W ; 220-240v 50-60Hz) ;
- 2 Pompes à air d'aquarium (RS-1000) ;
- 4 Agitateurs mécaniques avec minuteries ;

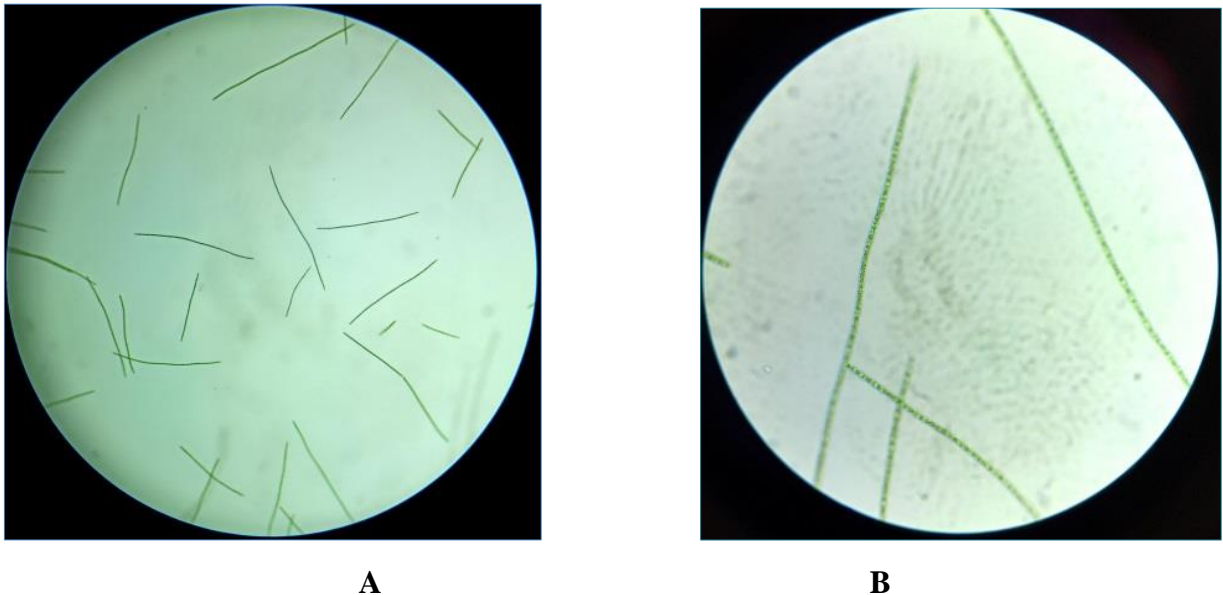
- Moustiquaire pour la couverture.

### 1.3. Matériel de laboratoire

- Balance de Précision (KERN ABJ-NM/ABS-N) ;
- pH metre (INOLAB pH Level1);
- Conductimètre (CONSORT C1020) ;
- Microscope optique (OPTIKA microscopes ITALIE ; Gx10, Gx40, Gx100) ;
- Etuve (Memmert ; 600) ;
- Tamis de 40  $\mu\text{m}$  ;
- Passoir métallique.
- Verrerie :
  - 4 Bêchers (100 ml, 200 ml, 500 ml) ;
  - 2 Boites pétri ;
  - 2 Tiges en verre ;
  - 8 tubes à essai.

## 2. Méthode de culture suivie

### 2.1. Observation microscopique de la souche



**Figure II.2 :** la spiruline vue au microscope optique ‘A (G×10) et B (G×40)’.

Avant l’ensemencement de la culture, les filaments de la spiruline FOXBEHATAM (**Figure II.2**) ont été observés au microscope optique à différents grossissements (G×10 et G×40, respectivement) afin d’apprécier l’aspect morphologique de la souche à cultiver.

## 2.2. Préparation du milieu de culture

Le milieu de culture utilisé, d'une composition chimique détaillée dans le **Tableau II.1**, est celui recommandé par M. Hiri, afin d'assurer les mêmes conditions optimales de croissance de la souche.

**Tableau II.1** : Composition chimique du milieu de culture recommandé par M. Hiri.

Élément	Quantité (g/l)
Natron	16
Sel de table (NaCl)	1
Phosphate d'ammonium	0,1
Sulfate de fer (FeSO <sub>4</sub> )	0,01
Sulfate de Magnésium (MgSO <sub>4</sub> )	0,1
Chlorure de Calcium (CaCl <sub>2</sub> )	0,1
Sulfate de Potassium (K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	0,5
Urée (CH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> )	0,1

Une quantité de 4 kg de milieu de culture, fournie par M. Hiri, a été broyée à l'aide d'un mortier pour une dilution plus rapide et facile (**Figure II.3**) ; puis, progressivement diluée dans deux volumes équitables de 100L chacun, remplis d'eau de robinet (propre à la consommation).



**Figure II.3** : Le milieu de culture fourni par M. Hiri.

La dilution du milieu de culture a été réalisée en deux phases en divisant le milieu de culture (**Tableau II.2**).

**Tableau II.2 :** Quantités de milieu de culture et eau potable utilisées.

Date de dilution	Milieu de culture sec (g)	Eau potable (L)
25/05/2021	2000	100
22/06/2021	2000	100

Une fois les produits mélangés totalement dans l'eau (**Figure II.4**) ; après 24h, une solution natronnée a été obtenue, propice au développement de la spiruline.

Le pH du milieu de culture préparé a été mesuré, et a indiqué une valeur '10,05' permettant de réaliser l'ensemencement.



**Figure II.4 :** La dilution du milieu de culture.

Une fois préparé, le milieu de culture est conservé dans un fût (un récipient en plastique opaque bien scellé de 150 L), à l'abri de la lumière pour une durée d'utilisation d'environ 2 mois.

Avant chaque utilisation dans un ensemencement, il est indispensable de mélanger le milieu de culture préparé et le filtrer avec une passoire fine pour se débarrasser des débris non dilués.

### 2.3. Ensemencement

Avant son ensemencement, la souche a été stockée pendant 24 heures dans des béciers -remplis à moitié pour éviter la détérioration la qualité de la spiruline. A noter qu'il est permis de stocker

quelques jours et transporter une semence très concentrée, à condition de l'agiter et de l'aérer au moins de temps à autre ; sinon elle fermente et dégage de mauvaises odeurs (Jourdan, 2013).

La souche a été divisée en plusieurs parties (Tableau II.3), afin de réduire le risque de perte de la totalité de la culture.

**Tableau II.3** : Subdivision de la souche en petits volumes.

Volume <b>H</b> (500 ml)			Volume <b>B</b> (2000 ml)			
Volume <b>H1</b>	Volume <b>H2</b>	Volume <b>H3</b>	Volume <b>B11</b>	Volume <b>B12</b>	Volume <b>B21</b>	Volume <b>B22</b>
<b>200 ml</b>	<b>200 ml</b>	<b>100 ml</b>	<b>500 ml</b>	<b>500 ml</b>	<b>500 ml</b>	<b>500 ml</b>

Le volume H3 (100 ml) a été gardé comme témoin pour estimer la durée de vie de la spiruline sans ensemencement ni récolte en l'agitant quotidiennement.

La culture de la Spiruline a été initiée le **26/05/2021** (une fois le milieu de culture a été préparé) avec un volume total de la souche de 2400 ml.



**Figure II.5** : L'ensemencement de la culture.

L'ensemencement consiste à ajouter une quantité de milieu de culture équivalente à cinq fois le volume de la souche utilisée (Figure II.5) :

*Volume Total après ensemencement = 1 Volume de la souche + 5 volumes de milieu de culture préparé.*

Nous avons utilisé des béciers, des bocaux, des bidons et des aquariums en verre transparent afin de permettre à la culture de recevoir un maximum de lumière favorisant ainsi le processus de la photosynthèse (Figure II.6).

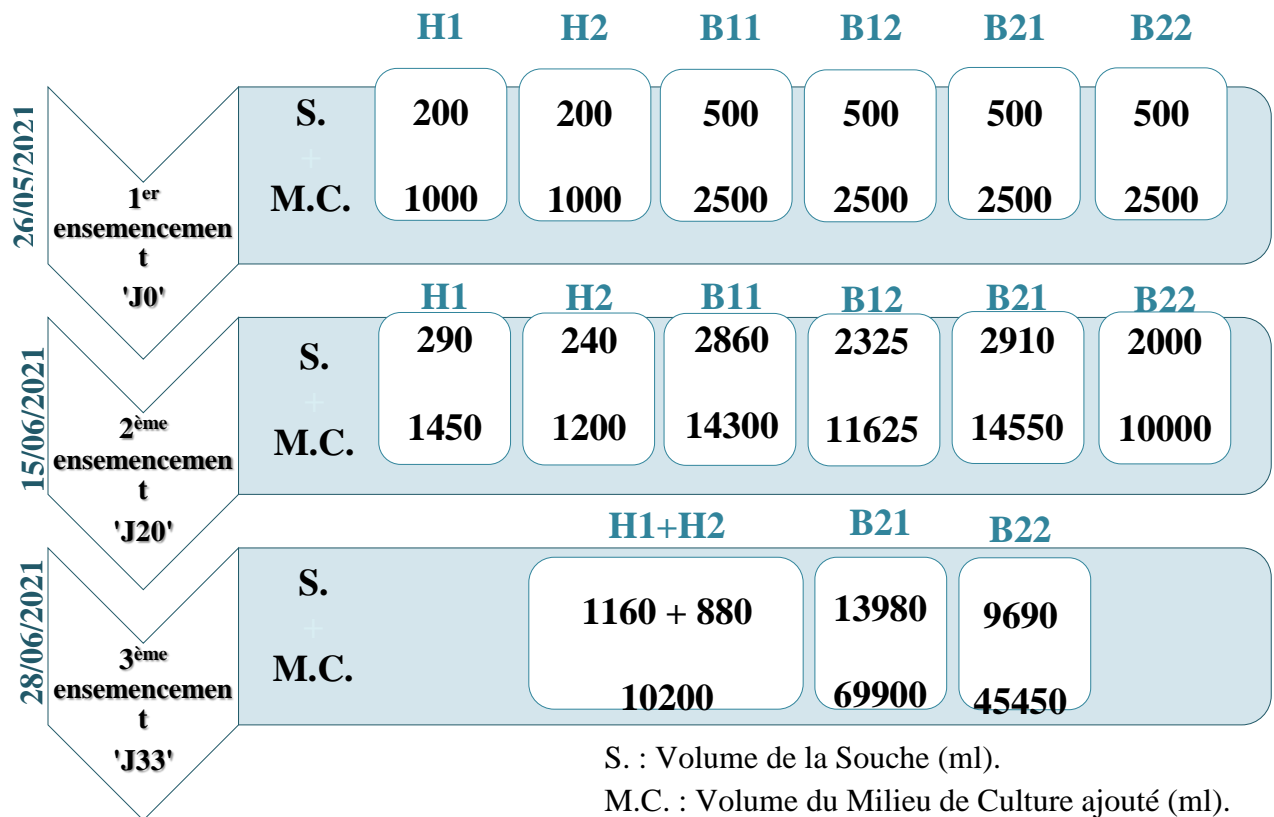


Figure II.6 : Diagramme des ensemencements.

Le passage d'un ensemencement à un autre a été déterminé au moyen d'un disque de Secchi qui permet d'évaluer la concentration de la culture en filaments de spiruline. Cette dernière doit être comprise entre 2 et 3 cm. Selon Jourdan (2013), pour réussir le démarrage d'une culture, il est recommandé de démarrer aussi concentré que possible en spiruline.

### 2.3.1. Premier ensemencement

L'ensemencement de la culture a eu lieu le 26/05/2021, avec une petite quantité de semence (souche de spiruline), le volume total initialement utilisé a été de 2400 ml de spiruline.

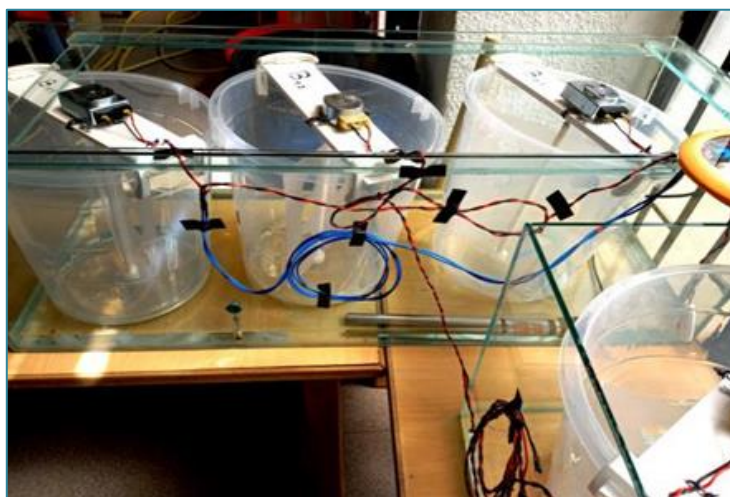
Le démarrage de la culture s'est fait en utilisant : 2 béciers de 2 L et 4 bocaux de 5 L (Figure II.7) ; en mélangeant les 200 ml de la semence (H1 et H2) dans 1 L de milieu de culture (5 fois le volume initial de la souche) ; et les 500 ml de la semence (B11, B12, B21, B22) dans 2,5 L de milieu de culture.



**Figure II.7 :** 1<sup>er</sup> ensemencement (J0).

### 2.3.2. Deuxième ensemencement

Un deuxième ensemencement a été réalisé après 20 jours du 1<sup>er</sup> ensemencement (J20) pour chaque traitement considéré et en utilisant le même procédé (1 volume de la souche, prélevée du volume total du 1<sup>er</sup> ensemencement, mélangé avec 5 volumes de milieu de culture) pour obtenir un volume équivalent à 6 fois le volume initial du milieu de culture (**Figure II.6**). Pour cela, on a opté pour l'utilisation de 2 bocaux de 5L (H1 et H2) et 4 bidons de 20L pour B11, B12, B21 et B22 (**Figure II.8**).



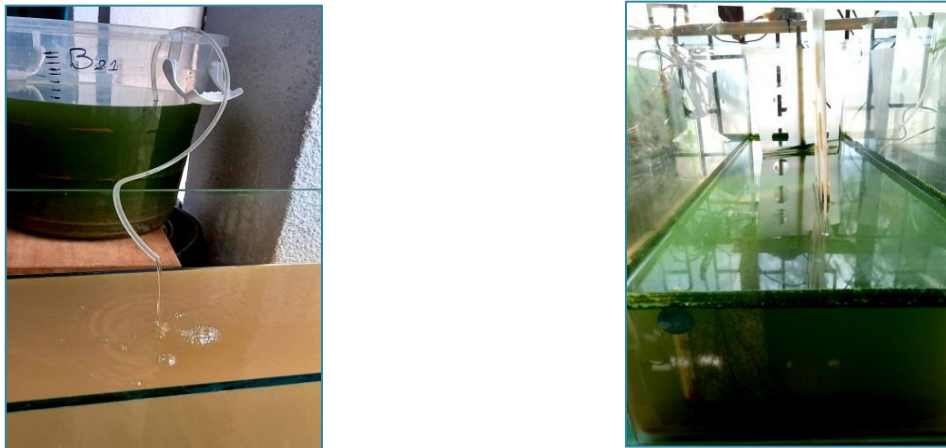
**Figure II.8 :** 2<sup>ème</sup> ensemencement (J20).

### 2.3.3. Troisième ensemencement

Le troisième ensemencement a eu lieu 13 jours après le deuxième c'est-à-dire au 33<sup>ème</sup> jour expérimental (J33). Le mélange d'un volume de la souche, prélevée du 2<sup>ème</sup> ensemencement,

avec 5 volumes de milieu de culture (**Figure II.9**) ont été mis dans 1 bidon de 20L (H1 et H2 regroupés), et 2 aquariums de 120 L pour B21 et B22, séparément (**Figure II.6**).

Nous n'avons pas réalisé un troisième ensemencement pour les 2 volumes B11 et B12, car le milieu de culture n'est pas assez suffisant.



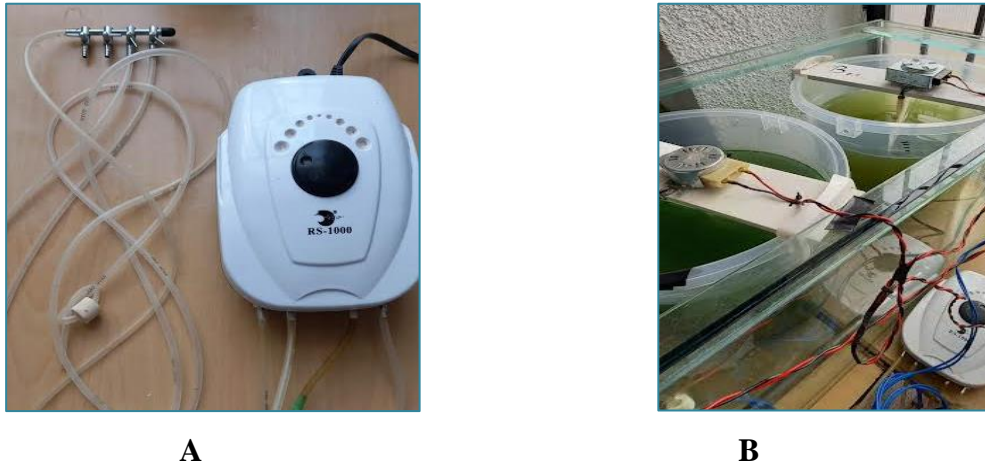
**Figure II.9** : 3<sup>ème</sup> ensemencement.

### 2.4. Conditions de culture

Le dispositif expérimental a été installé au niveau de la ferme expérimental de l'ENSSMAL (École Nationale des Sciences de la Mer et Aménagement du Littoral, Dely brahim). Il a été structuré de manière à ce que la température et l'éclairage soient respectés selon les recommandations (**Zarrouk, 1966**).

#### 2.4.1. Agitation

Une agitation était nécessaire pour permettre aux cellules l'accès aux nutriments et à la lumière. Elle a été assurée par une pompe air aquarium (RS-1000) que nous avons actionné 9h durant chaque 24h et des agitateurs mécaniques, pourvus d'une minuterie (**Figure II.10**). Ces agitateurs ont été programmés pour fonctionner verticalement durant 20 min chaque 4 heures tout au long de la période expérimentale.



**Figure II.10** : Pompe air aquarium (RS-100) (A) ; Agitateurs mécanique (B).

#### 2.4.2. Éclairage

L'éclairage de la culture durant le jour a été naturel, prenant précaution qu'elle ne soit pas exposée directement aux rayons solaires. Dans la nuit, aucune source lumineuse n'a été utilisée.

#### 2.4.3. Température

La température de la culture a été maîtrisée à l'aide de résistances avec thermostats (RS-200W ; 220-240v 50-60Hz) placées dans deux bains maries pour garantir une distribution homogène de la température (**Figure II.11**). En progressant la température d'une façon régulière du 2C° par jour pour atteindre la température optimale (32C°) afin d'éviter un choc thermique.



**Figure II.11** : Le bain marie.

#### 2.4.4. Hygiène et Maintenance

Il est nécessaire de travailler en respectant les bonnes pratiques d'hygiène (ne pas toucher le produit avec les mains, de travailler loin du sol, avec des instruments et récipients en inox ou verre, désinfectés et utilisés exclusivement à la culture de la spiruline).

Le nettoyage des équipements utilisés et la stérilisation de matériel de laboratoire dans une étuve avant chaque nouvel ensemencement est indispensable pour éviter l'introduction des impuretés ou la contamination de la culture.

Afin d'éviter la pénétration des insectes, nous avons couvert la culture avec une moustiquaire.

### 2.5. Évolution du développement algal

#### 2.5.1. Étude de l'évolution des paramètres physico-chimiques

La supervision quotidienne du dispositif expérimental en prenant soin au bon fonctionnement des pompes et agitateurs, la mesure de la température, du pH et de la conductivité électrique, nous a permis de suivre minutieusement la culture (**Figure II.12**) et d'éviter des dysfonctionnements ou pertes imprévus:

- Le pH à l'aide d'un pH-mètre ;
- La température avec un Thermomètre ;
- La Conductivité pour contrôler la salinité du milieu.



**Figure II.12:** Le pH mètre et le conductimètre.

#### 2.5.2. Étude de caractérisation de la Spiruline

##### 2.5.2.1. Observation macroscopique

La surveillance et le suivi de l'état de la spiruline peut se faire à l'œil nu. Le diagnostic de la couleur fournit généralement une bonne appréciation de l'état de la culture et de la croissance des spirulines (**Tableau II.4**). Une culture en bonne santé est généralement caractérisée par une couleur verte plus ou moins foncée (en fonction de la concentration en spiruline).

**Tableau II.4** : Les couleurs pour le diagnostic préliminaire (Fox, 1999).

<b>La couleur de culture</b>	Bleu-vert foncé	Vert	Jaunâtre	Jaunâtre + écume	Jaunâtre + grisâtre	incolore
<b>L'état de la culture</b>	Culture ombragé	Forte lumière culture encore OK	Forte lumière photolyse	Lyse+ exopoly-saccharide	Contamination bactérienne	Culture précipitée ou dévorée par des prédateurs

### 2.5.2.2. Observation microscopique

L'observation microscopique est réalisée quotidiennement à l'aide d'un microscope optique pour chaque culture de spiruline (H1 et H2 ; B11, B12, B21 et B22). Elle a permis de contrôler les contaminations éventuelles des cultures et s'assurer de la morphologie de spiruline, le mode de développement et l'aspect des filaments.

## 2.6. La récolte

La spiruline cultivée a subi sa première récolte après un mois de culture (J36) soit le **01/07/2021**.

La récolte a eu lieu le matin, par filtration de petits volumes prélevés manuellement (Bécher de 50 ou 100 ml) du milieu de culture (**Figure II.13**). Il vaut mieux récolter le matin, car la teneur en protéine de la spiruline y est généralement plus élevée que le soir (**Jourdan, 1999**).

Les volumes prélevés passent d'abord par un passoir afin d'éliminer les grandes particules telle que les insectes et débris végétaux, ensuite un deuxième tamis de filtration de 40 µm pour récupérer la spiruline (**Figure II.13**).



**Figure II.13:** La récolte.

Après un temps variable selon l'importance de la récolte et la concentration de la spiruline dans le milieu (entre 30 minutes et une heure), la pâte verte de spiruline qui s'est accumulée sur le filtre peut être récupérée. Cette biomasse contient entre 80 et 100 g de spiruline sèche/kg de spiruline égouttée, soit 8 à 10% (**Jourdan, 1999**).

La consistance de la biomasse obtenue dépend de la santé de la culture : une culture neuve donne une biomasse facile à récolter, car s'agglomérant bien, alors qu'une culture plus ancienne ou en mauvais état donne une pâte très liquide car renfermant un pourcentage d'eau très élevé.

### **2.7. Le séchage**

Le séchage est le seul moyen sûr de conserver et de distribuer la spiruline sans chaîne de froid. On a opté pour 2 méthodes de séchage afin de désigner la meilleure et la plus efficace au point de vue du taux d'humidité du produit final.

#### **2.7.1. Le séchage traditionnel**

La biomasse est extrudée en 'spaghetti' sur une moustiquaire en nylon à l'aide d'une petite seringue de 1 à 2 mm de diamètre, ensuite séchée à l'ombre (**Figure II.14**) simplement dans un courant d'air à température ambiante ( $\approx 25^{\circ}\text{C}$ ), sous moustiquaire.

La durée du séchage varie entre 5 et 7 heures selon l'épaisseur de la biomasse et l'humidité atmosphérique du lieu de séchage.



**Figure II.14** : Le séchage traditionnel.

### 2.7.2. Le séchage à l'étuve

La biomasse est extrudée en 'spaghetti' sur une moustiquaire en nylon fixée dans des boîtes pétri, ensuite séchée à 40°C pendant 6 heures (**Figure II.15**).

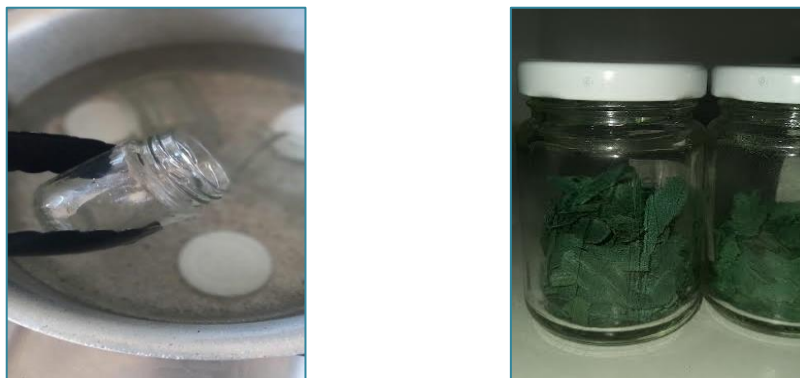
La spiruline bien séchée est craquante, se détachant aisément du support de séchage.



**Figure II.15** : Le séchage à l'étuve.

### 2.8. Le conditionnement

La spiruline sèche peut se conserver longtemps sans perdre trop de ses qualités à condition qu'elle soit stockée en sachets bien remplis et étanches ou, dans des boîtes en verre stériles bien scellées ; à l'abri de la lumière, de l'air et des fortes chaleurs (**Figure II.16**). Lorsque la spiruline pressée ne peut être séchée de suite, il faut la conserver dans un récipient fermé, au réfrigérateur bien froid (3 à 4 C°) et pendant maximum 3 jours.



**Figure II.16 :** La spiruline conditionnée dans des boites en verre.

### 2.9. Calcul de la matière sèche

La matière sèche est le résidu résultant de l'évaporation de l'humidité du produit (AUDIGIE, 1984).

Elle est obtenue par la dessiccation d'un gramme de la spiruline à une température de 105 C° pendant 24 heures dans une étuve ventilée à la température atmosphérique jusqu'à une masse constante (Figure II.17). La teneur en matière sèche est exprimée en pourcentage (NF V 03-903) :

$$H\% = \frac{M1-M2}{M1-M0} \times 100$$

M0 : masse de capsule vide (g).

M1 : masse de la capsule et de la prise d'essai (g).

M2 : masse de la capsule et de résidu après dessiccation (g).

Le calcul de matière sèche est réalisé pour 2 échantillons (échantillon T : la spiruline séchée par la méthode traditionnelle ; échantillon E : la spiruline séchée à l'étuve).



**Figure II.17 :** La dessiccation des échantillons de spiruline.

## **CHAPITRE III : RESULTATS & DISCUSSION**

Ce chapitre est consacré à la présentation et à la discussion des résultats obtenus lors du suivi de la culture de la spiruline ; entre autre, l'ensemencement, les observations macroscopique et microscopiques et le suivi des paramètres physico-chimiques.

Les étapes de ce travail ont été comparées avec ceux réalisées par **M. Hiri** lors d'une formation sur la culture de la même espèce.

### 1. L'ensemencement

Un volume de 2400 ml de la souche de spiruline divisé en 06 cultures a subit 3 ensemencements successifs suivant le **Tableau III.1**.

**Tableau III.1** : Quantité de semence (souche de spiruline) et de milieu de culture utilisées lors des ensemencements.

Ensemencements, jours	Subdivisions de la souche						
	H1	H2	B11	B12	B21	B22	
<b>Premier</b> (26/05/2021), J0	Souche de spiruline	200	200	500	500	500	500
	Milieu de culture	<u>1000</u>	<u>1000</u>	<u>2500</u>	<u>2500</u>	<u>2500</u>	<u>2500</u>
	<b>1<sup>er</sup> Volume</b>	<b>1200</b>	<b>1200</b>	<b>3000</b>	<b>3000</b>	<b>3000</b>	<b>3000</b>
	<b>Total, ml</b>	<b>1200</b>	<b>1200</b>	<b>3000</b>	<b>3000</b>	<b>3000</b>	<b>3000</b>
<b>Deuxième</b> (15/06/2021), J20	Souche de spiruline	290	240	2860	2325	2910	2000
	Milieu de culture	<u>1450</u>	<u>1200</u>	<u>14300</u>	<u>11625</u>	<u>14550</u>	<u>10000</u>
	<b>2<sup>ème</sup> Volume</b>	<b>1740</b>	<b>1440</b>	<b>17160</b>	<b>13950</b>	<b>17460</b>	<b>12000</b>
	<b>Total, ml</b>	<b>1740</b>	<b>1440</b>	<b>17160</b>	<b>13950</b>	<b>17460</b>	<b>12000</b>
<b>Troisième</b> (28/06/2021), J33	Souche de spiruline	1160	880	–	–	13980	9690
	Milieu de culture	<u>10200</u>		–	–	<u>69900</u>	<u>45450</u>
	<b>3<sup>ème</sup> Volume</b>		<b>12240</b>	–	–	<b>83880</b>	<b>58140</b>
	<b>Total, ml</b>		<b>12240</b>	–	–	<b>83880</b>	<b>58140</b>

Le premier volume de la culture issu du 1<sup>er</sup> mélange de la souche et du milieu de culture (1<sup>er</sup> ensemencement) a été maintenu dans des conditions contrôlées selon le protocole décrit, durant une période de 19 jours. La couleur de la culture (**Figure III.1**) s'est améliorée du vert clair à un vert foncé (indicatrice d'un bon état de la spiruline).



**Figure III.1** : Aspect des cultures après 15 jours du 1<sup>er</sup> ensemencement.

Une période de 20 jours après le premier ensemencement, et à cause de la température relativement élevée de la culture ( $\approx 30\text{ C}^\circ$ ), le volume total a diminué de 75,8% dans H1 et de 80% dans H2 suite à l'évaporation (**Tableau III.1**).

Au 20<sup>ème</sup> jour du début de la culture, un 2<sup>ème</sup> ensemencement a été réalisé pour toutes les subdivisions de la culture afin d'augmenter le volume de la spiruline (**Figure III.2**).



**Figure III.2** : Aspect des cultures après 33 jours du 1<sup>er</sup> ensemencement.

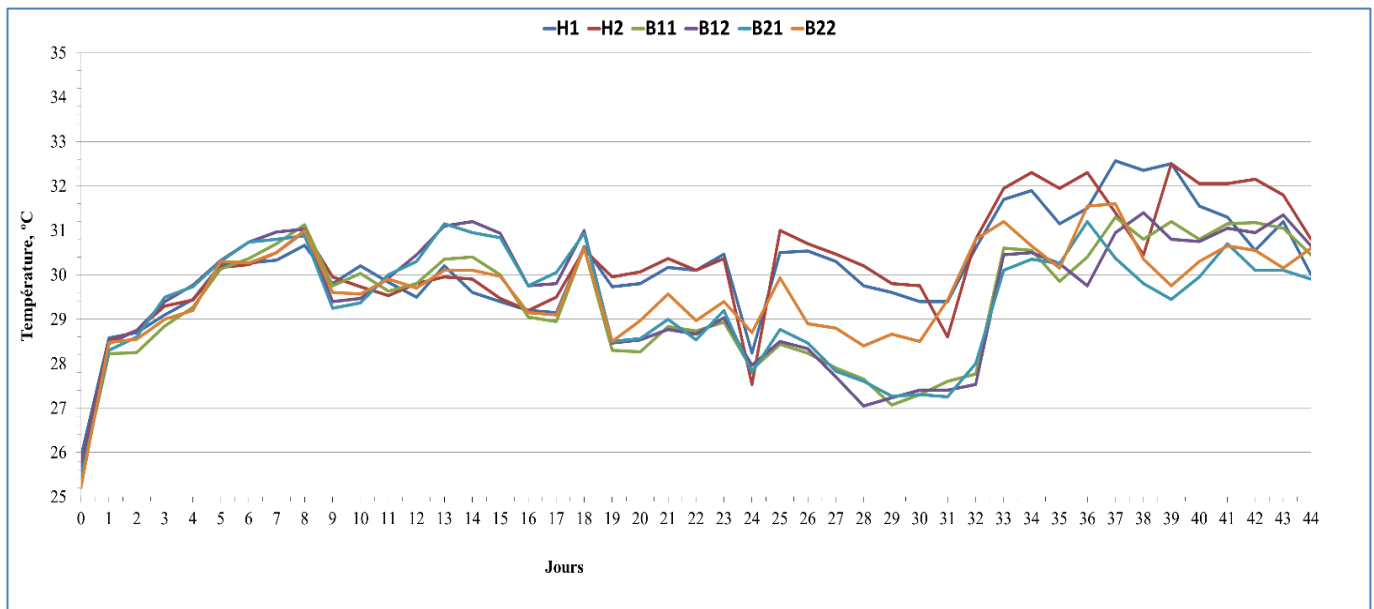
Le 3<sup>ème</sup> ensemencement a eu lieu après 33 jours du début de culture pour 4 volumes seulement (H1, H2, B21, B22) ; H1 et H2 ont été regroupé dans un même récipient de culture. À ce stade, l'évaporation des cultures était toujours remarquée mais elle n'a pas été assez importante (14,8%).

La culture de spiruline a été maîtrisée durant les 3 ensemencements sans noter une contamination ou perte de la spiruline. Sachant que les six volumes appartiennent à la même souche et ont été cultivés dans les mêmes conditions, le regroupement de ces volumes après le 3<sup>ème</sup> ensemencement a été réalisé dans le but de faciliter la récolte.

## 2. Evaluation des paramètres physico-chimiques

La mesure des paramètres physiques d'une culture de micro-algues (la spiruline) permet de déterminer les conditions optimales de son développement (**Annexes 2, 3, 4 et 5**).

### 2.1. Température



**Figure III.3 :** Evolution de la température des cultures (C°).

A noter que durant le 1<sup>er</sup> et le 2<sup>ème</sup> ensemencement, les cultures ont été placées respectivement dans deux bains maries d'une température variant entre 25 et 32 °C ; tandis que dans le 3<sup>ème</sup> ensemencement, les résistances ont été placées directement dans les aquariums et ont été réglées à une température de 31°C.

Le graphe sur la **Figure III.3** représente les valeurs de température observées durant la période d'étude pour les 06 cultures. Selon ce graphe, les valeurs sont comprises entre :

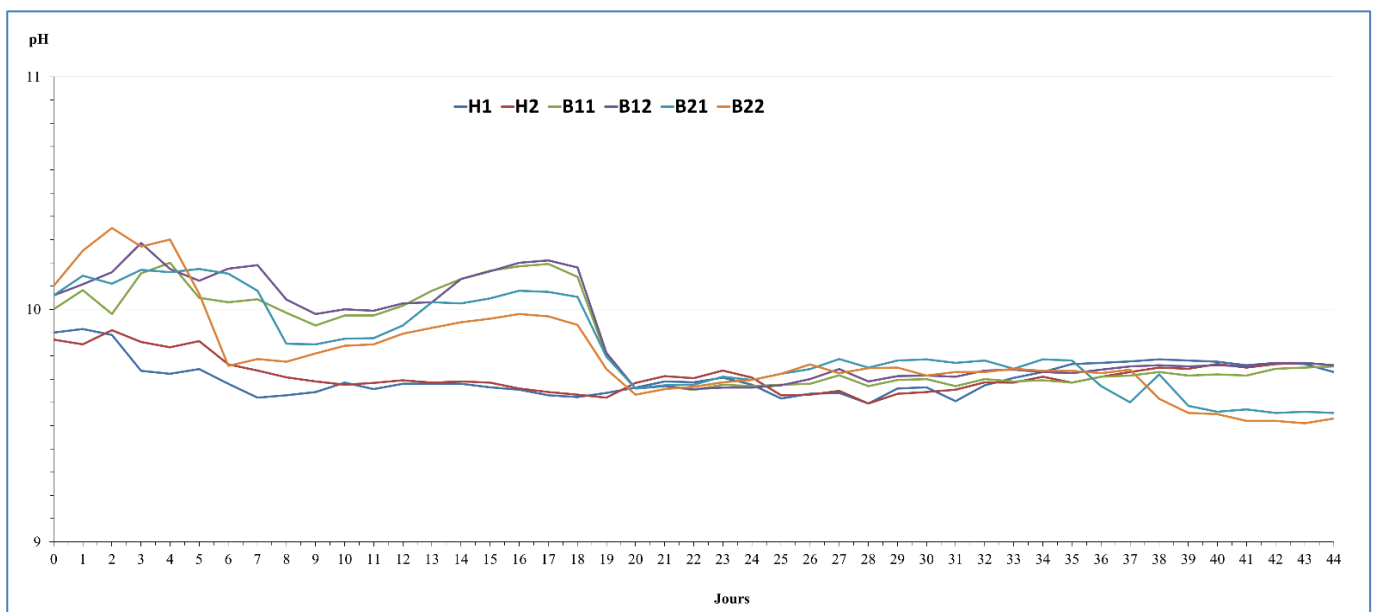
- Un minimum de 25,2 °C enregistré le 1<sup>er</sup> jour d'ensemencement dans B22 ;
- Un maximum de 32,6 °C enregistré le 37<sup>ème</sup> jour dans H1 ;
- Une moyenne générale de tous les volumes de  $29,8 \pm 0,39$  °C.

On remarque une différence de température des cultures (dispersion des courbes, écart estimé à  $\pm 1,2$  °C) à partir du 20/06/2021 (J25) jusqu'au 29/06/2021 (J34), cela est dû à l'emplacement des boucaux de cultures par rapport aux résistances durant cette période et la présence de deux différents bains maries (les volumes H1, H2 et B22 dans le même bain marie et B11, B12 et B21 dans un autre).

L'évolution de la température pour les différentes cultures se réfère aux bains maries et à la température atmosphérique qui a augmentée à partir du 33<sup>ème</sup> jour voir le 28/06/2021. Ces valeurs ont été suffisantes pour favoriser le bon développement des cultures.

### 2.2. Le pH

La **Figure III.4** représente le graphe des valeurs du pH enregistrées durant la période d'étude pour les 06 cultures.



**Figure III.4** : Evolution du pH des cultures.

Bien que la spiruline est un organisme vivant en milieu alcalin. Les valeurs de pH de différents volumes étaient comprises entre 9,52 (B22 au J41) et 10,35 (B22 au J2), avec une moyenne générale durant toute la période de  $9,80 \pm 0,08$ .

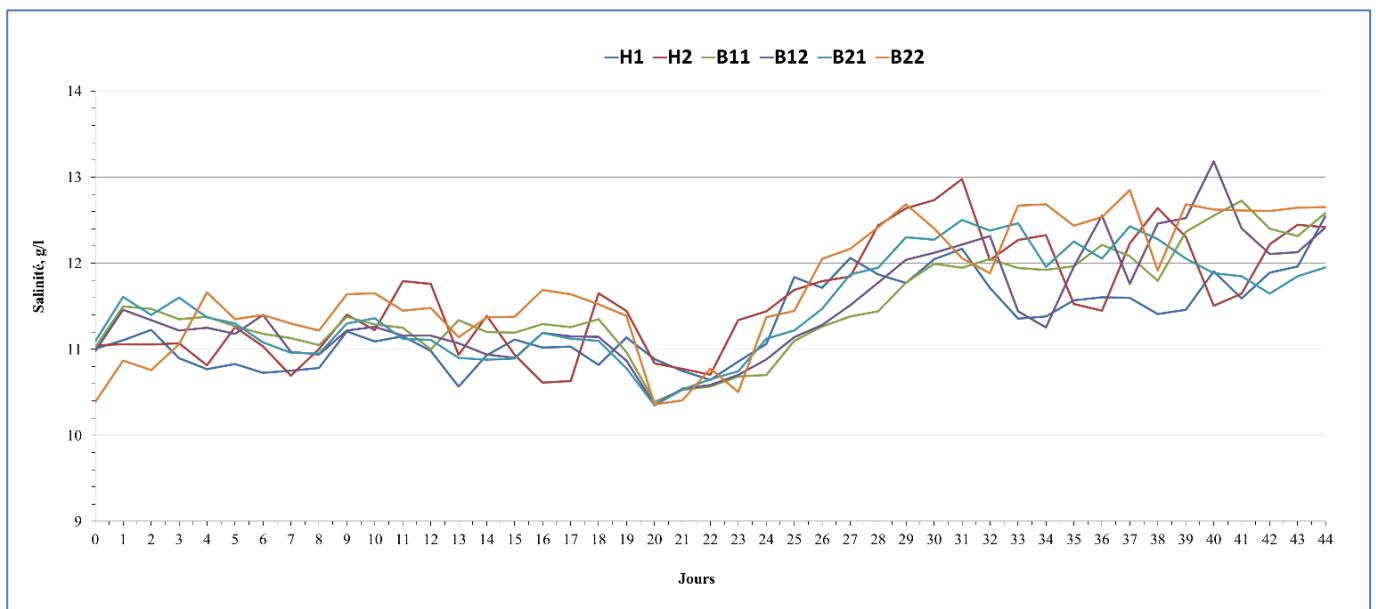
On remarque que les valeurs moyennes du pH des volumes H1 et H2 sont quasi identiques (9,70 et 9,72, respectivement); par contre la valeur du pH des autres cultures (B11, B12, B21 et B22) a augmenté dès le 1<sup>er</sup> jour de culture jusqu'au 2<sup>ème</sup> ensemencement (du J0 au J20), ensuite elle

s'est stabilisée pour tous les volumes à des valeurs de pH compris entre 9,60 et 9,80 (**Figure III.4**).

Cette variation du pH est due à l'évaporation des volumes des 4 cultures suscités, éventuellement causée par la température élevée des bains maries.

### 2.3. La Salinité

La **figure III.5** montre l'évolution de la salinité des cultures qui a varié entre 10,4 et 13,2 g/l, pour tous les volumes et durant toute la période expérimentale.



**Figure III.5 :** Evolution de la salinité des cultures (g/l).

On remarque d'après ce graphe que les valeurs de la salinité, enregistrée pour tous les volumes, n'ont pas beaucoup varié (en moyenne  $11,13 \pm 0,09$  g/l) et ont gardé une évolution constante durant les 20 premiers jours de la culture.

Une augmentation régulière des valeurs de la salinité est observée à partir du J20. Ce changement est dû à l'évaporation des volumes ainsi qu'à la réalisation du 2<sup>ème</sup> ensemencement (ajout de milieu de culture riche en sels nutritifs).


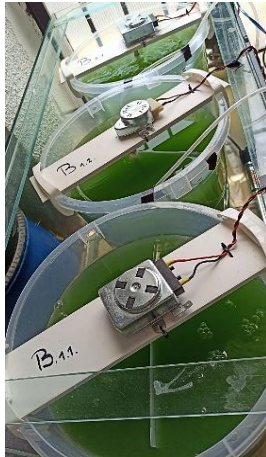


### 3. Evolution biologique

L'état de santé des milieux de culture est facilement diagnostiqué en utilisant uniquement l'organe des sens. Plusieurs critères peuvent être observés, parmi eux la couleur et l'aspect extérieur.




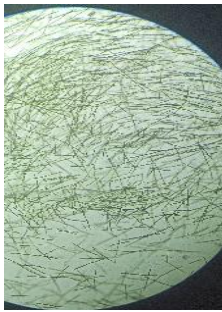
L'observation microscopique des échantillons nous a permis de constater l'aspect et la phase de division des filaments, de repérer les organismes qui peuvent nuire à la culture, et donc de faire un jugement plus objectif de l'état de santé du milieu.

Le **Tableau III.2** récapitule les différentes observations et leurs significations, effectuées durant le 2<sup>ème</sup> ensemencement.

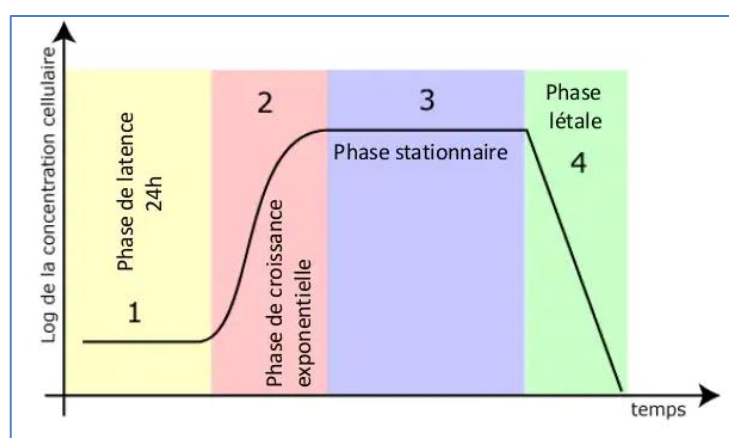
**Tableau III.2 :** Observations microscopiques et macroscopiques des cultures de spiruline et leurs significations.

	1 <sup>er</sup> jour d'ensemencement	3 <sup>ème</sup> jour après l'ensemencement	9 <sup>ème</sup> jour après l'ensemencement	13 <sup>ème</sup> jour après l'ensemencement
<b>Observation macroscopique</b>				
<b>La couleur</b>	Marron + vert	Vert clair	Vert un peu foncé	Vert foncé
<b>Aspect extérieur</b>	Aucune anomalie n'est observée dans toutes les cultures, les milieux de culture ont été homogènes.			

(Suite, **Tableau III.2**)

<b>Observation microscopique</b> <b>G (×100)</b>				
<b>La signification</b>	- Faible concentration de spiruline ; - Filaments de taille moyenne.	- Concentration moyenne de spiruline ; - Filaments longs.	- Forte concentration de spiruline ; - Petits fragments.	- Très forte concentration de spiruline ; - Une goutte indénombrable.
<b>Phase de division cellulaire</b>	Phase de latence	Phase de croissance exponentielle	Phase de croissance exponentielle	Phase stationnaire

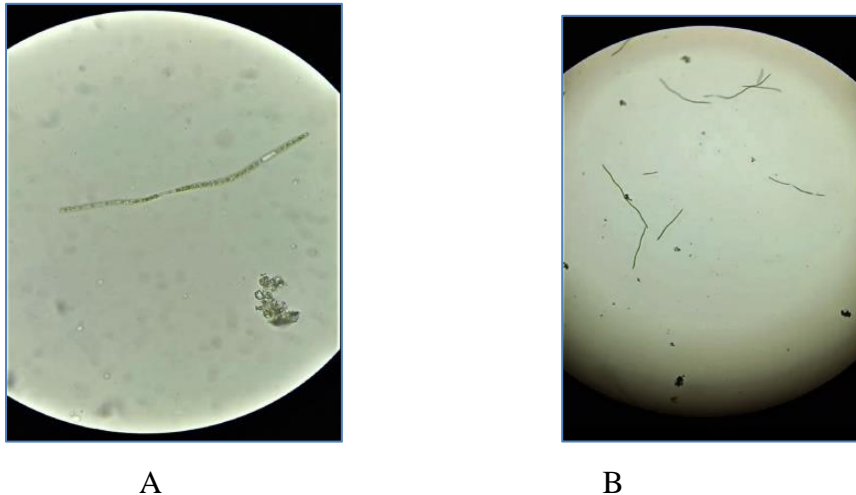
D'après les observations microscopiques de la culture de spiruline et la courbe de **Salomez, 2009**, on constate que notre culture est continue durant les ensemencements et passe par 3 phases successives selon la concentration en filaments de spiruline.



**Figure III.6** : Courbe de croissance des micro-algues (**Salomez, 2009**).

Au moment de l'ensemencement, la densité des cultures est faible. Puis ces filaments continuent de croître en se divisant rapidement et en s'acclimatant aux conditions de culture. Cette période d'adaptation, qui dure de 2 à 3 jours, est appelée **la phase de latence**. Une fois habituées aux

conditions, le taux de division (**Figure III.7**) s'accélère et l'augmentation du nombre de filaments dans les cultures est logarithmique. Cette période appelée la **phase de croissance exponentielle** dure de 4 à 6 jours. Puis le taux de division ralentit quand la pénétration de la lumière dans la culture et/ou les sels nutritifs deviennent des facteurs limitants. La culture entre ensuite en **phase stationnaire**, qui peut durer plusieurs jours.



**Figure III.7** : Observation microscopique d'un filament de spiruline lors de sa division 'A (Gx400) et B (Gx100)'.

On a observé au niveau du volume **H3** (100 ml) de la spiruline (volume supplémentaire gardé pour connaître la durée de vie de la spiruline sans agitation ni ensemencement et à l'abri de la lumière) une masse gluante de couleur 'vert olive' et des bulles d'air qui ont commencé à apparaître après 50 jours (**Figure III.8**).

D'après cette remarque, on peut dire que la souche de spiruline peut résister dans des conditions extrêmes (manque de CO<sub>2</sub>, de lumière et de nutriments) pour une longue durée.



**Figure III.8** : Le volume **H3** après 55 jours.

### 4. La récolte et le séchage

Il faut noter que la récolte est nécessaire pour éviter la perte de la culture (**Figure III.9**), car une concentration très élevée de la spiruline dans un volume donné peut empêcher la pénétration de la lumière et le CO<sub>2</sub>.



**Figure III.9 :** Biomasse de la spiruline récoltée.

En raison du taux d'humidité élevé dans la région d'Alger (La ferme expérimental de l'ENSSMAL à Dely Ibrahim), la biomasse est en risque de dégradation rapide ; c'est pourquoi il est fortement conseillé de la sécher le plus tôt possible (**Jourdan, 2013**).

Le séchage nous a permis d'obtenir une spiruline sèche prête à la consommation (**Figure III.10**).



**Figure III.10 :** La spiruline sèche.

Les récoltes ont été réalisées suivant le **Tableau III.3**.

**Tableau III.3** : Dates de récolte et masses obtenues.

Dates	Poids humide (g)	Poids sec (g)
01/07/2021	97,20	4,76
27/07/2021	94,05	4,73
11/08/2021	153,62	7,65
22/08/2021	226,11	11,33
30/08/2021	276,60	13,19
09/09/2021	304,37	14,56
<b>Total</b>	<b>1151,95</b>	<b>56,22</b>

Dans notre étude, le poids total de la spiruline récoltée nous a permis de calculer une productivité quotidienne de 0,8 g si on considère la période totale de la récolte de 70 jours (**Tableau III.3**). Cette productivité est inférieure à celle mentionnée par le fournisseur de la souche M. Hiri (approximativement 2 g/j) ; en considérant les différences entre les volumes investis (**Tableau III.5**) et la continuité de la production, ces résultats sont considérés satisfaisants dans notre cas.

## 5. Taux d'humidité

Le taux d'humidité est calculé pour 2 échantillons de spiruline : une spiruline séchée traditionnellement (**T**) et l'autre à l'étuve (**E**).

Les résultats sont présentés dans le **Tableau III.4**.

**Tableau III.4** : Taux d'humidité et de la matière sèche des 2 échantillons de la spiruline.

	Taux d'humidité (%)	Matière sèche (%)
Echantillon T	13,05	86,95
Echantillon E	11,14	88,86
Référence ( <b>Jourdan, 2006</b> )	≤10	≥90

L'humidité est un facteur très important dans les caractéristiques physico-chimiques de la spiruline. Dans notre étude, elle était de 13,05% dans le cas de la spiruline séchée naturellement et 11,14% pour celle séchée à l'étuve. L'endroit où était réalisé le séchage est caractérisé par une

atmosphère très humide ; ce qui fait que ces 2 valeurs sont un peu élevées par rapport à la référence (Tableau III.4) citée par **Jourdan (2006)**.

Il faut savoir que la hausse d'humidité peut provoquer une prolifération microbienne ; alors par précaution, le produit doit être bien conservé.




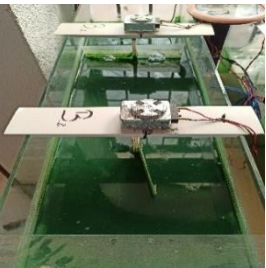


En outre, ces résultats montrent que la spiruline est très riche en matière sèche avec un taux moyen (T et E) de 87,91%.

### 6. Etude comparative

Une formation sur la culture artisanale de la spiruline a été réalisée par M. Hiri au niveau de sa ferme située à Tamanrasset, le 11 septembre 2021. Cette expérience nous a permis de comparer la méthode de culture de M. Hiri et celle que nous avons réalisé au sein de la ferme expérimentale de l'ENSSMAL.

Le **Tableau III.5** résume les différentes étapes de la culture de spiruline dans les 2 fermes.

**Tableau III.5** : Comparaison des étapes de culture de spiruline dans les 2 fermes.

	Culture réalisée par <b>M. Hiri</b>	Culture présentée
Bassin	 <p>Rectangulaire 500 L-10000 L En béton.</p>	 <p>Aquarium en verre. Bidon en plastique.</p>
Agitation	 <p>Pompe d'eau 15min/3h.</p>	 <p>Pompe à air 4h/jrs. Agitateur 30 min/4h.</p>
Filtration et récolte	 <p>Pomper tout le volume. Toile 30 -50 µm. Chaque jour.</p>	 <p>Des petits volumes. Tamis 40 µm. Chaque semaine.</p>

(Suite, Tableau III.5)

<p>Pressage</p>		<p>Manuellement dans un tissu en nylon.</p>		<p>Manuellement dans un tissu en nylon.</p>
<p>Forme</p>		<p>Décorateur de gâteau.</p>		<p>Une seringue.</p>
<p>Séchage</p>		<p>Naturel à l'abri de l'air et de la lumière.</p>		<p>Naturel à l'abri de l'air et de la lumière.</p>
<p>Conservation</p>		<p>Sachets en papier.</p>		<p>Boîtes en verre.</p>

A noter que le climat de la Wilaya de Tamanrasset est complètement différent que celui d'Alger surtout au point de vue de la température et de l'humidité (**Tableau III.6**).

La technique de culture présentée ressemble à celle de M. Hiri dans les différentes étapes mais à une petite échelle.

**Tableau III.6** : Le climat en été à Alger et Tamanrasset ([www.m.dzmeteo.com](http://www.m.dzmeteo.com)).

Région	Climat
Alger	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chaud et humide.</li> <li>- Été chaud et ensoleillé, avec la brise qui souffle de la mer.</li> <li>- Les précipitations pendant l'été de 600 mm/an.</li> </ul>
Tamanrasset	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chaud et sec.</li> <li>- Été avec chaleur torride, les moyennes sont d'environ 35/36 degrés avec des pics de 40/42°C.</li> <li>- Les pluies sont rares et sporadiques dépassant légèrement les 50 mm/an.</li> </ul>

# CONCLUSION

La spiruline n'a suscité l'intérêt des scientifiques que tardivement, elle jouit aujourd'hui d'un intérêt grandissant grâce à ses multiples propriétés thérapeutiques et nutritionnelles. Ce regain d'intérêt se traduit par les nombreuses études publiées que nous avons consultées pour réaliser notre travail et qui portent sur tout ce qui caractérise la spiruline.

En premier lieu, nous avons décrit tous les aspects biologiques de la spiruline. Cette description nous a permis de constater la grande plasticité morphologique et son adaptation exceptionnelle dans des milieux très variés et surtout défavorables (température, alcalinité et salinité élevées).

Ensuite, les analyses nutritionnelles démontrent que la spiruline contient des teneurs très importantes en nutriments et oligoéléments bénéfiques pour l'homme et pour les animaux. Un aperçu sur les différentes méthodes de production et l'évolution de la production mondiale et régionale de la spiruline, révèle que la production est divisée en 2 modes : la première est artisanale et dépend de plusieurs facteurs (climatiques et environnementaux). La deuxième est une production industrielle qui utilise les techniques de l'industrie agroalimentaire pour améliorer la productivité. Ce qui fait que la production mondiale de la spiruline est en constante augmentation, mais reste très faible en Algérie.

Nous avons réalisé une culture à petite échelle au niveau de la ferme expérimentale de l'ENSSMAL, afin d'optimiser les conditions de culture et d'éviter les différents obstacles tels que la contamination ; et aussi, pour maîtriser les méthodes de séchage et de conditionnement de la spiruline.

Les résultats obtenus démontrent qu'une gestion optimale des paramètres physico-chimiques (Température, pH et Salinité) en plus d'un climat chaud, sont des facteurs clés pour assurer une bonne rentabilité.

Compte tenu de toutes ces données, notre travail reste préliminaire, il paraît d'une grande utilité de poursuivre la présente étude tout en élargissant le champ des expérimentations et d'approfondir les recherches scientifiques et technologiques, dans le futur. Nous envisageons d'entreprendre les différentes activités de recherche suivantes :

- Identification génétique, taxonomique, phyllogénétique et caractérisation biochimique de la souche algérienne (la souche de la région de Tamanrasset).
- L'incorporation de la spiruline dans l'aliment des espèces aquatique

- AHOUNOU, M. (2018)** La spiruline : un complément alimentaire en conseil à l'officine. Enquête d'utilisation, Thèse de doctorat spécialité Pharmacie, France : La spiruline : un complément alimentaire en conseil à l'officine. Enquête d'utilisation, p.p. 1-172.
- AUDIGIE C., DUPONT G., ZONZAIN F. (1982).** Principe des méthodes d'analyse biochimique. Tome 1, Paris, DOIN, 189p.
- AUDREY MANET. (2016).** La spiruline : indications thérapeutiques, risques sanitaires et conseils à l'officine. Sciences pharmaceutiques.
- BARROS, M. P., CARDOZO, K. H., GUARATINI, T., FALCÃO, V. R., TONON, A. P., LOPES, N. P., ... & PINTO, E. (2007).** Metabolites from algae with economic impact. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 146(1-2), p.p.60-78.
- BARSANTI, L., & GUALTIERI, P. (2014).** Algae: anatomy, biochemistry, and biotechnology. CRC press.
- BARSANTI, L., & GUALTIERI, P. (2018).** Is exploitation of microalgae economically and energetically sustainable? *Algal research*, 31, p.p. 107-115.
- BEADLE, L. C. (1943).** Osmotic regulation and the faunas of inland waters. *Biological Reviews*, 18(4), p.p.172-183.
- BELAY, A., BAURAIN, D., RENQUIN, L., GRUBISIC, S., SCHELDEMAN, P., & WILMOTTE, A. (2002).** Remarkable conservation of internally transcribed spacer sequences of *Arthrospira* ("spirulina") (cyanophyceae, cyanobacteria) strains from four continents and of recent and 30- year- old dried samples from africa1. *Journal of Phycology*, 38(2), p.p.384-393.
- BELAY, A., OTA, Y., MIYAKAWA, K., & SHIMAMATSU, H. (1993).** Current knowledge on potential health benefits of *Spirulina*. *Journal of applied Phycology*, 5(2), p.p.235-241.
- BERNARD, C. (2014).** Les cyanobactéries et leurs toxines. *Revue Francophone des Laboratoires*, 2014(460), p.p.53-68.
- BONNEFOND H., COMBE CH., CADORET J., SCIANDRA A., BERNARD O., (2020).** Potentiel des micro-algues. HAL.
- BRANDILY, M. Y. (1959).** Depuis des lustres une tribu primitive du Tchad exploite la nourriture de l'an 2000. *Sci Avenir*, 152, p.p.516-519.
- BRANGER, B., CADUDAL, J. L., DELOBEL, M., OUOBA, H., YAMEOGO, P., OUEDRAOGO, D. ... & ANCEL, P. (2003).** La spiruline comme complément alimentaire dans la malnutrition du nourrisson au Burkina-Faso. *Archives de pédiatrie*, 10(5), p.p. 424-431.
- CARDINAL, J. REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE.
- ÇELEKLI, A., & BOZKURT, H. (2011).** Bio-sorption of cadmium and nickel ions using *Spirulina platensis*: kinetic and equilibrium studies. *Desalination*, 275(1-3), p.p.141-147.

- CHARPY, L., LANGLADE, M. J., & ALLIOD, R. (2008).** La Spiruline peut-elle être un atout pour la santé et le développement en Afrique. Rapport d'expertise pour le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche.
- CHEN, T., & WONG, Y. S. (2008).** In vitro antioxidant and antiproliferative activities of selenium-containing phycocyanin from selenium-enriched *Spirulina platensis*. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(12), p.p.4352-4358.
- CHOPRA, K., & BISHNOI, M. (2007).** Antioxidant Profile of Spirulina: A Blue-Green Microalga. In *Spirulina in Human Nutrition and Health*, CRC Press, p.p. 115-132.
- CHRISTOPHE HUG & DENIS VON DER WEID, (2009),** 'La spiruline dans la lutte contre la malnutrition', Bilan et perspectives : Antenna Technology, p30.
- CIFERRI O. (1983)** Spirulina, the Edible Microorganism. *Microbiological Reviews* 47(4), p.p.551-578.
- CIFERRI, O., & TIBONI, O. (1985).** The biochemistry and industrial potential of Spirulina. *Annual review of microbiology*, 39(1), p.p. 503-526.
- CLEMENT, G. (1971).** *Rev. Inst. Pasteur Lyon* 4:1 p.p. 03-14
- CRUCHOT, H. (2008).** La Spiruline, Bilan et Perspective. Thèse de doctorat en pharmacie. Université de France-Comite.
- DARGENT L. (2009)** Spirulina platensis et ses constituants intérêts nutritionnels et activités thérapeutiques. 175p Thèse disponible sur: [http://docnum.univlorraine.fr/public/SCDPHA\\_T\\_2009\\_LAURENTDARGENT\\_ONATHAN](http://docnum.univlorraine.fr/public/SCDPHA_T_2009_LAURENTDARGENT_ONATHAN)
- DEVI, M. A., & VENKATARAMAN, L. V. (1983).** Hypocholesterolemic effect of blue green algae *Spirulina platensis* in albino rats. *Nutrition reports international*, 28(3), p.p.519-530.
- DUBEY RC (2006).** A textbook of Biotechnology. Fourth revised and enlarged edition, S. hand and Company Limited, p.p. 419-421.
- ETIENNE, H., BERTRAND, B., MONTAGNON, C., BODADILLA LANDEY, R., DECHAMP, E., JOURDAN, I., ... & GEORGET, F. (2012).** Un exemple de transfert de technologie réussi dans le domaine de la micropropagation: la multiplication de *Coffea arabica* par embryogenèse somatique.
- FALQUET J (1996)** Spiruline, Aspects Nutritionnels. Antenna Technologies. 22 p.
- FALQUET, J., & HURNI, J. P. (1986).** *Spiruline: aspects nutritionnels*. Flamant vert.
- FALQUET, J., & HURNI, J. P. (2006).** Spirulina, Nutritionals Aspects. Antenna Technologies, Geneva.
- FEDKOVIC, Y., ASTRE, C., PINGUET, F., GERBER, M., & YCHOU, M. (1993).** Spiruline et cancer. *Bulletin de l'Institut océanographique Monaco*, p.p.117-120.
- FERHAT, W., & LAKEHAL, S. (2019).** Culture et production de la spiruline *Arthrospira platensis* dans la région d'El'Oued. Mémoire de master, EL OUED : université d'El oued p54.

- FOX, D., (1999).** « Spiruline: technique pratique et promesse », Aix en Provence : Edi. Sud, p246.
- GANTAR, M., & SVIRČEV, Z. (2008).** Microalgae and cyanobacteria: food for thought 1. *Journal of phycology*, 44(2), p.p.260-268.
- GIRARDIN-ANDREANI, C. (2005).** Spiruline: système sanguin, système immunitaire et cancer. *Phytothérapie*, 3(4), p.p.158-161.
- GOMONT M. (1892)** Monographie des Oscillariées. *Ann Sci Nat Bot, Sér 7, 15:* p.p. 263–368; 16: p.p.91–264
- GUILLOU A. (2006)** CRBM, Etude d'opportunité des biotechnologies marines sur la production et l'utilisation des microalgues", p 202.
- HALLAND, M., & BHARUCHA, A. E. (2016).** Relationship between control of glycemia and gastric emptying disturbances in diabetes mellitus. *Clinical Gastroenterology and Hepatology*, 14(7), p.p.929-936.
- HOCINI M., (2017).** Production de la Spiruline en Algérie (Arthrospiraplatansis) : Bilan et perspectives. Mémoire de master, MIRA-Bejaia: Université Abderrahmane: p48.
- ILTIS, A. (1980).** Les algues. Flore et Faune aquatiques de l'Afrique sahel-soudanienne, 1, p.p.9-61.
- INAS, A. M. S. M. B., & AMMAR, B. L. B. (2020).** Culture et production de la spiruline, Doctoral dissertation, M'SILA : UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF.
- JOURDAN, J. P. (2006).** Cultivez votre spiruline. Edt. Antenna Technologie: p146 <http://www.antenna.ch/documents/manuelJourdan2061.pdf> .
- JOURDAN, M., MINÁR, J., BRAUN, J., KRONENBERG, A., CHADOV, S., BALKE, B., ... & KLÄUI, M. (2014).** Direct observation of half-metallicity in the Heusler compound Co<sub>2</sub>MnSi. *Nature communications*, 5(1), p.p.1-5.
- KALAFATI, M, JANNITAS A Z, NIKOLAIDIS, M G. PASCHALIS, V. THEODOROU, A. A SAKELLARIOU, G. KOUTEDAKIS, Y. ET KOURETAS, D. (2009)** "Ergogenic and antioxidant effects of spirulina supplementation in humans", *Med Sci Sports Exerc.* V 42, n°1. January. 2010), p.p. 142-151.
- KHAN, M., SHOBHA, J. C., MOHAN, I. K., RAO NAIDU, M. U., PRAYAG, A., & KUTALA, V. K. (2006).** Spirulina attenuates cyclosporine- induced nephrotoxicity in rats. *Journal of Applied Toxicology: An International Journal*, 26(5), p.p.444-451.
- KHAN, M., SHOBHA, J-C., MOHAN, I-K. RAO NAIDU, M-U, PRAYAG, A. AND KUTALA, V-K, (2006).** "Spirulina attenuates cyclosporine-induced nephrotoxicity in rats. *J Appl Toxicol.* V. 26, n°5, p.p.444-451.
- KROGMANN, D. W. (1982).** In *On the Origin of/ Chloroplasts.* ed. J. A. Schiff, Amsterdam: North-Holland p.p. 27-34.
- LABABPOUR, A. (2017).** A simultaneous Spirulina biomass production and brine desalination in an auto trophic culture. *Desalination and Water Treatment*, 79, p.p.135-141.

- LEONARD, J. ET COMPERE, P. (1967).** "Spirulina platensis (Gom) Geitler, algue bleue de grade valeur alimentaire par sa richesse en proteines". Bull. Jard bat. Nat Belg, 37, n°1. Suppl 23.
- LIANG, S., LIU, X., CHEN, F., & CHEN, Z. (2004).** Current microalgal health food R & D activities in China. In *Asian pacific phycology in the 21st century: Prospects and challenges* Springer, Dordrecht, p.p. 45-48.
- LIN, C. L., & LIN, J. K. (2008).** Curcumin: a potential cancer chemopreventive agent through suppressing NF- $\kappa$ B signaling. *J Cancer Molecules*, 4, p.p.11-16.
- LU, J., TAKEUCHI, T., & OGAWA, H. (2003).** Flesh quality of tilapia *Oreochromis niloticus* fed solely on raw Spirulina. *Fisheries science*, 69(3), p.p. 529-534.
- LUCCHETTI, A. (2014).** Modélisation et conception d'un système de culture de microalgues (Doctoral dissertation, Paris, ENMP).
- MADURAI, (2002)** Livret pédagogique Accompagnement du film : 'La spiruline contre la malnutrition' Antenna Technology: – Inde, p 27.
- MANET, A. (2016).** La spiruline: indications thérapeutiques, risques sanitaires et conseils à l'officine (Doctoral dissertation, Thèse présentée pour l'obtention du titre de Docteur en pharmacie, Diplôme d'état).
- MARKOU, G., CHATZIPAVLIDIS, I., & GEORGAKAKIS, D. (2012).** Cultivation of *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* in olive-oil mill wastewater treated with sodium hypochlorite. *Bioresource Technology*, 112, p.p.234-241.
- MARTÍN, J. F., GUDIÑA, E., & BARREDO, J. L. (2008).** Conversion of  $\beta$ -carotene into astaxanthin: Two separate enzymes or a bifunctional hydroxylase-ketolase protein? *Microbial Cell Factories*, 7(1), p.p.1-10.
- MATOS, J., CARDOSO, C., BANDARRA, N. M., & AFONSO, C. (2017).** Microalgae as healthy ingredients for functional food: a review. *Food & function*, 8(8), p.p.2672-2685.
- MERCERON, C., VINATIER, C., PORTRON, S., MASSON, M., AMIAUD, J., GUIGAND, L. ... & GUICHEUX, J. (2010).** Differential effects of hypoxia on osteochondrogenic potential of human adipose-derived stem cells. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 298(2), C355-C364.
- MOORHEAD, D. L., & SINSABAUGH, R. L. (2006).** A theoretical model of litter decay and microbial interaction. *Ecological Monographs*, 76(2), p.p.151-174.
- MUSTAFA, M. G., UMINO, T., & NAKAGAWA, H. (1994).** The effect of Spirulina feeding on muscle protein deposition in red sea bream, *Pagrus major*. *Journal of applied ichthyology*, 10(2- 3), p.p.141-145.
- NANDEESHA, M. C., GANGADHARA, B., MANISSERY, J. K., & VENKATARAMAN, L. V. (2001).** Growth performance of two Indian major carps, catla (*Catla catla*) and rohu (*Labeo rohita*) fed diets containing different levels of *Spirulina platensis*. *Bioresource Technology*, 80(2), p.p.117-120.
- OGBONDA, K. H., AMINIGO, R. E., & ABU, G. O. (2007).** Influence of temperature and pH on biomass production and protein biosynthesis in a putative *Spirulina* sp. *Bioresource technology*, 98(11), p.p.2207-2211.

- OLGUIN, E. J., GALICIA, S., MERCADO, G., & PEREZ, T. (2003).** Annual productivity of *Spirulina* (*Arthrospira*) and nutrient removal in a pig wastewater recycling process under tropical conditions. *Journal of applied phycology*, 15(2), p.p.249-257.
- OTTE, G., & ROSENTHAL, H. (1979).** Management of a closed brackish water system for high-density fish culture by biological and chemical water treatment. *Aquaculture*, 18(2), p.p.169-181.
- PARIKH, P. MANI, U. ET LYER, U., (2001).** "Role of *Spirulina* in the control of glycemia and lipidemia in type 2 diabetes mellitus", *Journal of Medicinal Food*, V 4 n°4, P.p.193-199
- PIERLOVISI, C. (2007).** L'homme et la spiruline, un avenir commun? Composition chimique, intérêts alimentaires et activités biologiques (Doctoral dissertation).
- PUTRI, A. K., BAROKAH, G. R., & ANDARWULAN, N. (2017).** Human Health Risk Assessment of Heavy Metals Bioaccumulation in Fish and Mussels from Jakarta Bay. *Squalen Bulletin of Marine and Fisheries Postharvest and Biotechnology*, 12(2), p.p. 75-83.
- QURESHI, M. A., & ALI, R. A. (1996).** *Spirulina platensis* exposure enhances macrophage phagocytic function in cats. *Immunopharmacology and immunotoxicology*, 18(3), p.p.457-463.
- REDDY, C. M., BHAT, V. B., KIRANMAI, G., REDDY, M. N., REDDANNA, P., & MADYASTHA, K. M. (2000).** Selective inhibition of cyclooxygenase-2 by C-phycoerythrin, a biliprotein from *Spirulina platensis*. *Biochemical and biophysical research communications*, 277(3), p.p.599-603.
- REMIREZ, D., GONZALEZ, R., MERINO, N. RODRIGUEZ, S. ET ANCHETA, O., (2002)** Inhibitory effects of *Spirulina* in zymosan-induced arthritis in mice Mediators of Inflammation w1, 1579.
- RICHMOND A, VONSHAK A (1978).** *Spirulina* culture in Israel. *Arch. Hydrobiol. Bein. Ergebn. Limnol* 11: p.p.274-280.
- SAEID, A., & CHOJNACKA, K. (2015).** Toward production of microalgae in photobioreactors under temperate climate. *Chemical Engineering Research and Design*, 93, p.p.377-391.
- SALOMEZ, M., HOARAU, M., GAUTRET, L., & RIVIERE, L. (2009).** Microalgae industry development opportunities at Reunion Island.
- SANCHEZ, A. S., NOGUEIRA, I. B. R., & KALID, R. A. (2015).** Uses of the reject brine from inland desalination for fish farming, *Spirulina* cultivation, and irrigation of forage shrub and crops. *Desalination*, 364, p.p.96-107.
- SCABINI, V., FERNANDEZ- PALACIOS, H., ROBAINA, L., KALINOWSKI, T., & IZQUIERDO, M. S. (2011).** Reproductive performance of gilthead seabream (*Sparus aurata* L., 1758) fed two combined levels of carotenoids from paprika oleoresin and essential fatty acids. *Aquaculture Nutrition*, 17(3), p.p.304-312.
- SCHELDEMAN, P., BAURAIN, D., BOUHY. R. SCOTT, M. BELAY. A ET WILNOTTE. A., (1999).** *Arthrospira* (*Spirulina*) strains from four continents are resolved into only two clusters based on amplified ribosomal DNA restriction analysis of the internally transcribed spacer. *FEMS Microbiol. Lett.* V 172, n°2. (1999), p.p.213-222.

- SCHWARTZ, J., SHKLAR, G., REID, S. AND TRICKLER, D., (1988).** "Prevention of experimental oral cancer by extracts of Spirulina-Dunaliella algae". *Nutr. Cancer*. V 11., p.p.127-134.
- SEYIDOGLU, N., INAN, S., & AYDIN, C. (2017).** A prominent superfood: Spirulina platensis. *Superfood and Functional Food The Development of Superfoods and Their Roles as Medicine*, p.p.1-27.
- SGUERA, S. (2008).** Spirulina platensis et ses constituants: intérêts nutritionnels et activités thérapeutiques (Doctoral dissertation, UHP-Université Henri Poincaré).
- SONI, R. A., SUDHAKAR, K., & RANA, R. S. (2017).** Spirulina–From growth to nutritional product: A review. *Trends in food science & technology*, 69, p.p.157-171.
- SUDHAKAR, K., PREMALATHA, M., & RAJESH, M. (2014).** Large-scale open pond algae biomass yield analysis in India: a case study. *International Journal of Sustainable Energy*, 33(2), p.p.304-315.
- TABUTIN, D., BIRABEN, J. N., & VILQUIN, E. (2002).** L'histoire de la population de l'Afrique du Nord pendant le deuxième millénaire. Université catholique de Louvain, Département des sciences de la population et du développement.
- TEIMOURI, M., YEGANEH, S., & AMIRKOLAIE, A. K. (2016).** The effects of Spirulina platensis meal on proximate composition, fatty acid profile and lipid peroxidation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) muscle. *Aquaculture Nutrition*, 22(3), p.p.559-566.
- THURMAN H. V., (1997).** *Introductory Oceanography*. New Jersey, USA: Prentice Hall College :p 215.
- TOMASELLI, L. (1997).** Morphology, ultrastructure and taxonomy of *Arthrospira* (*Spirulina*) *maxima* and *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis*. *Spirulina platensis* (*Arthrospira*): physiology, cell-biology and biotechnology, p.p. 1-16.
- TRABELSI, L., OUADA, H. B., & BASSA, H. (2010).** Activités biologiques des métabolites excrétés par la cyanobactérie filamenteuse *Arthrospira platensis*. *Phytothérapie*, 8(5), p.p.282-289.
- TREDICI, M. R., (1999).** "Bioreactors, photo." *Encyclopedia of Bioprocess Technology: Fermentation, Biocatalysis and Bioseparation*. Flickinger, M. C. and Drew, S. W. New York, USA, JOHN WILEY & SONS, p.p.395-419.
- TREDICI, M. R., PAPUZZO, T., & TOMASELLI, L. (1986).** Outdoor mass culture of *Spirulina maxima* in sea-water. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 24(1), p.p.47-50.
- TSARAHEVITRA, J. A. R. I. S. O. A. (2005).** ADAPTATION DE LA SPIRULINE DU SUD DE MADAGASCAR A LA CULTURE EN EAU DE MER. MISE AU POINT DE STRUCTURES DE PRODUCTION A L'ECHELLE VILLAGEOISE (Doctoral dissertation, Institut de Recherche pour le Développement).
- VELASQUEZ, S. F., CHAN, M. A., ABISADO, R. G., TRAI FALGAR, R. F. M., TAYAMEN, M. M., MALIWAT, G. C. F., & RAGAZA, J. A. (2016).** Dietary Spirulina (*Arthrospira platensis*) replacement enhances performance of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of applied phycology*, 28(2), p.p.1023-1030.

- VICAT, J. P., JC, D. M., & BELLION, Y. (2013).** Contents of macromineral and trace elements in spirulina (*Arthrospira platensis*) from France, Chad, Togo, Niger, Mali, Burkina-Faso and Central African.
- VICAT, J. P., MBAIGANE, J. C. D., & BELLION, Y. (2014).** Teneurs en éléments majeurs et traces de spirulines (*Arthrospira platensis*) originaires de France, du Tchad, du Togo, du Niger, du Mali, du Burkina-Faso et de République centrafricaine. *Comptes Rendus Biologies*, 337(1), p.p. 44-52.
- VIDALO, J. L. (2008).** Spiruline: l'algue bleue de santé et de prévention.
- VONSHAK A (1987b)** Strain selection of *Spirulina* suitable for mass production. *Hydrobiologia* 151/152: p.p.79–82.
- VONSHAK, A. (1997).** Spirulina: growth, physiology and biochemistry. In *Spirulina Platensis Arthrospira* p.p. 61-84.
- VONSHAK, A., & GUY, R. (1992).** Photoadaptation, photoinhibition and productivity in the blue- green alga, *Spirulina platensis* grown outdoors. *Plant, Cell & Environment*, 15(5), p.p.613-616.
- WITTRICK AND NORDSTEDT (1844)** Algae aquae dulcia exiccata, fascicule XIV n° 679. In: *Descriptiones systematicae dispositae*, p 59.
- WU, B., TSENG, C. K., & XIANG, W. (1993).** Large-scale cultivation of *Spirulina* in seawater based culture medium.
- WU, J., ZHANG, C., XUE, T., FREEMAN, W. T., & TENENBAUM, J. B. (2016).** Learning a probabilistic latent space of object shapes via 3d generative-adversarial modeling. In *Proceedings of the 30th International Conference on Neural Information Processing Systems* p.p. 82-90.
- WU, L. C., & HO, J. A. A. (2007).** Antioxidative and hepatoprotective effects of *Spirulina*. In *Spirulina in Human Nutrition and Health* CRC Press, p.p.133-166.
- WU, Q., LIU, L., MIRON, A., KLÍMOVÁ, B., WAN, D., & KUČA, K. (2016).** The antioxidant, immunomodulatory, and anti-inflammatory activities of *Spirulina*: an overview. *Archives of toxicology*, 90(8), p.p.1817-1840.
- WUANG, S. C., KHIN, M. C., CHUA, P. Q. D., & LUO, Y. D. (2016).** Use of *Spirulina* biomass produced from treatment of aquaculture wastewater as agricultural fertilizers. *Algal research*, 15, p.p.59-64.
- ZARROUK, C. (1966).** Contribution a l'etude d'une Cyanophyce. Influence de Divers Facteurs Physiques et Chimiques sur la croissance et la photosynthese de *Spirulina mixima*. Thesis. University of Paris, France.
- ZHAI, J., LI, X., LI, W., RAHAMAN, M. H., ZHAO, Y., WEI, B., & WEI, H. (2017).** Optimization of biomass production and nutrients removal by *Spirulina platensis* from municipal wastewater. *Ecological engineering*, 108, p.p.83-92.
- Zhang, F., Man, Y. B., Mo, W. Y., & Wong, M. H. (2020).** Application of *Spirulina* in aquaculture: a review on wastewater treatment and fish growth. *Reviews in Aquaculture*, 1-18 © 2019 Wiley Publishing Asia Pty Ltd.

**ZHOU, W., LI, Y., GAO, Y., & ZHAO, H. (2017).** Nutrients removal and recovery from saline wastewater by *Spirulina platensis*. *Bioresource technology*, 245, p.p.10-17.

### Webographie

**AccuWeather (2021)** Algérie – RADAR METEO. [En ligne] [Consulté le 04/10/2021].

Disponible sur le web: <https://www.accuweather.com/>.

**DARGENT. L (2009)** *Spirulina platensis* et ses constituants intérêts nutritionnels et activités thérapeutiques : 175p. [En ligne] [Consulté le 02/06/2021].

Disponible sur le web : [http://docnum.univlorraine.fr/public/SCDPHA\\_T\\_2009\\_LAURENTDARGENT\\_ONATHAN](http://docnum.univlorraine.fr/public/SCDPHA_T_2009_LAURENTDARGENT_ONATHAN) .

**ELYAH. A (2003)** "Quel avenir pour la spiruline ?", Desta promotion, [En ligne] [Consulté le 25/07/2021].

Disponible sur le web: [http://elyah-partenariat.iquebec.com/autres/26\\_biblio\\_spiruline.pdf](http://elyah-partenariat.iquebec.com/autres/26_biblio_spiruline.pdf).

**FAO (2020)** Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. [En ligne] [Consulté le 12/07/2021].

Disponible sur le web : <https://www.fao.org/news/archive/newsbydate/2020/fr/>

**FSF (2009)** « Fédération des Spiruliniers de France » [En ligne] [Consulté le 16/04/2021].

Disponible sur le web: <http://www.spiruliniersdefrance.fr/> .

**JOURDAN, J. P (2006)** Cultivez votre spiruline. Edt. Antenna Technologie: 146p. [En ligne] [Consulté le 19/05/2021].

Disponible sur le web: [https://www.antenna.ch/wp-content/uploads/2017/04/Manuel\\_Cultivez\\_votre\\_spiruline\\_REVISION\\_2013.pdf](https://www.antenna.ch/wp-content/uploads/2017/04/Manuel_Cultivez_votre_spiruline_REVISION_2013.pdf).

**WFP (1961)** « Le programme alimentaire mondial ». [En ligne] [Consulté le 24/04/2021].

Disponible sur le web : <https://www.wfp.org/>.

**Dz-météo**, « Le site Algérien de la météo ». [En ligne] [Consulté le 05/10/2021].

Disponible sur le web : <https://www.dzmeteo.com/> .

**MERCERON, M (2006)** « Cyanobactéries ». [En ligne] [Consulté le 13/06/2021].

Disponible sur le web : <http://www.ecosociosystemes.fr/cyanophycees.html>.

**NF V 03-903** La formule du calcul de la matière sèche. [En ligne] [Consulté le 14/07/2021].

Disponible sur le web : <https://www.afnor.org/>

**WHO (1999)** Rapport de l'organisation mondiale de la santé. [En ligne] [Consulté le 25/07/2021]. Disponible sur le web : [https://www.who.int/whr/1999/en/whr99\\_en.pdf](https://www.who.int/whr/1999/en/whr99_en.pdf).

Schéma de la structure d'une cyanobactérie. [En ligne] [Consulté le 10/06/2021].

Disponible sur le web : <http://data.abuledu.org/URI/52152780-schema-de-la-structure-d-une-cyanobacterie>.

# ANNEXES

**Annexe 1 :**

Le matériel utilisé dans l'expérience :

Matériel	Figure
Conductimètre (CONSORT C1020)	 A white rectangular device with a digital display at the top. Below the display, there is a red label that reads "Consort C1020". Underneath the label, there are several buttons: a "MODE" button, a "CAL" button, a power button (represented by a power symbol), and two arrow buttons (up and down). The text "multi-parameter analyzer" is visible at the top of the device.
Microscope optique (OPTIKA microscopes ITALIE ; Gx10, Gx40, Gx100)	 A compound optical microscope with a white base and black eyepieces. The base has the word "OPTIKA" printed on it. The microscope is mounted on a black stage.
pH metre (INOLAB Ph Level1)	 A white rectangular device with a digital display at the top. Below the display, there is a control panel with several buttons: a power button, a "CAL" button, and several other buttons with symbols. The text "inoLab" and "Ph Level 1" are visible at the top of the device. There is some red handwritten text "LB/1" at the bottom of the device.

Pompe air aquarium (RS-100)



Balance de Précision (KERN ABJ-NM/ABS-N)



Etuve (Mettler ; 600)



**Annexes 2 :**

Evolution des paramètres physicochimiques pour les volumes H1 et H2 pendant les 45 jours d'expérience :

Nombre de jour	Date	H1			H2		
		T°	pH	Salinité	T°	pH	Salinité
01	26/05/2021	25,90	9,90	11,00	25,70	9,87	11,05
02	27/05/2021	28,58	9,92	11,10	28,50	9,85	11,06
03	28/05/2021	28,70	9,89	11,23	28,75	9,91	11,06
04	29/05/2021	29,10	9,74	10,90	29,30	9,86	11,07
05	30/05/2021	29,44	9,72	10,77	29,43	9,84	10,82
06	31/05/2021	30,23	9,74	10,83	30,17	9,86	11,26
07	01/06/2021	30,27	9,68	10,73	30,23	9,76	11,04
08	02/06/2021	30,33	9,62	10,75	30,50	9,74	10,70
09	03/06/2021	30,67	9,63	10,78	30,98	9,71	11,00
10	04/06/2021	29,80	9,65	11,21	29,95	9,69	11,40
11	05/06/2021	30,20	9,69	11,09	29,73	9,68	11,22
12	06/06/2021	29,83	9,66	11,15	29,53	9,68	11,79
13	07/06/2021	29,50	9,68	10,98	29,80	9,70	11,76
14	08/06/2021	30,20	9,68	10,57	29,95	9,69	10,94
15	09/06/2021	29,60	9,68	10,93	29,90	9,69	11,39
16	10/06/2021	29,40	9,67	11,11	29,47	9,69	10,94
17	11/06/2021	29,20	9,66	11,02	29,20	9,66	10,61
18	12/06/2021	29,15	9,63	11,03	29,50	9,65	10,63
19	13/06/2021	30,63	9,62	10,82	30,57	9,63	11,65
20	14/06/2021	29,73	9,64	11,14	29,95	9,62	11,45
21	15/06/2021	29,80	9,66	10,89	30,07	9,68	10,84
22	16/06/2021	30,17	9,69	10,75	30,37	9,71	10,77
23	17/06/2021	30,10	9,69	10,65	30,10	9,70	10,70
24	18/06/2021	30,47	9,71	10,86	30,37	9,74	11,34
25	19/06/2021	28,23	9,68	11,06	27,53	9,71	11,44
26	20/06/2021	30,50	9,62	11,84	31,00	9,63	11,69
27	21/06/2021	30,53	9,64	11,71	30,70	9,63	11,79
28	22/06/2021	30,30	9,64	12,06	30,47	9,65	11,84
29	23/06/2021	29,75	9,60	11,87	30,20	9,60	12,44
30	24/06/2021	29,60	9,66	11,77	29,80	9,64	12,64
31	25/06/2021	29,40	9,67	12,05	29,75	9,65	12,73
32	26/06/2021	29,40	9,61	12,17	28,60	9,66	12,98
33	27/06/2021	30,60	9,67	11,72	30,80	9,69	12,04
34	28/06/2021	31,70	9,71	11,36	31,95	9,69	12,27
35	29/06/2021	31,90	9,73	11,38	32,30	9,71	12,33
36	30/06/2021	31,15	9,77	11,57	31,95	9,69	11,53
37	01/07/2021	31,50	9,77	11,60	32,30	9,71	11,45
38	02/07/2021	32,57	9,78	11,60	31,40	9,73	12,23
39	03/07/2021	32,35	9,79	11,41	30,45	9,75	12,64

40	04/07/2021	32,50	9,78	11,46	32,50	9,75	12,31
41	05/07/2021	31,55	9,78	11,91	32,05	9,77	11,51
42	06/07/2021	31,30	9,76	11,59	32,05	9,75	11,65
43	07/07/2021	30,55	9,77	11,89	32,15	9,77	12,22
44	08/07/2021	31,20	9,77	11,96	31,80	9,77	12,45
45	09/07/2021	30,00	9,73	12,55	30,80	9,76	12,42
<b>Moyenne</b>		<b>30,17</b>	<b>9,70</b>	<b>11,31</b>	<b>30,28</b>	<b>9,72</b>	<b>11,58</b>

**Annexe 3 :**

Evolution des paramètres physicochimiques pour les volumes B11 et B12 pendant les 45 jours d'expérience :

Nombre de jour	Date	Nombre de jour			B12		
			pH	Salinité	T°	PH	Salinité
01	26/05/2021	01	10,00	11,03	25,60	10,06	10,98
02	27/05/2021	02	10,08	11,50	28,45	10,11	11,46
03	28/05/2021	03	9,98	11,47	28,75	10,16	11,34
04	29/05/2021	04	10,16	11,35	29,40	10,29	11,22
05	30/05/2021	05	10,20	11,38	29,77	10,17	11,25
06	31/05/2021	06	10,05	11,27	30,32	10,12	11,18
07	01/06/2021	07	10,03	11,18	30,73	10,18	11,40
08	02/06/2021	08	10,04	11,13	30,97	10,19	10,97
09	03/06/2021	09	9,99	11,05	31,03	10,04	10,94
10	04/06/2021	10	9,93	11,38	29,40	9,98	11,22
11	05/06/2021	11	9,97	11,29	29,47	10,00	11,26
12	06/06/2021	12	9,97	11,25	29,93	9,99	11,16
13	07/06/2021	13	10,02	11,00	30,45	10,03	11,16
14	08/06/2021	14	10,08	11,34	31,10	10,03	11,07
15	09/06/2021	15	10,13	11,20	31,20	10,13	10,94
16	10/06/2021	16	10,17	11,19	30,93	10,16	10,90
17	11/06/2021	17	10,19	11,29	29,75	10,20	11,19
18	12/06/2021	18	10,20	11,26	29,80	10,21	11,15
19	13/06/2021	19	10,14	11,35	31,00	10,18	11,14
20	14/06/2021	20	9,80	10,97	28,47	9,81	10,87
21	15/06/2021	21	9,66	10,39	28,53	9,66	10,35
22	16/06/2021	22	9,67	10,53	28,77	9,67	10,54
23	17/06/2021	23	9,65	10,57	28,67	9,66	10,58
24	18/06/2021	24	9,68	10,68	29,03	9,66	10,70
25	19/06/2021	25	9,67	10,70	27,97	9,66	10,88
26	20/06/2021	26	9,68	11,10	28,50	9,67	11,14
27	21/06/2021	27	9,68	11,26	28,33	9,70	11,28
28	22/06/2021	28	9,72	11,38	27,70	9,74	11,51
29	23/06/2021	29	9,67	11,44	27,05	9,69	11,78
30	24/06/2021	30	9,70	11,77	27,23	9,71	12,04

31	25/06/2021	31	9,70	11,99	27,40	9,72	12,12
32	26/06/2021	32	9,67	11,95	27,40	9,71	12,22
33	27/06/2021	33	9,70	12,05	27,53	9,74	12,32
34	28/06/2021	34	9,69	11,94	30,45	9,74	11,44
35	29/06/2021	35	9,70	11,93	30,50	9,73	11,26
36	30/06/2021	36	9,69	11,97	30,25	9,73	11,96
37	01/07/2021	37	9,71	12,21	29,75	9,74	12,56
38	02/07/2021	38	9,72	12,08	30,95	9,76	11,76
39	03/07/2021	39	9,73	11,80	31,40	9,76	12,46
40	04/07/2021	40	9,72	12,37	30,80	9,76	12,52
41	05/07/2021	41	9,72	12,55	30,75	9,76	13,18
42	06/07/2021	42	9,72	12,73	31,05	9,76	12,40
43	07/07/2021	43	9,75	12,40	30,95	9,77	12,11
44	08/07/2021	44	9,75	12,32	31,35	9,77	12,13
45	09/07/2021	45	9,76	12,58	30,65	9,76	12,42
<b>Moyenne</b>		29,40	9.86	11,50	29,54	9,89	11,48

**Annexe 4 :**

Evolution des paramètres physicochimiques pour les volumes B21 et B22 pendant les 45 jours d'expérience :

Nombre de jour	Date	B21			B22		
		T°	pH	Salinité	T°	pH	Salinité
01	26/05/2021	25,40	10,06	11,09	25,20	10,10	10,39
02	27/05/2021	28,30	10,15	11,61	28,48	10,25	10,87
03	28/05/2021	28,60	10,11	11,40	28,55	10,35	10,76
04	29/05/2021	29,50	10,17	11,60	29,00	10,27	11,06
05	30/05/2021	29,73	10,16	11,37	29,20	10,30	11,66
06	31/05/2021	30,30	10,17	11,30	30,30	10,07	11,35
07	01/06/2021	30,73	10,15	11,08	30,27	9,76	11,40
08	02/06/2021	30,80	10,08	10,96	30,50	9,79	11,30
09	03/06/2021	30,88	9,85	10,95	31,00	9,78	11,22
10	04/06/2021	29,25	9,85	11,30	29,60	9,81	11,64
11	05/06/2021	29,37	9,87	11,36	29,57	9,84	11,65
12	06/06/2021	30,00	9,88	11,12	29,90	9,85	11,45
13	07/06/2021	30,30	9,93	11,11	29,70	9,90	11,48
14	08/06/2021	31,15	10,03	10,90	30,10	9,92	11,14
15	09/06/2021	30,95	10,03	10,88	30,10	9,95	11,37
16	10/06/2021	30,83	10,05	10,89	29,97	9,96	11,38
17	11/06/2021	29,75	10,08	11,19	29,15	9,98	11,69
18	12/06/2021	30,05	10,08	11,12	29,10	9,97	11,64
19	13/06/2021	30,93	10,05	11,10	30,60	9,93	11,52
20	14/06/2021	28,50	9,80	10,78	28,50	9,74	11,39
21	15/06/2021	28,57	9,66	10,35	28,97	9,63	10,36

22	16/06/2021	29,00	9,67	10,53	29,57	9,66	10,41
23	17/06/2021	28,53	9,68	10,65	28,97	9,67	10,78
24	18/06/2021	29,20	9,71	10,74	29,40	9,69	10,50
25	19/06/2021	27,80	9,70	11,12	28,70	9,70	11,38
26	20/06/2021	28,77	9,72	11,22	29,93	9,72	11,44
27	21/06/2021	28,47	9,74	11,47	28,90	9,76	12,05
28	22/06/2021	27,83	9,79	11,87	28,80	9,73	12,17
29	23/06/2021	27,60	9,75	11,95	28,40	9,75	12,42
30	24/06/2021	27,27	9,78	12,30	28,67	9,75	12,69
31	25/06/2021	27,30	9,79	12,27	28,50	9,72	12,40
32	26/06/2021	27,25	9,77	12,50	29,43	9,73	12,06
33	27/06/2021	28,00	9,78	12,38	30,80	9,73	11,89
34	28/06/2021	30,10	9,75	12,46	31,20	9,75	12,67
35	29/06/2021	30,35	9,79	11,96	30,65	9,74	12,68
36	30/06/2021	30,25	9,78	12,25	30,15	9,74	12,44
37	01/07/2021	31,20	9,67	12,06	31,55	9,73	12,54
38	02/07/2021	30,37	9,60	12,43	31,60	9,74	12,85
39	03/07/2021	29,80	9,72	12,28	30,35	9,62	11,92
40	04/07/2021	29,45	9,59	12,05	29,75	9,56	12,68
41	05/07/2021	29,95	9,56	11,88	30,30	9,55	12,63
42	06/07/2021	30,70	9,57	11,85	30,65	9,52	12,61
43	07/07/2021	30,10	9,56	11,65	30,55	9,52	12,61
44	08/07/2021	30,10	9,56	11,85	30,15	9,51	12,64
45	09/07/2021	29,90	9,56	11,95	30,60	9,53	12,65
<b>Moyenne</b>		29,40	9,84	11,49	29,67	9,80	11,73

**Annexes 5 :**

La température atmosphérique maximale journalière prise pour les 45 jours de l'expérience comptées dès la fin de Mai jusqu'au début de Juillet :

Nombre de jour	Date	T° atmosphérique max
01	26/05/2021	25
02	27/05/2021	24
03	28/05/2021	32
04	29/05/2021	29
05	30/05/2021	27
06	31/05/2021	25
07	01/06/2021	26
08	02/06/2021	24
09	03/06/2021	22
10	04/06/2021	25
11	05/06/2021	25
12	06/06/2021	26



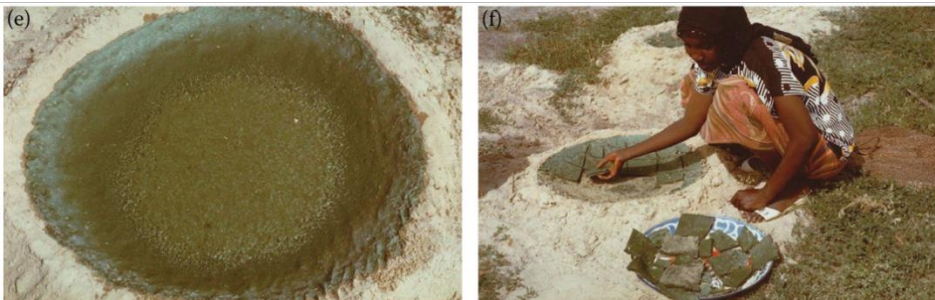

---

13	07/06/2021	32
14	08/06/2021	34
15	09/06/2021	28
16	10/06/2021	28
17	11/06/2021	25
18	12/06/2021	26
19	13/06/2021	26
20	14/06/2021	28
21	15/06/2021	33
22	16/06/2021	32
23	17/06/2021	32
24	18/06/2021	33
25	19/06/2021	30
26	20/06/2021	29
27	21/06/2021	32
28	22/06/2021	36
29	23/06/2021	31
30	24/06/2021	33
31	25/06/2021	29
32	26/06/2021	29
33	27/06/2021	28
34	28/06/2021	30
35	29/06/2021	28
36	30/06/2021	28
37	01/07/2021	28
38	02/07/2021	28
39	03/07/2021	27
40	04/07/2021	29
41	05/07/2021	31
42	06/07/2021	30
43	07/07/2021	29
44	08/07/2021	32
45	09/07/2021	29

---

**Annexe 6 :**




Les étapes de la culture artisanale au Tchad.

Figure	Etape de culture
	Récolte
	Préparation de moule – macrofiltration
	Séchage - récupération
	Lac de Tchad

**Culture artisanale au Tchad**

**Annexe 7:**

Figures de la formation effectuée à Tamanrasset.

Figure	Explication
	Le centre de formation Bordj4x4
	Le quartier ou le centre situé est surnommé Adriane, La montagne d'Adriane.
	Les bassins de culture.

**Annexe 8:**

Attestation de stage.

**République Algérienne Démocratique et Populaire****Association Sahara Spirulina****BP167 Tamanrasset 11000**

Agrément n°019/2005

Tél : 0021329311403, 00213661649070

N°36 2021

**Attestation de formation en algoculture spiruline**

Je soussigné HIRI AbdelKader, Docteur d'Université en sciences de la Terre, de l'ordre des experts conseils internationaux, orientés pacte mondial et développement durable, spécialiste de la production de la spiruline artisanale, Président de l'Association Sahara Spirulina, pour la promotion et le développement durable de l'algoculture spiruline en Algérie, atteste que Madame BOUAZIZ NOUR EL HOUDA née le 20/5/1997 à Alger, a suivi avec assiduité la formation d'algoculture spiruline, en pratique du 11 au 15 septembre 2021 dans notre station de production spiruline de Tamanrasset.

Cette formation concerne les techniques de la production de spiruline de la préparation du milieu de culture à la récolte et séchage.

Cette attestation lui est délivrée pour servir et valoir ce que de droit.

Tamanrasset le 15 septembre 2021

Le Président de l'Association,  
Dr. HIRI AbdelKader.

Dr. Abdelkader HIRI

Expert Conseil International

Orienté Pacte Mondial et Développement Durable

De l'Ordre des Experts Internationaux de Genève



A handwritten signature in black ink, appearing to be "A. HIRI", written over the text of the expert's title.

## Résumé

La malnutrition est due à la consommation prolongée d'une nourriture ne fournissant pas l'ensemble des éléments nécessaires à la santé, elle entraîne chez l'être humain de nombreuses conséquences néfastes. Une source a opté de fournir un concentré de nutriments c'est la spiruline (*Arthrospira platensis*). La spiruline a fait ses preuves dans la réhabilitation nutritionnelle dans les pays où sévit la malnutrition car elle est très riche en protéines, des acides aminés essentiels, des acides gras essentiels, des vitamines et des minéraux. Dans ce contexte, l'objectif de notre étude était d'effectuer une culture à petite échelle de la spiruline, de maîtriser la production dans la ferme expérimentale de l'ENSSMAL à Alger. Ainsi d'optimiser les principales conditions opérationnelles et les paramètres physicochimique de cette culture. La culture de la spiruline était réalisée dans des bonnes conditions de nourriture, éclairage, agitation, ombrage et le suivi de température, pH, salinité, les observations sous microscope et de l'aspect de la culture, les étapes de cette production sont la préparation de milieu de culture, l'ensemencement pour augmenter le volume, l'agitation, la récolte, le séchage et le conditionnement. Le processus de production a réussi avec un taux de productivité de 0,8g/j. Le meilleur séchage effectué de la biomasse à l'étuve avec un taux d'humidité de 11% par rapport au séchage traditionnel qui est de 13%. La formation sur la culture artisanale de la spiruline a été réalisée par M. Hiri au niveau de sa ferme située à Tamanrasset aide de comparer entre les deux cultures et leurs différentes conditions régionale et météorologique de Tamanrasset et celui d'Alger. La production de spiruline est facile à maîtriser dans la région d'Alger, il nous reste juste d'accroître la production de spiruline dans notre pays.

**Les mots clés : Spiruline, Production de spiruline, Culture algale, Sécurité alimentaire, Condition de culture, Malnutrition, *Arthrospira platensis*.**



## Abstract

Malnutrition is due to the prolonged consumption of a food that does not provide all the elements necessary for health, it leads to many adverse consequences for humans. One source has chosen to provide a concentrate of nutrients is spirulina (*Arthrospira platensis*). Spirulina has proven itself in nutritional rehabilitation in countries where malnutrition is rampant because it is very rich in protein, essential amino acids, essential fatty acids, vitamins and minerals. In this context, the objective of our study was to carry out a small-scale cultivation of spirulina, to control the production in the experimental farm of ENSSMAL in Algiers. Thus to optimize the main operational conditions and the physicochemical parameters of this culture. The culture of spirulina was carried out under good conditions of food, lighting, agitation, shading and monitoring of temperature, pH, salinity, observations under the microscope and the appearance of the culture, the steps of this production are the preparation of culture medium, seeding to increase the volume, agitation, harvesting, drying and packaging. The production process was successful with a productivity rate of 0.8g/d. The best drying done of the biomass in the oven with a moisture content of 11% compared to the traditional drying which is 13%. The training on the artisanal culture of spirulina was carried out by Mr. Hiri at his farm located in Tamanrasset helps to compare the two cultures and their different regional and meteorological conditions of Tamanrasset and Algiers. The production of spirulina is easy to master in the region of Algiers, we just have to increase the production of spirulina in our country.

**Keywords: Spirulina, Spirulina production, Algal culture, Food security, Cultivation condition, Malnutrition, *Arthrospira platensis*.**

## المخلص

يرجع سوء التغذية إلى الاستهلاك المطول للغذاء الذي لا يوفر جميع العناصر الضرورية للصحة، وله العديد من العواقب الضارة على الإنسان. اختير أحد المصادر توفيراً لمركز من العناصر الغذائية ألا وهي سبيرولينا (*Arthrospira platensis*) (أثبتت السبيرولينا نفسها في إعادة التأهيل الغذائي في البلدان التي ينتشر فيها سوء التغذية لأنها غنية جداً بالبروتينات والأحماض الأمينية الأساسية والأحماض الدهنية الأساسية والفيتامينات والمعادن. وفي هذا السياق كان الهدف من دراستنا هو إجراء استزراع السبيرولينا على نطاق صغير للتحكم في الإنتاج في المزرعة التجريبية في ENSSMAL في الجزائر العاصمة وكذلك لتحسين ظروف العمل الرئيسية والعوامل الكيموفيزيائية لهذا الاستزراع. تم إجراء استزراع سبيرولينا في ظل ظروف جيدة من الغذاء والإضاءة والتحرك والتظليل ومراقبة درجة الحرارة ودرجة الحموضة والملوحة والملاحظة تحت المجهر ومظهر الاستزراع، ومراحل هذا الإنتاج هي تحضير وسط الاستزراع، التمديد لزيادة الحجم والتحرك والحصاد والتجفيف والتوضيب. كانت عملية الإنتاج ناجحة بمعدل إنتاجية 0.8 جرام / يوم. أفضل طريقة تجفيف للكتلة الحيوية في فرن بمستوى رطوبة 11% مقارنة بالتجفيف التقليدي و هو 13%. تم تنفيذ التربص على الإسترزاع الحرفي للسبيرولينا من قبل السيد هيري في مزرعته الواقعة في تمنراست للقيام بالمقارنة بين الاستزراعين وظرفهما الإقليمية والجوية المختلفة في تمنراست وظروف الجزائر. من السهل إتقان إنتاج السبيرولينا في منطقة الجزائر العاصمة، علينا فقط زيادة إنتاج السبيرولينا في بلدنا.

**الكلمات المفتاحية: سبيرولينا، إنتاج سبيرولينا، إستزراع الطحالب، الأمن الغذائي، ظروف الاستزراع، سوء التغذية، *Arthrospira platensis***