

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
جامعة عمار تليجي بالاغواط  
UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT  
كلية العلوم  
FACULTE DES SCIENCES  
قسم العلوم الفلاحية  
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIE



## Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

**DOMAINE :** Sciences de la Nature et de la Vie

**FILIERE :** Sciences Agronomiques

**Option :** Agroalimentaire et Contrôle de Qualité

## THEME

**Maîtrise et optimisation des conditions de culture in-vitro  
d'une microalgue du genre (Arthrospira platensis)**

Présenté par :

❖ Nouai reguia

### Devant le jury :

Président : Mr. Benhassine Mohamed el-amine

Encadreur : Mr. Oubraham farid

Co-Promoteur : Mr. Chaibi rachid

Examineur : Mr. Hamidaamine

Maitre Assistante A

Docteur

Professeur

Docteur

Année universitaire 2023/2024

## ***Remerciements***

*Avant tout, nous tenons à remercier ALLAH Pour me donner force et courage et me permettre de terminer ce travail dans de meilleures conditions*

*À l'issue de ce travail, je tiens à remercier tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin, directement ou indirectement.*

*Je remercie :*

*Mon encadreur Monsieur Farid Oubrahame Pour avoir guidé avec ses précieux conseils*

*Je remercie Monsieur Rachid Chaïbi Qui m'a accompagné tout au long du travail au laboratoire.*

*Je tiens également à remercier Mr. Hamida Amine d'avoir accepté d'examiner mon travail.*

*Je tiens à remercier Mr. Benhassine Mohamed Lamine de l'avoir accepté de présider le jury.*

*Je remercie sincèrement tous les enseignants du département d'Agronomie*

*Du fond du cœur, je remercie ma famille qui m'a encouragé et soutenu*

## ***Dédicace***

*Je dédie ce mémoire à mes chers parents **chaib** et **karima** qui ont été Toujours à mes côtés et m'ont toujours soutenu tout au long de ces longues années d'études. En signe de reconnaissance, qu'ils trouvent ici, l'expression de ma profonde gratitude pour tout ce qu'ils ont consenti d'efforts et de moyens pour me voir réussir dans mes études.*

*Et :À mes frères **Abderrahmane, Miloud, Mostafa***

*À mes sœurs **Meriem, Khadidja***

*À toute ma famille et mes amis de ma promotion.*

*A tous mes professeurs du département science agronomique.*

***Reguia***

## Résumé

*Arthrospiraplatensis*, Il s'agit d'une algue bleu-vert filamenteuse qui pousse dans les lacs alcalins et salés du monde entier. À la lumière de nos travaux, nous avons tenté de cultiver ces algues dans un climat autre que leur climat préféré pendant une période de deux semaines tout en suivant leur développement. Nous avons utilisé de l'eau minérale dans nos travaux.

On obtient une masse sèche pesant 4,64 grammes contenant 43% de protéines.

Enfin, nous concluons que la spiruline a la capacité de pousser dans un climat autre que le sien si l'on lui apporte un environnement agricole approprié et qu'on y ajoute d'autres éléments chimiques qui assurent sa croissance.

Mots clés: *Arthrospira platensis*, spiruline, milieu de culture, paramètre-physicochimique

---

## Summary

*Arthrospira platensis*, This is a filamentous blue-green algae that grows in alkaline and salty lakes around the world. In light of our work, we attempted to cultivate these algae in a climate other than their preferred climate for a period of two weeks while monitoring their development. We used mineral water in our work.

A dry mass weighing 4.64 grams containing 43% protein is obtained.

Finally, we conclude that spirulina has the ability to grow in a climate other than its own if it is provided with an appropriate agricultural environment and other chemical elements that ensure its growth are added.

Keywords: *Arthrospira platensis*, spirulina, culture medium, physicochemical parameter

---

## المخلص

ارثروسييرا بلاتنسيس ، وهي طحالب خيطية زرقاء وخضراء تنمو في البحيرات القلوية والمالحة حول العالم. وفي ضوء عملنا، حاولنا زراعة هذه الطحالب في مناخ غير مناخها المفضل لمدة أسبوعين مع مراقبة تطورها. استخدمنا المياه المعدنية في عملنا هذا.

تحصلنا على كتلة جافة وزنها 4.64 جرام تحتوي على 43% بروتين.

وأخيرا نستنتج أن السبيروлина لديها القدرة على النمو في مناخ غير مناخها إذا وفرنا لها البيئة الزراعية المناسبة وأضفنا إليها عناصر كيميائية أخرى تضمن نموها.

الكلمات المفتاحية: أرثروسييرا بلاتنسيس، سبيروлина، وسط الثقافة، المعلمات الفيزيائية والكيميائية

# Sommaire

---

## Sommaire

## Remerciements

## Dédicaces

## Liste des figures

## Liste des tableaux

## Liste des abréviations

## Introduction générale.....1

### Chapitre I : Synthèse bibliographique

#### 1. Généralités sur la spiruline.....4

##### 1.1 Définition.....4

##### 1.2. Histoire.....4

##### 1.3 Distribution géographique.....5

##### 1.4 Morphologie.....7

##### 1.5 Taxonomie.....7

##### 1.6. Cycle de vie.....8

##### 1.7. Toxicologie de la spiruline .....9

#### 2. Composition nutritionnelle de la spiruline.....10

##### 2.1. Les protéines.....10

##### 2.2 Les Lipides.....11

##### 2.3 les Glucides.....11

##### 2.4 les Vitamines.....11

##### 2.5 Les minéraux et les oligo-éléments.....12

##### 2.6 Les pigments.....12

# Sommaire

---

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| 3. Les facteurs influençant la croissance de la spiruline..... | 13 |
| 3.1 Le ph.....                                                 | 13 |
| 3.2 La température.....                                        | 13 |
| 3.3 La lumière.....                                            | 13 |
| 3.4 La salinité.....                                           | 14 |
| 3.5 L'agitation.....                                           | 14 |
| 4. Utilisation et de la spiruline.....                         | 14 |
| 4.1 Contre mal nutrition.....                                  | 14 |
| 4.2 En Cosmétique.....                                         | 15 |
| 4.3 En Médecine.....                                           | 15 |
| 5. La culture de la spiruline.....                             | 15 |
| 5.1 Milieu de culture.....                                     | 15 |
| 5.2 Bassins de culture.....                                    | 15 |
| 6. Les différents modes de production de spiruline.....        | 16 |
| 6.1 Production artisanale.....                                 | 16 |
| 6.2 Production industrielle.....                               | 16 |
| 6.3 Production semi- industrielle.....                         | 16 |

## Chapitre II : Matériels et Méthodes

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Matériels Biologique.....                                           | 20 |
| 1.1 L'origine de la souche.....                                        | 20 |
| 1.2 Station expérimentale.....                                         | 20 |
| 2. Méthodologie de l'étude.....                                        | 21 |
| 3. La qualité de l'eau utilisée.....                                   | 21 |
| 4.Préparation du dispositif expérimentale et de milieu de culture..... | 22 |

## Sommaire

---

|                                          |    |
|------------------------------------------|----|
| 4.1 Matériels utilisés.....              | 22 |
| 4.2 Milieu de la culture.....            | 23 |
| 4.3 Mode opératoire.....                 | 23 |
| 4.4 Mise en culture de la spiruline..... | 24 |
| 5. Dosage de protéine.....               | 24 |
| 5.1 Principe de la méthode.....          | 24 |
| 5.2 Mode opératoire.....                 | 24 |
| 5.2.1 Minéralisation.....                | 24 |
| 5.2.2 Distillation.....                  | 25 |
| 5.2.3 Titration.....                     | 25 |

## Chapitre III : Résultats et Discussions

|                                                                       |           |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. Processus de culture de la spiruline.....                          | 27        |
| 1.1 Principales étapes de l'évolution de la culture de spiruline..... | 27        |
| 1.2 Observation microscopique.....                                    | 28        |
| 1.3 Processus de La récolte.....                                      | 30        |
| 2. Évolution des paramètres physico-chimique.....                     | 31        |
| 2.1 PH.....                                                           | 32        |
| 2.2 Température.....                                                  | 33        |
| 2.3 Oxygène dissous O <sub>2</sub> .....                              | 34        |
| 2.4 Salinité.....                                                     | 34        |
| 3. Résultats de l'analyse biochimique.....                            | 35        |
| <b>Conclusion générale.....</b>                                       | <b>38</b> |

## Références Bibliographiques

# Liste des figures

---

## Liste des figures

**Figure 01 :** *Arthrospira platensis* : filament vu au microscope

**Figure 02 :** Zone de croissance naturelle de la Spiruline dans le monde

**Figure 03 :** Morphologies typiques de la spiruline

**Figure 04 :** Cycle biologique de la spiruline

**Figure 05 :** Production artisanale

**Figure 06 :** Production industrielle

**Figure 07:** Production semi-industrielle

**Figure 08 :** Présentation de la zone d'étude

**Figure 09 :** Organigramme de différentes étapes de production de la spiruline

**Figure 10 :** Observation microscopique de la spiruline

**Figure 11:** Évolution du pH de milieu de culture de Spiruline.

**Figure 12 :** Évolution de la température du milieu de culture de la Spiruline

**Figure 13 :** Évolution de O<sub>2</sub> de milieu de culture de la spiruline

**Figure 14 :** Évolution de la salinité de milieu de culture de la spiruline

**Figure 15 :** Taux de protéine de notre spiruline en comparaison avec les autres aliments

# Liste des tableaux

---

## Liste des tableaux

**Tableau 01 :** Tableau de la distribution géographique naturelle de *Spirulina platensis*

**Tableau 02 :** Positions systématique de la spiruline

**Tableau 03:** Taux d'acides aminés essentiels dans 10 grammes de Spiruline

**Tableau 04 :** Teneur en vitamines dans la poudre de spiruline

**Tableau 05:** La teneur en minéraux et oligo-éléments de la Spiruline

**Tableau 06 :** Teneur en Pigments dans la poudre de spiruline

**Tableau 07 :** Les compositions chimiques d'un milieu de culture du Jourdan 2006

**Tableau 08 :** composition physico-chimique et minérale de l'eau utilisé

**Tableau 09 :** Planche de principal équipement utilisé dans les différentes étapes de production de la spiruline.

**Tableau.10 :** composition chimique du milieu de culture de la spiruline

**Tableau 11 :** Évolution des paramètres physico-chimiques de culture de spiruline

# Liste d'abréviation

---

## Liste des abréviations

**Ph:** Potentiel hydrogène

**NO<sub>2</sub> :** Nitrite

**Mg :** Magnésium

**HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> :** Bicarbonate

**Na Cl :** Chlorures de sodium

**K :** potassium

**F :** Fer

**Na:** Sodium

**NO<sub>3</sub>:** Nitrate

**SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>:** Ion sulfate

**CE:** Conductivité électrique

**O<sub>2</sub> :**Oxygène dissous

**% :**Prévalence exprimée par pourcentage

**°C :**Degré Celsius

***Introduction***

***Générale***

# Introduction générale

---

## Introduction générale

Apparues il y a environ 3,5 milliards d'années pendant le Précambrien, les cyanobactéries représentent parmi les organismes les plus anciennement connus sur Terre, aux côtés des bactéries. Avec une diversité remarquable, elles sont réparties en au moins 2000 espèces et plus de 150 genres. Ces micro-organismes occupent une place majeure dans la sous-classe bactérienne, tant par leur diversité morphologique et physiologique que par leur rôle primordial dans la création de l'atmosphère aérobie, indispensable au développement de la vie **(Sguera, 2008)**.

Les cyanobactéries, procaryotes photosynthétiques, sont ubiquitaires dans la plupart des environnements éclairés, bien qu'absentes de certains. Elles représentent également une composante quantitative significative de la biomasse terrestre **(Whitton, 2012)**.

Présentes dans divers écosystèmes, les cyanobactéries possèdent des cellules spécialisées telles que les hétérocystes, impliqués dans la fixation de l'azote atmosphérique, et les akinètes, analogues à des spores. De plus, elles partagent certaines caractéristiques avec les organismes photosynthétiques eucaryotes, communément appelés "microalgues" **(Bernard, 2014)**.

Le terme "microalgues" englobe à la fois les algues microscopiques et les cyanobactéries, communément désignées sous le nom « algues bleu-vert ». Ces dernières sont des bactéries photosynthétiques procaryotes, tandis que les microalgues proprement dites sont des organismes photosynthétiques eucaryotes unicellulaires ou pluricellulaires indifférenciés **(Sirois, 2013)**.

Les "algues bleu-vert" font référence à plusieurs espèces de bactéries produisant des pigments de couleur bleu-vert, se développant dans l'eau salée et certains grands lacs d'eau douce. Elles sont utilisées dans l'alimentation depuis plusieurs siècles au Mexique et dans

# Introduction générale

---

certaines pays africains, et sont commercialisées comme compléments alimentaires aux États-Unis depuis la fin des années 1970 (**Simon, 2024**).

Parmi les ressources alimentaires non conventionnelles, une algue bleue peut contenir jusqu'à 70 % de protéines, ainsi que des sels minéraux, des oligoéléments et de nombreuses vitamines. Cette algue est la spiruline (**Sall et al., 1999**).

La spiruline est reconnue comme une source alimentaire de haute qualité nutritionnelle, riche en vitamines (provitamines A,  $\beta$ -carotène, vitamine B1) et en acides gras insaturés tels que l'acide linoléique et linolénique. De nombreux travaux ont également souligné son potentiel thérapeutique important, notamment dans le traitement du cancer, de certaines infections d'origine microbienne, de la malnutrition protéino-énergétique et pour le renforcement du système immunitaire (**Bellahcen et al., 2013**).

La présente étude poursuit principalement deux objectifs à savoir :

1. Étudier la croissance et la production de spiruline, ainsi que mesurer les paramètres physico-chimiques (pH, conductivité électrique, oxygène dissous, salinité, température).
2. Tester la culture de la spiruline en laboratoire dans un climat différent de son habitat naturel.

**Chapitre I :**  
**Synthèse bibliographique**

## **1. Généralités sur la spiruline**

### **1.1 Définition**

La spiruline est une cyanobactérie microscopique et filamenteuse (**Kulshreshtha et al., 2008**). D'une couleur bleu-vert, elle est riche en protéines, acides aminés essentiels, acides gras essentiels, minéraux et vitamines (**fathi et al., 2018**). Elle constitue la biomasse séchée de la cyanobactérie *Arthrospira platensis*, elle a été largement utilisée dans plusieurs pays, (**sharoba, 2014**)

Le genre *Spiruline platensis* ou *Arthrospira*, plus connu sous le nom d'algue Spiruline. Est une cyanobactérie de la classe des Cyanophyceae et de la famille des Oscillatoriaceae (**Barry, 2014**)



**Figure 01 :Arthrospira platensis : filament vu au microscope(site web 1)**

### **1.2. Histoire**

*Spirulina platensis* est une cyanobactérie qui est apparue sur Terre il y a environ 3,5 milliards d'années. La spiruline semblait déjà consommée il y a fort longtemps par les Aztèques (**Laurent, 2019**)

Les premières études au Tchad consacrées à cette microalgue remontent à 1940, où l'algologiste Dangeard décrivait dans une communication l'existence d'un produit appelé dihé (spiruline séchée traditionnellement) au Lac Tchad (**kararet al., 2016**)

Dengard a également rappelé que ces algues étaient abondantes autour des lacs de la vallée du Rift en Afrique de l'Est et que leur principale nourriture était celle des flamants roses (Matufi et Choopani, 2020)

Les Kanembus vivant autour du lac Tchad récoltent des algues qu'ils font sécher pour en faire des galettes appelées dihé. Ces algues sont mélangées à une sauce à base de tomates et de poivrons, puis servies avec des haricots, du poisson ou de la viande. Les Kanembus dépendent fortement du dihé, en consommant environ 70 % de leurs repas (Habib et al., 2008)

### 1.3 Distribution géographique

Des espèces du genre *Arthrospira* ont été isolées des eaux alcalines saumâtres et salées des régions tropicales et subtropicales. Parmi les diverses espèces incluses dans le genre *Arthrospira* A p, (Gershwin et Belay, 2007) La spiruline est présente en Afrique, en Asie et en Amérique du Sud. La culture de la spiruline à grande échelle a commencé il y a 30 ans au Mexique et en Chine, puis dans d'autres parties du monde, en raison des conditions favorables à sa culture (Nicoletti, 2016)

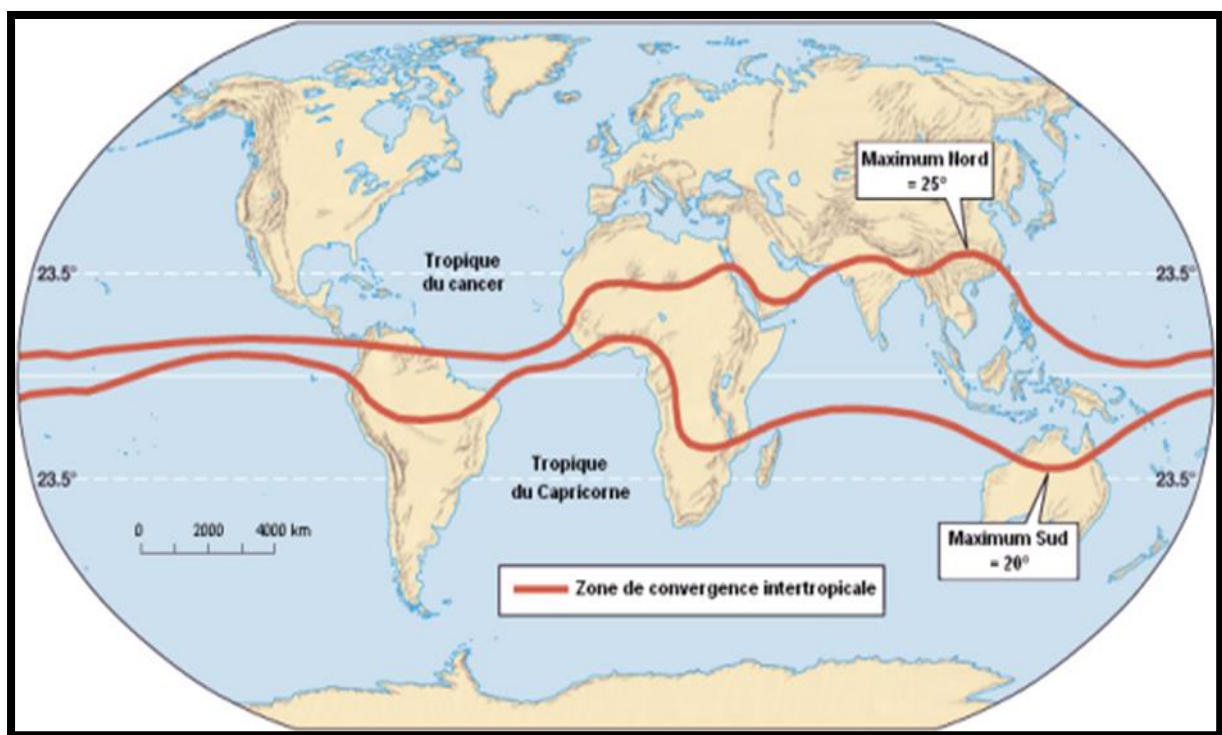


Figure 02 : Zone de croissance naturelle de la Spiruline dans le monde (site web 2)

**Tableau 01** : Tableau de la distribution géographique naturelle de *Spirulinaplatis*

| AFRIQUE                                                                                                                                               |                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Algérie                                                                                                                                               | Tamanrasset                                       |
| Tchad                                                                                                                                                 | Région du Kanem : lacs Latir, Ouna, Borkou,       |
| Soudan                                                                                                                                                | Katam, Yoan, Leyla, Bodou, Rombou, Moro,          |
| Djibouti                                                                                                                                              | Mombolo, Liwa, Iseirom, Ouniangakebir             |
| Ethiopie                                                                                                                                              | Cratère de Djebel Marra                           |
| Congo                                                                                                                                                 | Lac Abber                                         |
| Kenya                                                                                                                                                 | Lacs Aranguadi, Lesougouta, Nakourou, Chiltu,     |
| Tanzanie                                                                                                                                              | Navasha, Rodolphe                                 |
| Tunisie                                                                                                                                               | Mougounga                                         |
| Zambie                                                                                                                                                | Lacs Nakuru, Elmenteita, Cratère, Natron          |
| Madagascar                                                                                                                                            | Lac Natron                                        |
|                                                                                                                                                       | Lac Tunis ; Chott el Jerid                        |
|                                                                                                                                                       | Lac Bangweoulou                                   |
|                                                                                                                                                       | Beaucoup de petits lacs près de Toliara           |
| ASIE                                                                                                                                                  |                                                   |
| Inde                                                                                                                                                  | Lacs Lonar et Nagpur                              |
| Myanmar                                                                                                                                               | Lacs TwynTaung, Twyn Ma et TaungPyank             |
| Sri Lanka                                                                                                                                             | Lac Beira                                         |
| Pakistan                                                                                                                                              | Mares près de Lahore                              |
| Thaïlande                                                                                                                                             | Lacs d'effluents d'une usine de tapioca, province |
| Azerbaïdjan                                                                                                                                           | De Radburi, 80 km au S.O. de Bangkok              |
|                                                                                                                                                       | Non précisé                                       |
| AMERIQUE DU SUD                                                                                                                                       |                                                   |
| Pérou                                                                                                                                                 | Réservoir d'eau près de Paracas                   |
| Mexique                                                                                                                                               | Près de l'île d'Amantani dans le lac Titicaca     |
| Uruguay                                                                                                                                               | Lac Texcoco ; lac Cratère                         |
| Equateur                                                                                                                                              | Montevideo                                        |
|                                                                                                                                                       | Lac Quilotoa : cratère de 1km de diamètre         |
| AMERIQUE DU NORD                                                                                                                                      |                                                   |
| Californie                                                                                                                                            | Oakland; Del Mar Beach                            |
| Haïti                                                                                                                                                 | LacGonâve                                         |
| République Dominicaine                                                                                                                                | Lac Enriquillo                                    |
| EUROPE                                                                                                                                                |                                                   |
| Hongrie                                                                                                                                               | Non précisé                                       |
| France                                                                                                                                                | Camargue                                          |
| AUTRES SITES POSSIBLES                                                                                                                                |                                                   |
| Partout où vivent le flamant nain, <i>Phoenicoparus minor</i> (Afrique et Asie) et le flamant de James, <i>Phoenicoparus jamesi</i> (Amérique du sud) |                                                   |
| Ethiopie                                                                                                                                              | Lac Abiata                                        |
| Kenya                                                                                                                                                 | Lac Rodolphe; lac Hannington                      |
| Tanzanie                                                                                                                                              | Lac Manyara; lac Rukua                            |
| Zambie                                                                                                                                                | Lac Mweru                                         |
| Botswana                                                                                                                                              | Makgadigka Salt Pans                              |
| Namibie                                                                                                                                               | Etosha Salt Pan                                   |
| Afrique du Sud                                                                                                                                        | Etat libre d'Orange, près de Vaaldam              |
| Bolivie                                                                                                                                               | Lacs Colorado, Poopo, Chalviri, Salar de Uyuni    |
| Chili                                                                                                                                                 | AguasCalientes, Lagunas Brava, lac Vilama, Salar  |
| Mauritanie                                                                                                                                            | De Surire                                         |
| Inde                                                                                                                                                  | Côte sud                                          |
| Madagascar                                                                                                                                            | Rann of Kutch ; Gujarat                           |
|                                                                                                                                                       | Côte Ouest                                        |

Source : Sguera (2008)

## 1.4 Morphologie

La spiruline (Cyanobactérie *Athropsira platensis*) est une algue microscopique, planctonique unicellulaire, d'aspect spiralée de 0,3 à 1 mm de long, cultivée originellement dans les lacs du Tchad (**Branger et al., 2003**)

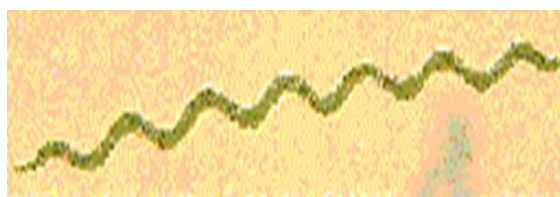
Morphologiquement, les cellules sont disposées en filament appelée trichome. Ce trichome multicellulaire et cylindrique ayant une forme hélicoïde et ne présente pas de ramification. La forme hélicoïde est caractéristique du genre et la dimension des spires et la longueur caractérisent l'espèce (**Ramiandrisoa, 2023**)



Forme spiralée (type « Toliara »)



Forme spiralée (type « Lonar »)



Forme ondulée (type « Paracas »)



Forme droite (type « M2 »)

**Figure 0 3 : Morphologies typiques de la spiruline (Vicente, (2008))**

## 1.5 Taxonomie

La Spiruline est une cyanobactérie (anciennement désignée par le terme « algue bleue » puis cyanophycée). Elle appartient donc au domaine des bactéries (Bacteria) et se classe Parmi les bactéries gram négatives. Les cyanobactéries forment l'essentiel des bactéries Capables de photosynthèse avec production d'oxygène et peuvent être unicellulaires où Pluricellulaire (**Charpy et al., 2008**). En 1962 Stanier et ses collaborateurs constatèrent que cette « algue bleue verte » était dépourvue de compartiments cellulaires. Elle fait donc partie des procaryotes. Ils proposèrent de désigner ce microorganisme « cyanobactérie », avec un

préfixe d'origine Grec « cyano, cyan » du nom du pigment bleu la phycocyanine qui la compose (Ahounou, 2018)

**Tableau 02 :** Positions systématique de la spiruline

|                    |                       |
|--------------------|-----------------------|
| <b>Règne</b>       | Monéra                |
| <b>Sous- règne</b> | Procaryote            |
| <b>Classe</b>      | cyanophyceae          |
| <b>Ordre</b>       | Nostocalles           |
| <b>Famille</b>     | Oxillatoriaceae       |
| <b>Genre</b>       | Arthrospira           |
| <b>Espèce</b>      | Arthrospira platensis |

Source :(Charpy et al., 2008)

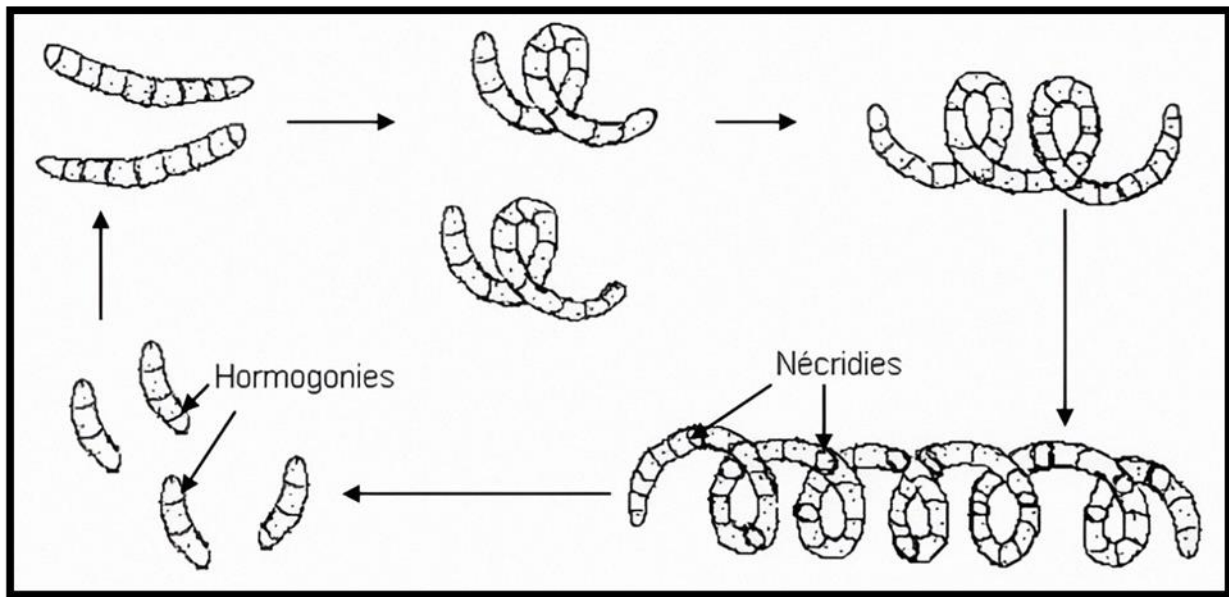
### 1.6. Cycle de vie

La spiruline augmente son volume de 25% chaque jour, ce qui lui permet de doubler sa population en seulement 4 jours. Sa reproduction se fait de manière végétative (asexuée) par divers moyens tels que la scission simple, la fission binaire ou multiple, le bourgeonnement ou la fragmentation aléatoire. Pendant ce processus, la cyanobactérie effectue une copie de son unique chromosome, puis la cellule s'étire et les chromosomes se séparent avant que la paroi ne se forme pour séparer les deux cellules. (Louvel,2019)

Cette période se résume en trois étapes fondamentales :

- La fragmentation des trichomes
- Les processus d'agrandissement et de maturation des cellules hormogonie
- L'élongation des trichomes.

Les trichomes matures sont divisés en plusieurs petits filaments ou hormogonies par la formation préalable de cellules spécialisées, les cellules de nécriides (Sanchez et al.,2003) et se divise en filaments par fission binaire, ces filaments prenant une forme hélicoïdale (Manet,2016)



**Figure 04 :** Cycle biologique de la spiruline (Charpy et al., 2008)

### 1.7. Toxicologie de la spiruline

À ce jour, aucune toxine cyan bactérienne n'a été signalée chez les espèces d'*Arthrospira* (Belay, 2007). La spiruline est rarement allergène et montre même des propriétés anti-allergiques. Cependant, dans certains cas complexes, sa consommation pourrait être liée à des maladies auto-immunes, possiblement exacerbées par ses propriétés immunostimulantes. (Goulamabasse, 2018).

Bien que la spiruline soit consommée comme aliment bénéfique depuis quelques années sans aucun signalement d'effets indésirables chez l'homme, Jusqu'à présent, des tests toxicologiques complets ont été réalisés sur la spiruline. Cependant, aucune étude sur la toxicité systémique de *Spiruline platensis* n'a été signalée. (Hutadilok-Towatana et al., 2008). De nombreuses études toxicologiques ont prouvé l'innocuité de la spiruline. La spiruline fait désormais partie des substances répertoriées par la Food and Drug Administration des États-Unis dans la catégorie Généralement reconnue comme sûre (GRAS) (Karkos et al., 2011).

Une étude approfondie sur différents lots de spiruline provenant de différentes régions a révélé des variations significatives dans leur contamination par divers toxiques minéraux, dont l'arsenic et le fluor. Une expérience sur des rats (Wistar), alimentés avec un régime à forte teneur en protéines de spiruline pendant plus de 18 mois, n'a montré aucun signe évident de toxicité (Boudène et al., 1975).

## 2. Composition nutritionnelle de la spiruline

La spiruline est une source alimentaire de haute qualité nutritive (**Kabirou et al.,2021**) elle contient des protéines, des vitamines, des acides aminés essentiels, des minéraux et des acides gras (**Holman et al.,2013**), et une large gamme de composés colorés, notamment des caroténoïdes, de la chlorophylle et des phycobiliprotéines(**Koru ,2012**) Les caractéristiques chimiques de deux microalgues similaires peuvent varier en fonction de leur source, des conditions de culture, du moment de la récolte et de la méthode d'extraction (**Hoseini et al.,2013**)

### 2.1. Les protéines

La spiruline est une source très riche en protéines végétales, qui représentent 60 à 70 % de son poids (**Soni et al., 2017**) et possède la plupart des acides aminés dont les acides aminés essentiels. Cependant, il est important de souligner qu'il est impossible d'obtenir plus d'une quinzaine de grammes de protéines par jour en consommant une quantité raisonnable de spiruline. Pour une personne de 60 kg, cette quantité représente environ un quart à un tiers des besoins quotidiens en protéines (**Hug, 2021**)

**Tableau 03 :** Taux d'acides aminés essentiels dans 10 grammes de Spiruline

| Acides aminés essentiels | Pour 10 grammes | Totale % |
|--------------------------|-----------------|----------|
| <b>Isoleucine</b>        | 350 mg          | 5,6%     |
| <b>Leucine</b>           | 540 mg          | 8.7%     |
| <b>Lysine</b>            | 290 mg          | 4.7%     |
| <b>Méthionine</b>        | 140 mg          | 2.3%     |
| <b>Phénylalanine</b>     | 28 mg           | 4.5%     |
| <b>Thréonine</b>         | 320 mg          | 5.2%     |
| <b>Tryptophane</b>       | 90 mg           | 1.5%     |
| <b>Valine</b>            | 400 mg          | 6.5%     |

Source : **Henrikson. (2010)**

## 2.2 Les Lipides

Les lipides représentent généralement 6 à 8 % du poids sec de la Spiruline mais ce pourcentage peut atteindre 11% (**Charpy et al., 2008**). Ils contiennent presque tous les acides aminés essentiels et de nombreux acides gras insaturés importants qui sont nécessaires à l'homme. Ces acides gras insaturés comprennent l'acide gamma-linolénique, l'acide Docosahexaénoïque et l'acide eicosapentaénoïque. Notamment la spiruline est la seule plante connue pour être riche en acide gamma-linolénique parmi autotrophes (**Wang, 2023**).

## 2.3 les Glucides

Les glucides représentent environ 15% à 25% de la matière sèche de la spiruline et est également constituée de polysaccharides spécifiques comme le spiruline calcique (ça-SP) et le spiruline sodique (Na-Sp) (**Hug, 2021**).

## 2.4 les Vitamines

La spiruline constitue une bonne source de vitamines, notamment celles du groupe B. Parmi celles-ci, la vitamine B12 se trouve à un niveau élevé (0,16 mg/100 g), ce qui conduit certains à la présenter comme une excellente solution pour lutter contre le déficit en cette vitamine chez les végétaliens (**Bard, 2018**).

**Tableau 04 :** Teneur en vitamines dans la poudre de spiruline

| Les vitamines                  | Pour 10 grammes |
|--------------------------------|-----------------|
| Vitamine A (bêta-carotène)     | 2300 UI         |
| Vitamine C                     | 0 mg            |
| Vitamine E (a-tocophérol)      | 1.0 UI          |
| Vitamine K                     | 200 mcg         |
| Vitamine B1 (thiamine)         | 0.35 mg         |
| Vitamine B2 (riboflavine)      | 0,40 mg         |
| Vitamine B3 (niacine)          | 1.40 mg         |
| Vitamine B6 (niacine)          | 80 mcg          |
| Vitamine B12 (cyanocobalamine) | 20 mcg          |
| Folate (acide folique)         | 1 mcg           |

|                            |         |
|----------------------------|---------|
| <b>Biotine</b>             | 0.5 mcg |
| <b>Acide pantothénique</b> | 10 mcg  |
| <b>Inositol</b>            | 6.4 mg  |

Source : Henrikson(1989)

## 2.5 Les minéraux et les oligo-éléments

La spiruline est une riche source de potassium et contient également du calcium, du chrome, du cuivre, du fer, du magnésium, du manganèse, du phosphore, du sélénium, du sodium et du zinc (Jung et al., 2019)

**Tableau 05:** La teneur en minéraux et oligo-éléments de la Spiruline

| <b>Minéraux</b>  | <b>Teneur de la spiruline(mg/kg)</b> | <b>Doses requises*(Mg/jour) pour adulte</b> |
|------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------|
| <b>Calcium</b>   | 1300-1400                            | 1200                                        |
| <b>Phosphore</b> | 6700-9000                            | 1000                                        |
| <b>Magnésium</b> | 2000-4000                            | 250-350                                     |
| <b>Fer</b>       | 600-6000**                           | 18                                          |
| <b>Zinc</b>      | 21-6000**                            | 15                                          |
| <b>Cuivre</b>    | 8-2000**                             | 1.5-3                                       |
| <b>Chrome</b>    | 2.8                                  | 0.5-2                                       |
| <b>Manganèse</b> | 25-37                                | 5                                           |
| <b>Sodium</b>    | 4500                                 | 500                                         |
| <b>Potassium</b> | 6400-15400                           | 3500                                        |
| <b>Sélénium</b>  | 0.01-50**                            | 0.05                                        |

Source : Falquet (2006)

## 2.6 Les pigments

La spiruline contient de nombreux pigments dont la chlorophylle-a, xanthophylles,  $\beta$ -carotène, échinénone, myxoanthophylle, et les phycobiliprotéine, c-phycocyanine et allophycocyanine(Usharani et al., 2012)

**Tableau 06 : Teneur en Pigments dans la poudre de spiruline**

| Pigments     | Mg 100 g-1 |
|--------------|------------|
| Caroténoïdes | 370        |
| Chlorophylle | 1000       |
| Phycocyanine | 14000      |

Source : (Ali, 2012, p13)

### 3. Les facteurs influençant la croissance de la spiruline

Il existe 4 facteurs essentiels déterminants pour croissance la culture de la spiruline La température, la lumière et le pH et salinité, l'agitation.

#### 3.1 Le pH

*Arthrospira platensis* est une cyanobactérie se développant à un pH élevé (9,5 à 11,0 avec un optimum à 10,5 (Delrue et al., 2017) qui joue un rôle important dans les activités métaboliques des microalgues, affecte la production de la biomasse. (Ogbonda et al., 2007)

#### 3.2 La température

A partir de 20°C, la spiruline commence à se multiplier. Lorsqu'elle se multiplie le plus rapidement, c'est à 37°C, sachant qu'au-delà de 40 elle commence à mourir. Pour La spiruline à environ 30°C est généralement une température très Confortable (Ecoespirulina, 2020)

#### 3.3 La lumière

La lumière est un facteur important dans la croissance des microalgues. Un excès de lumière peut donc avoir des conséquences sur le métabolisme des cellules et de leur croissance (Niangoran, 2017). Des intensités lumineuses plus élevées augmentent la biomasse et favorisent l'accumulation de quantités plus importantes d'acides gras insaturés chez les cyanobactéries. Des recherches antérieures ont démontré que les niveaux d'éclairement influent sur la composition lipidique des organismes photosynthétiques. (Ronda et Lele, 2008)

### **3.4 La salinité**

Les spirulines se développent dans une eau à la fois salée et basique. Les limites de la salinité et d'alcalinité permises sont assez larges, 13 g/litre pour la salinité et une alcalinité de 0,1 molécule-gramme/litre (b = 0,1) (**Jordan, 2006**)

### **3.5 L'agitation**

L'agitation est nécessaire pour homogénéiser, favoriser l'élimination de l'oxygène et Assurer une bonne répartition de l'éclairage parmi toutes les spirulines (**Jordan, 2006**)

## **4. Utilisation et de la spiruline**

Les microalgues sont des organismes à croissance rapide qui peuvent être utilisés pour une vaste gamme d'applications (**Mattos,2013**). Les populations autochtones utilisent les microalgues depuis des siècles., notamment l'espèce *Arthrospira* (Spiruline), sont utilisées comme aliments depuis des milliers d'années (**Spolaore et al.,2006**) elle a un effet anticancéreux, améliore le profil hématologique, la pression artérielle, la concentration de lipides dans le sang, réduit la malnutrition protéique et éviter les dommages rénaux (**Lara et al.,2023**)

### **4.1 Contre mal nutrition**

La spiruline est souvent utilisée pour lutter contre la malnutrition infantile dans les pays les plus défavorisé (**Howell,2024**). Est une solution naturelle et locale contre la malnutrition. Riche en vitamines, oligo-éléments et autres nutriments essentiels, elle un complément alimentaire et facilement digestible. C'est une réponse prometteuse pour combattre les carences nutritionnelles, y compris la malnutrition (**Magermans et al., 2019**)

### **4.2 En Cosmétique**

A ce jour, peu de recherches ont eu pour objectif d'étudier et de démontrer les effets de la Spiruline sur la peau. L'essentiel des actions cosmétiques, étayées par la littérature et

revendiqués par le marché, sont d'abord anti-âge, comprenant des propriétés hydratantes, antioxydantes et propriétés éclaircissantes, et d'autre part les propriétés anti-acnéiques et cicatrisantes. (Ragusa, 2021)

### 4.3 En Médecine

Des études ont montré que la consommation de spiruline pendant 4 semaines réduit les taux de cholestérol sérique chez l'homme Les êtres de 4,5% et réduisent considérablement le poids corporel. L'extrait de spiruline induit le facteur de nécrose tumorale dans Macrophages, suggérant une éventuelle destruction tumorale mécanisme (Saranraj, 2014)

## 5. La culture de la spiruline

### 5.1 Milieu de culture

La spiruline vie dans un milieu salé et alcalin. L'eau utilisée pour le milieu de culture doit être de préférence potable, elle a besoin des sels minéraux et du CO<sub>2</sub> (Razak,2022)

L'alcalinité est habituellement apportée par du bicarbonate de sodium (NaHCO<sub>3</sub>), mais ce dernier peut être remplacé en partie par de la soude caustique ou du carbonate de sodium (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) pour relever le pH initial du milieu de culture (Bensehaila,2016)

**Tableau 07 :** Les compositions chimiques d'un milieu de culture du Jourdan 2006

| Composition                                                  | Quantité g/L |
|--------------------------------------------------------------|--------------|
| Bicarbonate de sodium                                        | 8            |
| Chlorure de sodium =                                         | 5            |
| Nitrate de potassium                                         | 2            |
| Sulfate dipotassique                                         | 1            |
| Phosphate monoammonique                                      | 0.2          |
| Sulfate de magnésium MgSO <sub>4</sub> , 7H <sub>2</sub> O = | 0.2          |
| Chlorure de calcium                                          | 0.1          |
| Urée                                                         | 0.09         |
| Sulfate de fer                                               | 0.005        |

## **5.2 Bassins de culture**

Les bassins de grande surface pour la culture contrôlée des Spirulines doivent être construits d'une manière économique et être munis d'une agitation suffisante pour que l'utilisation de la lumière et des sels minéraux soit optimale (Clement, 1975)

## **6. Les différents modes de production de spiruline**

La production de Spiruline se fait à plusieurs échelles : artisanale, semi-industrielle et industrielle. Chaque niveau de production se distingue par des caractéristiques spécifiques telles que la taille des bassins de culture, les matériaux et équipements employés, le degré de technologie, ainsi que les objectifs visés. Toutefois, le processus de fabrication de la spiruline demeure essentiellement le même, avec des étapes incontournables (Charpy et al., 2008)

### **6.1 Production artisanale**

Les fermes artisanales de Spiruline sont conçues comme des systèmes d'exploitation à faible consommation d'énergie. Les dimensions des bassins varient considérablement, avec une superficie généralement inférieure à 100 mètres carrés pour une surface totale de moins de 3000 mètres carrés. Les techniques utilisées peuvent être rudimentaires, mettant à profit le bon sens et l'ingéniosité pour leur mise en œuvre (Charpy et al., 2008)



**Figure 05 : Production artisanale(site web 3)**

### 6.2 Production industrielle

Se distingue principalement par des investissements plus importants et des bassins de culture beaucoup plus vastes, souvent mesurés en hectares. Ces bassins sont généralement de forme rectangulaire et sont équipés d'une séparation médiane. Pendant la saison froide, ils peuvent être couverts pour conserver la chaleur pendant la nuit, tandis qu'en saison chaude, une partie peut être ombragée pour contrôler l'intensité lumineuse (Tsarahevitra, 2005)



Figure 06 : Production industrielle(site web 4)

### 6.3 Production semi- industrielle

Dans les pays en voie de développement, les fermes semi-industrielles utilisent les mêmes technologies que les fermes artisanales. Elles sont destinées à l'humanitaire et à la commercialisation. Leur objectif est d'être pérenne et autonome grâce à la vente de leur produit (Ahounou, 2018)

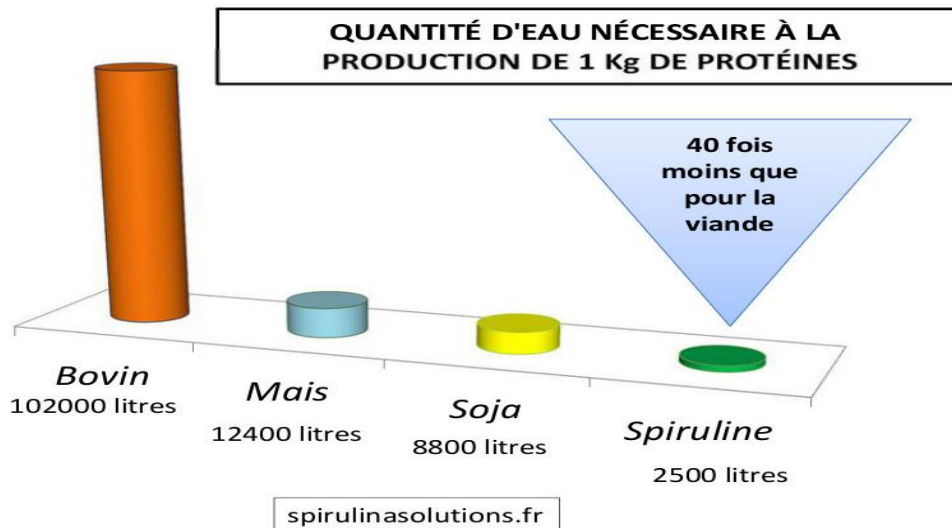


Figure 07: Production semi-industrielle(site web 5)

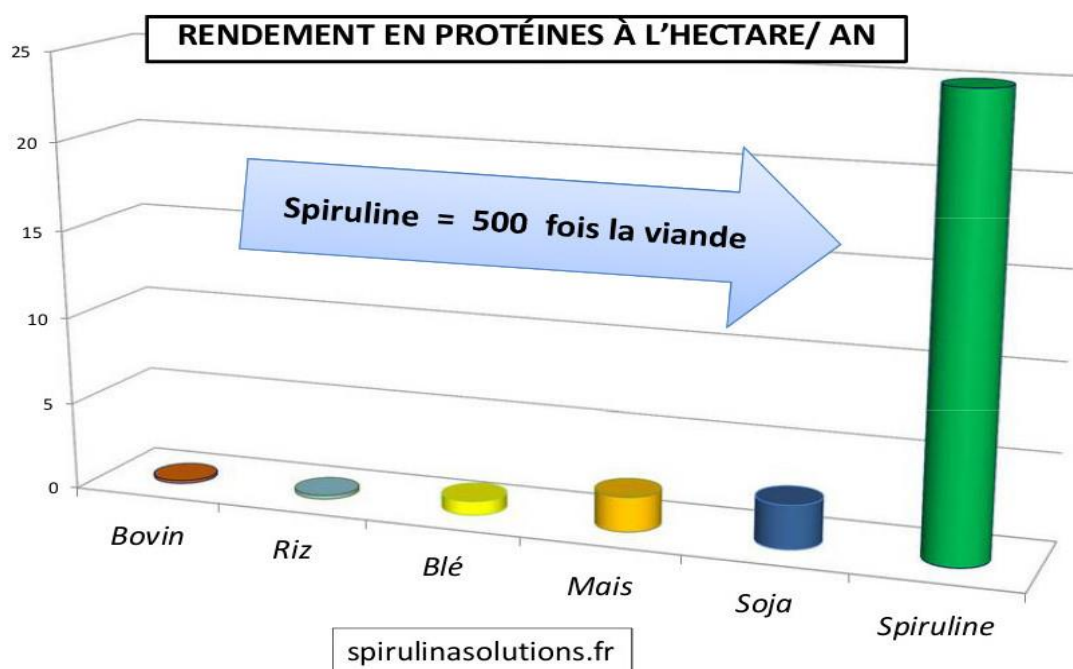
## **Chapitre II :** **Matériels et Méthodes**

# Généralités sur la spiruline

## Pourquoi cultiver la spiruline ?



- Pour son goût et son onctuosité fraîche, incomparables avec le produit sec.
- Pour produire une source de protéines bien plus saine et écologique que tous les produits d'origine animale.
- Pour avoir le privilège de la consommer vivante
- Parce que c'est facile et économique
- Pour acquérir un savoir-faire qui peut être très utile pour les plus démunis  
Par esprit d'autonomie ou pour en faire un métier
- Parce que c'est bien pour notre planète



### Intérêt de la culture de spiruline pour l'environnement :

Nécessite peu d'eau, peu d'énergie, peu d'investissement, et peu d'attention pour une productivité inégalée. La culture de spiruline consiste à reproduire les conditions propices à son développement. Originnaire de lacs volcaniques primordiaux, son milieu est composé de bicarbonate et de sels minéraux. Ceci lui confère la particularité de vivre dans un pH élevé (9 à 10,8) ; ce qui la met à l'abri de nombreux prédateurs et compétiteurs, ainsi que de contaminations bactériennes.

Pour sa croissance, la spiruline nécessite les mêmes éléments que les plantes : azote, phosphore, potassium (NPK), magnésium, fer, oligo-éléments. Sa croissance est optimum à une température de 35°C, ce qui implique souvent l'usage de serres et une culture saisonnière.

## 1. Matériels Biologique

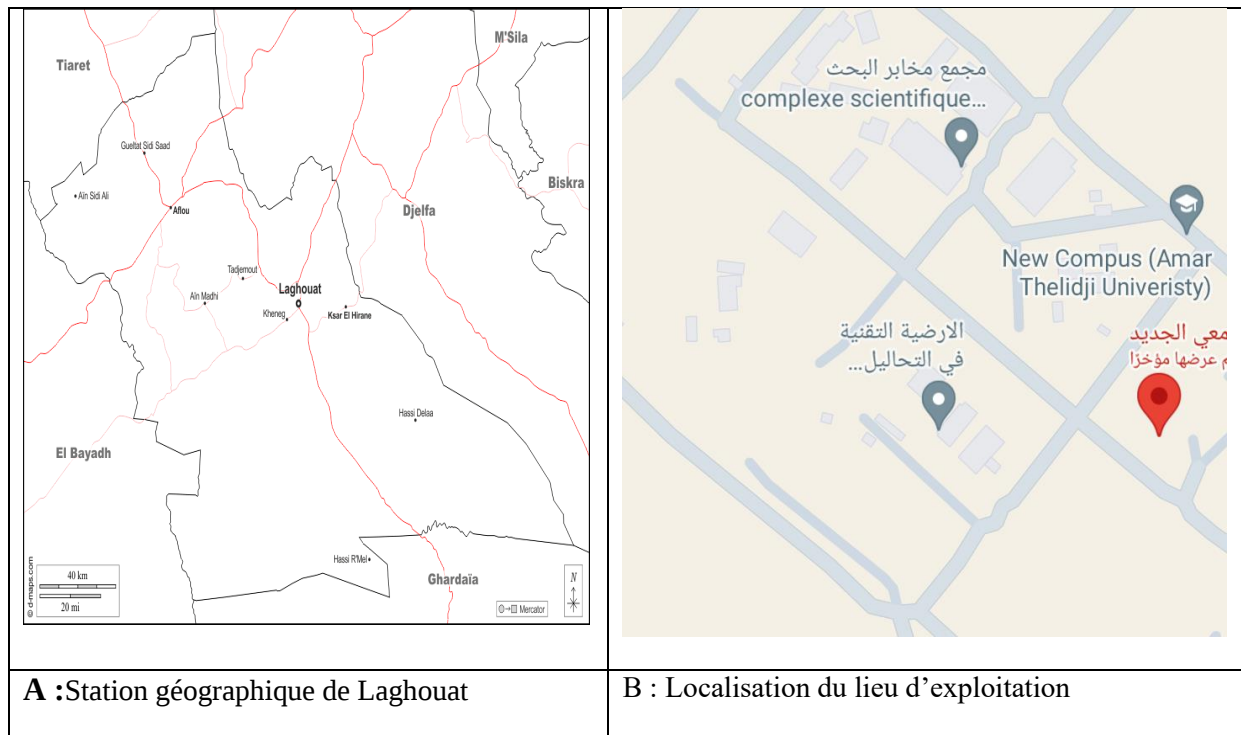
Notre modèle biologique, il s'agit d'une microalgue de la classe des cyanobactéries du genre *Arthrospira platensis*.

### 1.1 L'origine de la souche

Dans ce travail, nous avons utilisé une souche de Spiruline de type *Arthrospira platensis* d'une forme spirale. La souche a été fournie par Monsieur **Seggai Ali** de l'université d'Ouargla.

### 1.2 Station expérimentale

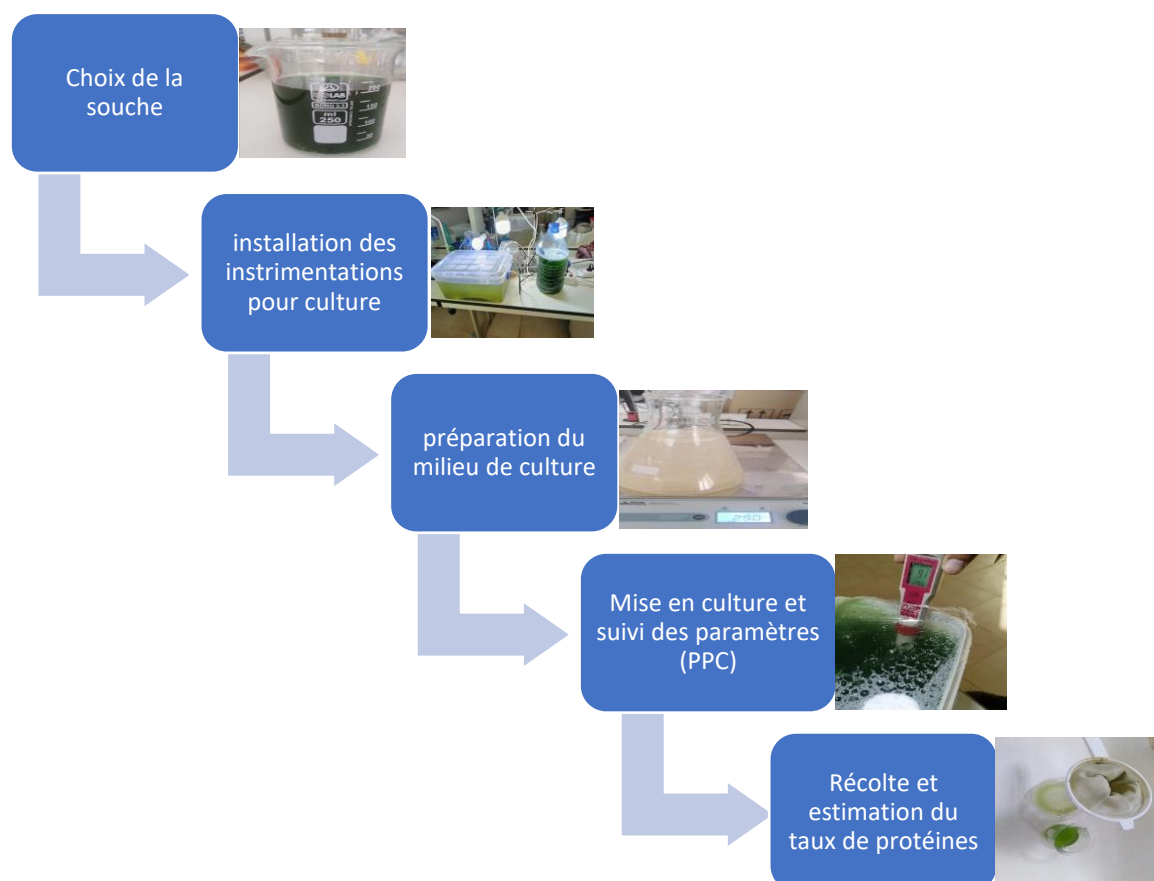
Toutes les expérimentations et les travaux du début et jusqu'à la fin sont au niveau du laboratoire de recherche LSBA à l'université Amar Têlidji-Laghouat



**Figure 08:**Présentation de la zone d'étude

## 2. Méthodologie de l'étude

### -Organigramme de différente démarche expérimentale



**Figure 09** : Organigramme de différentes étapes de production de la spiruline

## 3. La qualité de l'eau utilisée

L'eau utilisée pour notre expérimentation est une eau de source « Masaad »; cette eau a été choisie pour deux raisons: la première il s'agit d'une eau stérile et la deuxième sa composition physico-chimique et minérale est bien connue(**Tableau**)

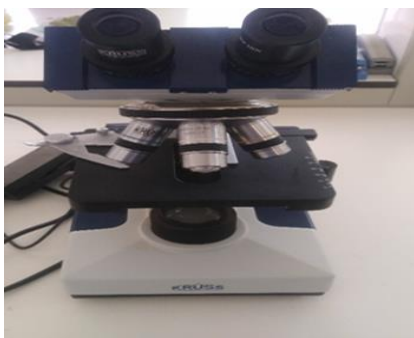
**Tableau 08** : composition physico-chimique et minérale de l'eau utilisé

| Type d'eau    | pH   | Mg      | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Na Cl   | K      | F         | Na      | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | NO <sub>2</sub> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |
|---------------|------|---------|-------------------------------|---------|--------|-----------|---------|-------------------------------|-----------------|------------------------------|
| Eau de source | 7.12 | 42 Mg/L | 458 Mg/L                      | 47 Mg/L | 2 Mg/l | 0.33 Mg/L | 62 Mg/l | 211 Mg/L                      | 0.01 Mg/L       | 1.8 Mg/L                     |

## 4. Préparation du dispositif expérimentale et de milieu de culture

### 4.1 Matériels utilisés

Le dispositif expérimental, ainsi la préparation de milieu de culture nécessite un certain nombre de matériels et produits chimiques. Donc, le tableau ci-dessous présente les principaux équipements utilisé lors de la phase de production.

|                                                                                                                                   |                                                                                                                       |                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p><b>Oxymètre</b></p>                          |  <p><b>Ph mètre</b></p>             |  <p><b>Agitateur</b></p>          |
|  <p><b>Salinomètre</b></p>                     |  <p><b>Microscope optique</b></p> |  <p><b>Pompe d'aquarium</b></p> |
|  <p><b>La souche arthrospira platensis</b></p> |  <p><b>La balance</b></p>         |  <p><b>Film alimentaire</b></p> |

**Tableau 09 :** Planche de principal équipement utilisé dans les différentes étapes de production de la spiruline.

## 4.2 Milieu de la culture

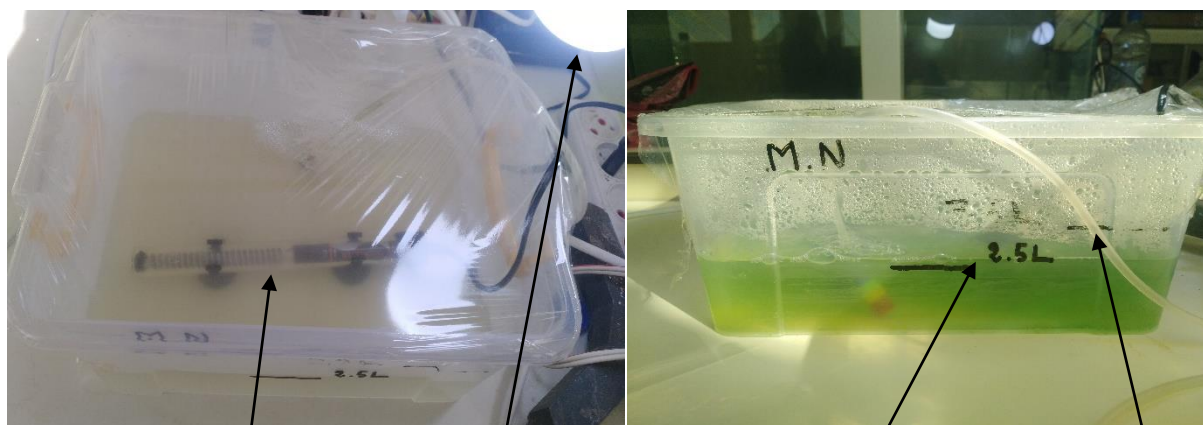
Le milieu de culture retenu est celui de **SEGGAI (2008)**. Le choix est effectué de fait que ce milieu est le plus convenable pour la culture de la spiruline.

**Tableau.10** : composition chimique du milieu de culture de la spiruline selon (Seggai, 2008).

| Composant                                                      | Quantité 2.5 g/l | Quantité 5g/l |
|----------------------------------------------------------------|------------------|---------------|
| <b>Bicarbonate de sodium</b><br>$\text{NaHCO}_3$               | 20               | 40            |
| <b>Sulfate de Magnésium</b><br>(Mg $\text{SO}_4$ )             | 0.5              | 1             |
| <b>Sulfate de potassium</b><br>( $\text{k}_2\text{SO}_4$ )     | 0.25             | 0.5           |
| <b>Sulfate de fer</b> $\text{FeSO}_4$                          | 0.025            | 0.25          |
| <b>Sulfate d'ammonium</b><br>( $\text{NH}_4$ ) $_2\text{SO}_4$ | 0.5              | 1             |
| <b>Urée</b> $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$                    | 0.5              | 1             |

## 4.3 Mode opératoire

- Montage de l'aquarium de la culture



1-Thermorésistance

2-La lumière

3-Niveau d'eau

4-L'agitation

**1- Thermo résistance** : appareil capable d'augmenter la T°C de l'aquarium et de la garder stable entre 28 et 35°C.

**2-La lumière** : une lampe de 40W doit être allumée 16h/24h par jour

**3-Niveau d'eau :** il faut garder le niveau d'eau à la valeur indiquée

**4-L'agitation :** le diffuseur d'air doit fonctionner durant toute la période expérimentale

#### **4.4 Mise en culture de la spiruline**

Dans un 2.5 l d'eau on ajoute 50ml de l'échantillon de la souche (*Arthrospira platensis*)

Dans des conditions standard (ph =9.5 à 11; température entre 32°C à 35°C; lumière16h /24h).

**Remarque :** il faut faire un suivi journalier est de matin jusqu'à le soir pour ces conditions Et ajustée le volume d'eau ces nécessaire.

D'autre mesures sont nécessaires lors de la culture de la spiruline c'est :

La température, conductivité électrique, Potentiel hydrogène (pH), salinité, oxygène dissous

### **5. Dosage de protéine**

On a déterminé la teneur en protéines, un critère important d'appréciation de la qualité nutritionnelle de la spiruline. Le dosage de protéine est réalisé par la méthode de Kjeldahl (ISO, 1997). Le principe de la méthode est basé sur la transformation de l'azote organique en sulfate d'ammonium sous l'action de l'acide sulfurique en présence d'un catalyseur. Le sulfate d'ammonium obtenu est distillé sous forme d'ammoniac et dosé après déplacement, en milieu alcalin. La teneur en protéines calculée en multipliant le taux d'azote total (N%) par le coefficient de 6.25.

Le dosage de protéine est réalisé par la méthode de **Kjeldahl (ISO, 1997)**, en trois étapes : digestion (minéralisation), distillation et titration.

#### **5.1 Principe de la méthode**

Est basé sur la transformation de l'azote organique en sulfate d'ammonium sous l'action de l'acide sulfurique en présence d'un catalyseur, ce dernier sera converti en ammoniac par distillation. Un titrage par la soude de concentration connue permet de déduire la quantité d'ammoniac formée, donc la teneur en azote du produit initiale milieu alcalin. La teneur en protéines calculée en multipliant le taux d'azote total (N%) par le coefficient de 6.25.

#### **5.2 Mode opératoire**

##### **5.2.1 Minéralisation**

Dans un matras de Kjeldhal, on introduit :

- 7 g de sulfate de potassium  $K_2SO_4$

- 7 ml d'acide sulfurique  $H_2SO_4$ .
- 1 g de matériel biologique broyé (spiruline).
- 5 ml d'eau oxygénée  $H_2O_2$ .
- 35 g de la soude caustique ( $NaOH + 4g$  L'acide borique  $H_3BO_3 + 100$  ml l'eau distillée).
- 1.7 g de  $HCl$ .
- Méthyl rouge.

On ajoute et on place le matras sur le dispositif de chauffage à  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$  pendant 30 min. L'ensemble est chauffé doucement et progressivement jusqu'à ce que la couleur noire disparaisse pour laisser place à une couleur bleue transparente. Par cette opération l'ensemble de l'azote organique est transformé en azote minéral sous forme d'ammoniaque.

### **5.2.2 Distillation**

Elle se fait dans une unité de distillation

Préparation de la soude caustique ( $NaOH$ ) à 35%

100 ml L'eau distillée mélange avec 35 g  $NaOH$  dans une fiole et chauffé pendant 5 min.

#### **Préparation de L'acide borique $H_3BO_3$ 4 %**

100 ml L'eau distillée mélange avec 4g L'acide borique  $H_3BO_3$  dans un bécher et ajouter avec un agitateur pendant 5 min.

Et après finir la minéralisation de sulfates d'ammonium laisser refroidir pendant 10 min on ajouter 50 ml l'eau distillée + 50 ml de la soude caustique ( $NaOH$ )

Après préparation de la solution minéralisé, on place le matras et le bécher contenant 25 ml de l'acide borique dans le distillateur, puis attendre le remplissage du bécher jusqu'à 100 ml. Le mélange composé de 25 ml l'acide borique et 75 ml de solution minéraliser

### **5.2.3 Titration**

Puisqu'on utilise l'acide borique comme liquide de récupération. On va alors titrer l'excès d'acide sulfurique avec la solution de  $HCl$  0.2 N jusqu'à changement de la coloration du rose claire.

#### **Préparation de la $HCl$ 1.7 %**

100 ml L'eau distillée mélange avec 1.7 g  $HCl$  dans un bécher et ajouter avec un agitateur.

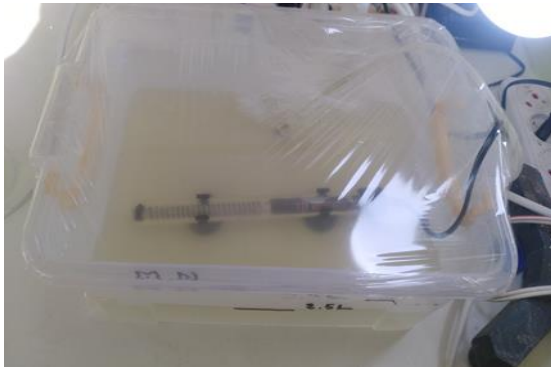
On ajouter quelque goutte de méthyle rouge dans la solution minéraliser jusqu'à l'obtention d'une solution d'une couleur jaune, puis on ajouter le  $HCl$  par la burette goutte à goutte jusqu'à l'apparition d'un changement de couleur du jaune vers la rose claire.

# **Chapitre III :** **Résultats et Discussions**

### 1. Processus de culture de la spiruline

La durée totale de notre expérience était 2 semaines à compter du 29 /01/2024 jusqu'à 10/02/2024.

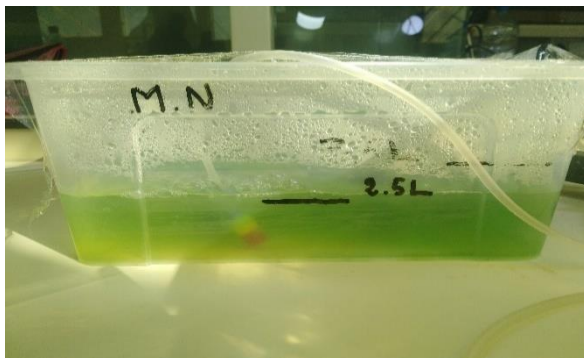
#### 1.1 Principales étapes de l'évolution de la culture de spiruline



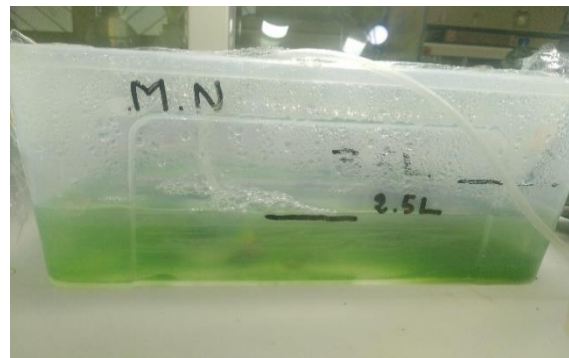
**1-Jour 01**



**2-Après 3 jours**



**3-Après 4 jours**



**4-Après 07jours**



**5-Après 09 jours**



**6-Après 2 semaine**

### **-Le processus de culture de la spiruline est passé par 6 étapes essentielles :**

**1<sup>er</sup> jour** : le moment de culture et de la mise en marche du système expérimentale .et la couleur de l'eau était transparente, le ph est maintenu à 10.54 ainsi la température à 27.2.

**Après 3 jours** : un virage de couleur de l'eau a été observé vert clair. Les paramètres de culture ont été mesurés  $\text{ph} = 9.26$ ;  $T^{\circ}\text{C} = 31.1$ .

**Après 4 jours** : la couleur de l'eau a commencé à se concentrer et les paramètres de culture ils sont mesurés et ajustés (ph par l'ajoute du bicarbonate de soude)

**Après 7 jours** : la croissance de la spiruline est continue et la couleur de l'eau devient foncée.

**Après 9 jours** : croissance très importante des cellules, et le volume de l'eau doit augmenter afin d'obtenir un volume global de 5L. les paramètres de culture ph,  $T^{\circ}\text{C}$  et aération sont toujours suivis et ajustés.

**Après 2 semaine** : la couleur de l'eau a été observé vert foncé.

### **1.2 Observation microscopique**

Au cours de période de l'expérimentation, Observer au microscope la morphologie du pendant de spiruline de la période de culture.

La forme et la couleur de la Spiruline varient en fonction du caractère physique et chimique du milieu environnant dans lequel vit la Spiruline. Le Suivi de la morphologie L'observation est réalisée par un microscope optique. Pour la morphologie de spiruline La dominance de la forme droite paraît porter les formes de fragmentées et spiralées, Une culture contenant beaucoup de Spiruline cassée en petits fragments peut être due à un excès de lumière ou à une agitation trop brutale, ou encore à un manque de Potassium (**Jarisoia, 2005**).



**Figure10:** Observation microscopique de la spiruline

### 1.3 Processus de La récolte

La Spiruline cultivée a été récoltée après 2 semaines de culture, cette opération doit passer par les étapes suivantes :

- Filtration : Nous avons filtré la spiruline à travers une passoire
- Essorage : effectué à la main afin d'éliminer de l'eau et de former une biomasse fraîche
- Séchage à l'air libre et à une température ambiante



**1-filtration**



**2-récupération**



**3-L'extraction de la spiruline**



**4-séchage**

## Chapitre III Résultats et Discussions

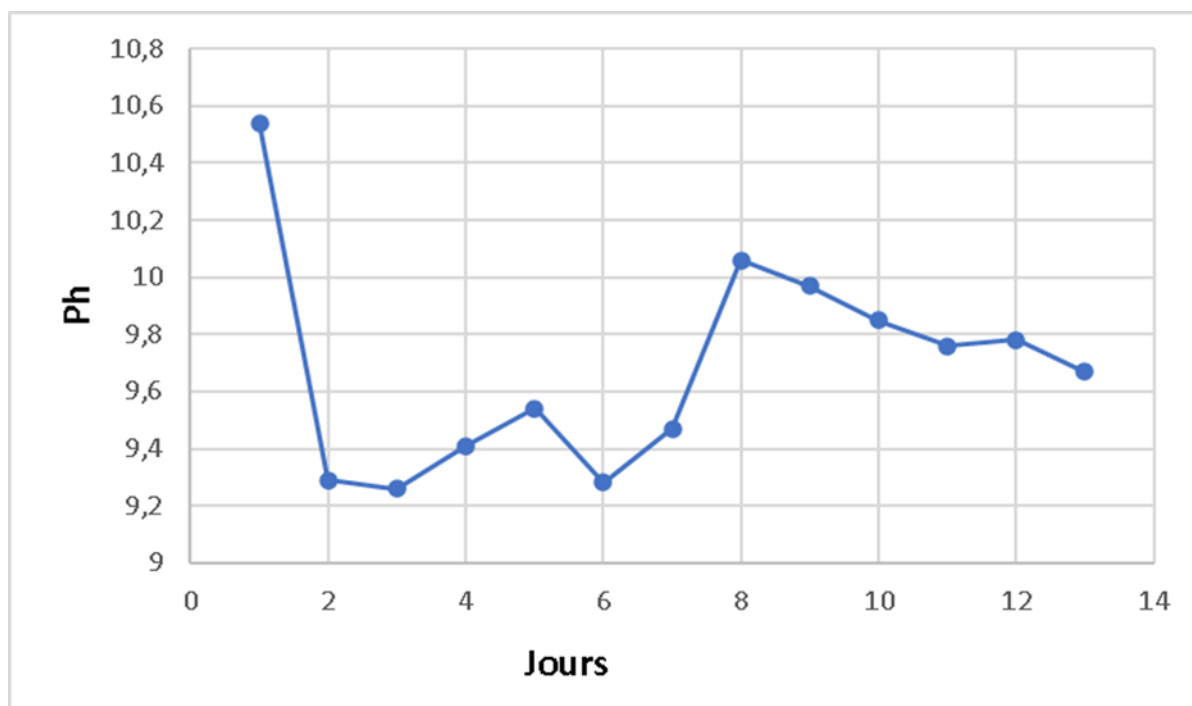
### 2. Évolution des paramètres physico-chimique

Les paramètres mesurés pour le milieu de culture de la spiruline du premier jour de cultivé jusqu'à la date de récolte. Les valeurs obtenues sont représentées dans le tableau suivant (Tableau11)

**Tableau 11 :** Évolution des paramètres physico-chimiques de culture de spiruline

| La date    | Nbre de jours | Ph     | T°C   | Conductivité | O2   | Salinité |
|------------|---------------|--------|-------|--------------|------|----------|
| 29/01/2024 | 1             | 10 ,54 | 27,2  | 8766         | 6    | 5,3      |
| 30/01/2024 | 2             | 9,29   | 29 ,6 | 12766        | 8,24 | 6,45     |
| 31/01/2024 | 3             | 9,26   | 31,1  | 12440        | 6,45 | 5,49     |
| 01/02/2024 | 4             | 9,41   | 29,3  | 12578        | 5,49 | 5,8      |
| 02/02/2024 | 5             | 9,54   | 27    | 12759        | 9,59 | 6,1      |
| 03/02/2024 | 6             | 9,28   | 32,4  | 14405        | 4,67 | 6,4      |
| 04/02/2024 | 7             | 9,47   | 32    | 13977        | 5,55 | 6,32     |
| 05/02/2024 | 8             | 10,06  | 25,2  | 12395        | 5,58 | 7        |
| 06/02/2024 | 9             | 9,97   | 27,7  | 9772         | 4,8  | 6,9      |
| 07/02/2024 | 10            | 9,85   | 28,8  | 12486        | 4,53 | 7,12     |
| 08/02/2024 | 11            | 9,76   | 28,5  | 12060        | 4,27 | 7,3      |
| 09/02/2024 | 12            | 9,78   | 31,3  | 8297         | 5,16 | 8,4      |
| 10/02/2024 | 13            | 9,67   | 31,6  | 8916         | 5,75 | 9,3      |

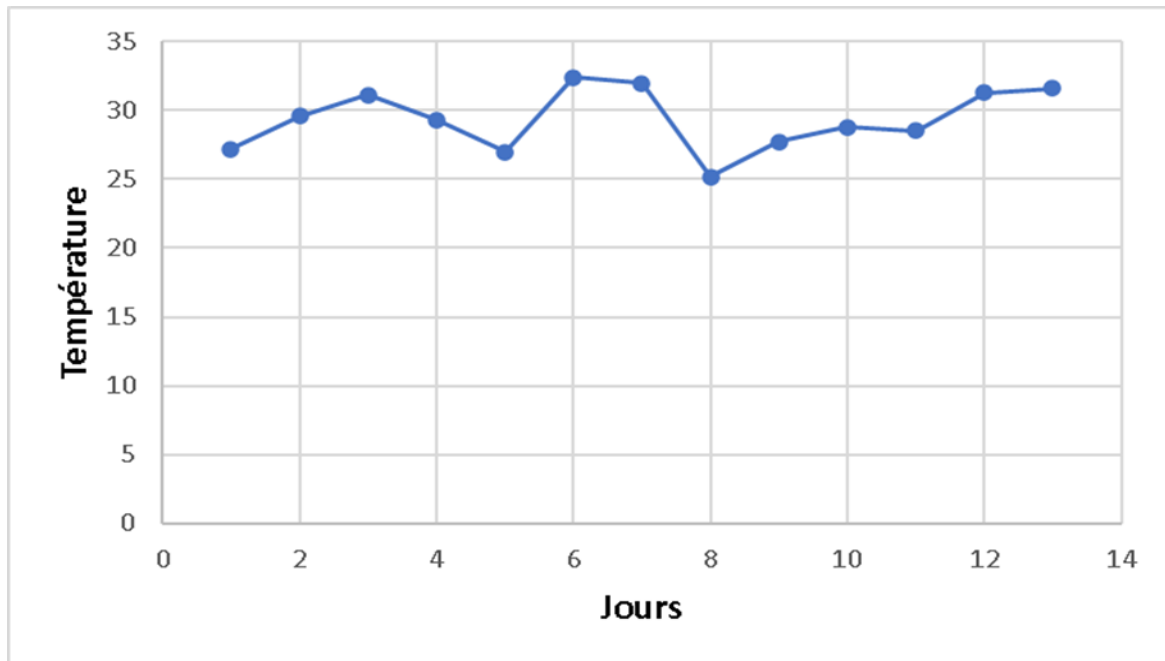
### 2.1 PH



**Figure11** : Évolution du pH de milieu de culture de Spiruline.

Les résultats de notre mesure de pH montrent des fluctuations journalières et le milieu de culture présente une gamme entre 9.26 et 10.5 de pH. La moyenne estimée était 9.68. Cet intervalle de pH représente selon les spécialistes les meilleures conditions de mise en culture in-vitro de la spiruline. La spiruline est un organisme vivant des milieux alcalins. Les valeurs de pH plus élevés obtenus dans l'expérience étaient de 10.5 au début ; cette valeur de pH est avérée nocive pour la culture car il est supérieur de 10.30 selon **(Richmond et al. 1980)**. La détermination du pH peut être utilisée comme un indicateur de l'activité de Photosynthèse et comme s'ait un paramètre de contrôle. On observe augmentation du pH progressivement à partir de 3<sup>ième</sup> jour de l'expérience mais après le 8<sup>ième</sup> jour, la valeur de pH diminution. La valeur moyenne de pH égale à 9.26 valeurs témoin des bonnes conditions de culture lorsque le milieu contient bicarbonate est la source d'alcalinité, il est donc présente deux avantages majeurs : (i) meilleure absorption du gaz carbonique de l'air. (ii) protection contre les contaminations. Le pH qui diminue peut-être corrélée à la consommation de source de carbone c'est la nourriture principale de la spiruline.

### 2.2 Température



**Figure 12:** Évolution de la température du milieu de culture de la Spiruline

Les mesures de la Température du milieu de culture nous a permis d'observés les points suivants :

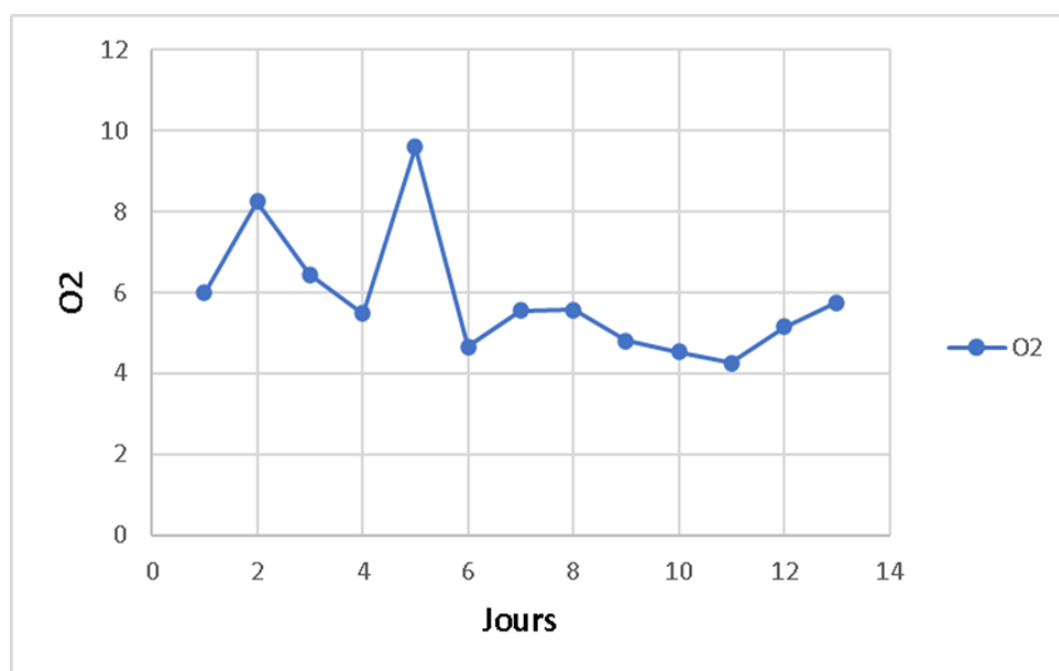
- La valeur moyenne du Température dans le milieu est de 29.36°C
- La valeur minimale est de 25.2°C et la valeur maximale de 32.4°C

La spiruline est une micro-algue thermophile à une température de croissance optimale de 35 à 37 °C D'après **Richmond (1986)**, la température est un facteur important dans la croissance de la spiruline. La température moyenne dans le milieu de culture était 29.36°C, donc elle était basse par rapport à l'optimum de 35°C pour une bonne croissance de la Spiruline, mais largement supérieure à la limite inférieure de tolérance (20°C) de cet organisme (**Jordan, 1999**). Les régions sahariennes à forte température avec un ensoleillement généreux et un faible pluviomètre se bénéficient de conduction climatique favorable pour la production de spiruline.

### 2.3 Oxygène dissous O<sub>2</sub>

Ce paramètre présente des valeurs comprises entre 4.53 ml et 8.24 ml, alors la valeur moyenne de O<sub>2</sub> était 5.85 ml.

Dans le cas de la spiruline, l'oxygène est considéré comme un poison. Quant- il est en forte sursaturation pendant la photosynthèse active, ce n'est pas le cas en l'absence de lumière puisque la spiruline a alors besoin d'oxygène pour respirer. La teneur en oxygène du milieu de culture en équilibre avec l'air atmosphérique. La période de photosynthèse active coïncide avec la teneur en oxygène du milieu de culture peut largement dépasser la moyenne et monter jusqu'à 8.25ml/l. Des études, fait montrer que la respiration de la spiruline consomme environ 1,2 g d'oxygène par g de spiruline "brûlée" soit facilement 3 g d'oxygène/m<sup>2</sup>/nuit, et de l'oxygène est aussi consommé par les autres microorganismes, surtout si le milieu contient du sucre et d'autres produits Biodégradables.



**Figure 13:** Évolution de O<sub>2</sub> de milieu de culture de la spiruline

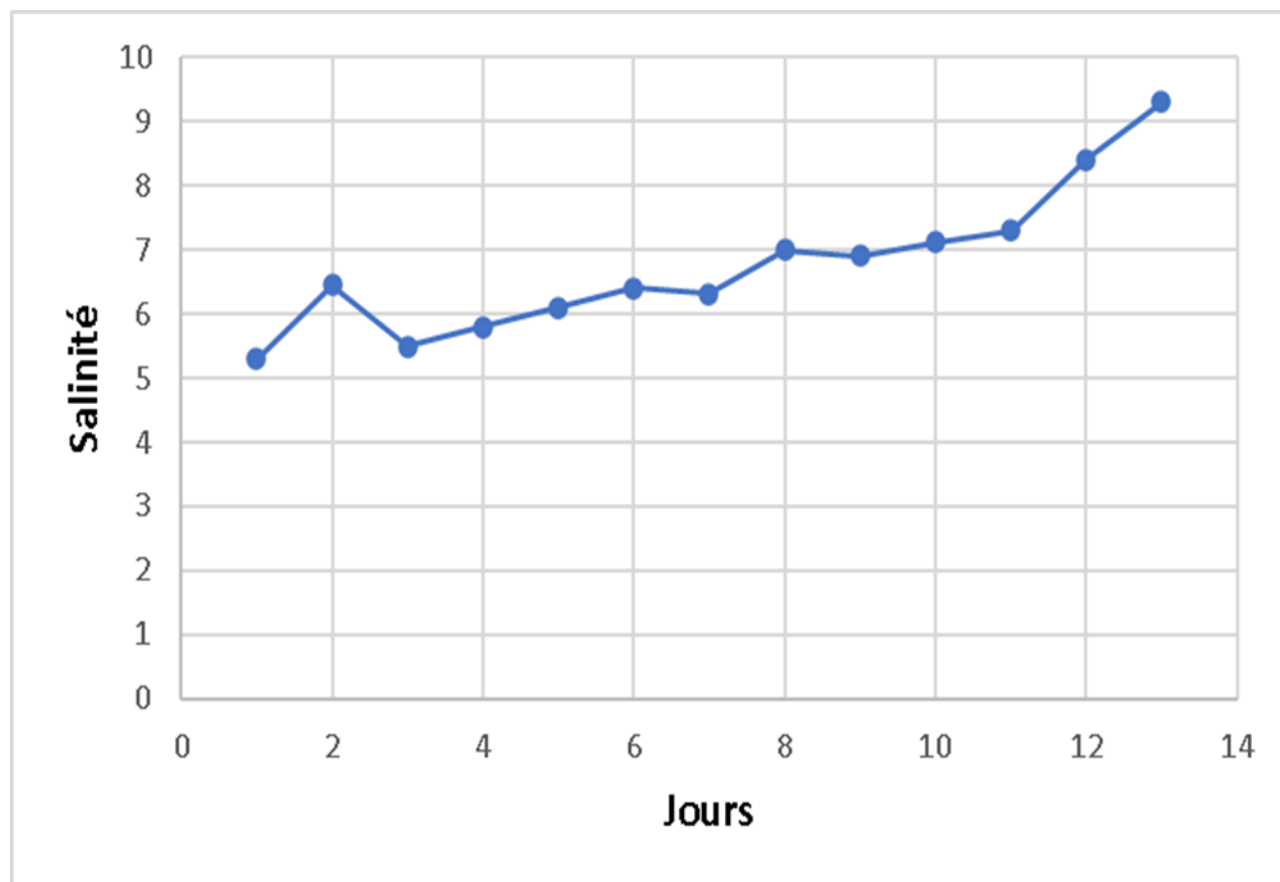
### 2.4 Salinité

On observe l'évolution de la salinité après 2 semaine de l'ensemencement présenté sur la (Figure23)

- La valeur moyenne de la salinité est de 6.76g/l
- La valeur minimale est de 5.3g/l et la valeur maximale de 9.3g/l

## Chapitre III Résultats et Discussions

La salinité des milieux de culture favorise la croissance de la spiruline. La salinité complémentaire est apportée par les différents engrais et du sel pour utiliser n'en contenant pas pour éviter un excès de boues de sel minéraux insoluble.

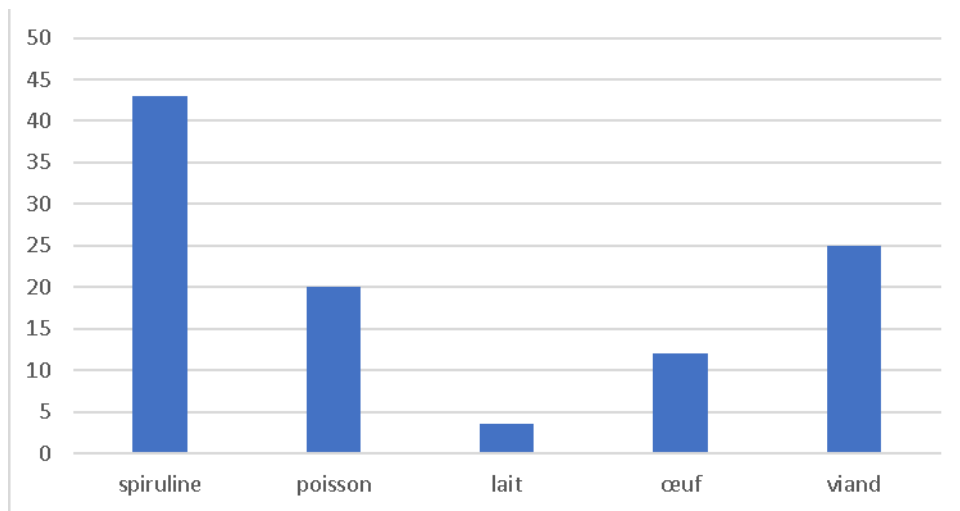


**Figure 14:** Évolution de la salinité de milieu de culture de la spiruline

### 3. Résultats de l'analyse biochimique

#### -Teneur en protéines

La teneur en protéines de la spiruline obtenue dans notre expérience selon la méthode de **Kjeldhal (1883)** est (43%) supérieure à celle trouvée par **Jarisoya (2005)** (40 %). Et inférieure à celle trouvée par **(Alvarenga et al., 2011)** (58.20%). Selon **(Hoseini et al., 2013)** Cette différence peut s'expliquer en fonction de sa provenance, des conditions de culture au moment de la récolte, du mode d'extraction et du mode de conservation.



**Figure 12 :** Taux de protéine de notre spiruline en comparaison avec les autres aliments

## **Conclusion générale**

### Conclusion générale

La spiruline est l'une des algues bleu-vert les plus importantes qui fait l'objet d'une attention croissante dans le domaine de la recherche scientifique et des applications industrielles grâce à ses multiples propriétés nutritionnelles et médicinales. Dans cette étude, l'accent a été mis sur le processus de production de la spiruline et sur la mesure des paramètres physicochimique affectant sa croissance et sa qualité.

Notre étude démontre que la croissance de la spiruline est étroitement liée à plusieurs paramètres tels que le pH, la salinité et l'agitation et la lumière. La gestion précise et le suivi continu de ces paramètres sont essentiels, car ils peuvent devenir des facteurs limitants pour le développement de *Spirulina platensis* s'ils ne sont pas correctement maîtrisés au cours de la culture.

De notre étude, nous pouvez dire :

- Afin d'obtenir un bon développement de la spiruline, la température du milieu de culture

Doit être inférieure à 37 °c et le ph doit être entre 9,5 à 10,5.

- La présence de la lumière et l'agitation Améliore la pigmentation.

- Couvrir l'aquarium de culture avec une bâche en plastique aide à maintenir la température et à stimuler la croissance de la Spiruline.

Notre thème de recherche sur la maîtrise et la production de la spiruline revêt une importance capitale et polyvalente dans le domaine de la recherche et du développement. En étudiant et en surveillant les processus de production et d'extraction de la spiruline, nous entrons ses nombreux avantages dans divers secteurs tels que l'alimentation, la pharmacie, la chimie, et les énergies renouvelables. Comprendre ces processus permet d'améliorer la qualité du produit final et d'optimiser son utilisation, ouvrant ainsi la voie à de nouvelles applications et à l'amélioration des processus existants.

# **Références Bibliographiques**

### Références Bibliographiques

- **Ahounou M N., (2018).**Spirulinaplatensis et ses constituants : intérêts nutritionnels et activités thérapeutiques (Doctoral dissertation).
- **Ali, S. K., & Saleh, A. M. (2012).**Spirulina-an overview. International journal of Pharmacy and Pharmaceutical sciences, 4(3), 9-15.
- **Bard, J. M. (2018).** La spiruline, source de nutriments et aliment. Fonctionnel. Pratiques en Nutrition : santé et alimentation, 14, 38-40.
- **Barry, M., Ouedraogo, M., Sourabie, S., & Guissou, I. P. (2014).** Intérêt thérapeutique de la spiruline chez l'homme : revue générale. International journal of biological and chemical sciences, 8(6), 2740-2749.
- Becker, E. W. (1994). Microalgae: biotechnologyandmicrobiology (Vol. 10). Cambridge UniversityPress.
- **Bensehaila, S. (2016).** Étude de l'effet antimicrobien et antidiabétique des probiotiques en association avec de la spiruline (Doctoral dissertation, lyndaBoutekrabt).
- **Belay, A. (2007).**Spirulina (Arthrospira): production and quality assurance. In Spirulina in human nutritionand health (pp. 15-40). CRC press.
- **Bellahcen, T. O., Bouchabchoub, A., Massoui, M., & Yachoui, M. E. (2013).** Culture et production de Spirulinaplatensis dans les eaux usées domestiques. LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782, (14).
- **Bernard, C. (2014).** Les cyanobactéries et leurs toxines. Revue francophone des laboratoires, 2014(460), 53-68
- **Boudène, C., Collas, E., & Jenkins, C. (1975, January).** Recherche et dosage de divers toxiques minéraux dans les algues spirulines de différentes origines, et évaluation de la toxicité a long terme chez le rat d'un lot d'algues spirulines de provenance mexicaine. In Annales de la nutrition et de l'alimentation (pp. 577-588). Centre national de la recherche scientifique.
- **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), 424-431.

## Références Bibliographiques

---

- **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, 49pp.
- **Clement, G. (1975, January).** Production et constituants caractéristiques des algues "spirulinaplatensis et maxima". In annales de la nutrition et de l'alimentation (pp. 477-488). Centre national de la recherche scientifique.
- **Delrue, F., Alaux, E., Moudjaoui, L., Gaignard, C., Fleury, G., Perilhou, A., ... & Sassi, J. F. (2017).** Optimization of Arthrospiraplatensis (Spirulina) growth: from laboratory scale to pilot scale. Fermentation, 3(4), 59.
- **Ecoespirulina. (2020).** Manual práctico de cultivo de espirulina en casa
- <https://ecoespirulina.es/wp-content/uploads/2020/04/manual-cultivo-espirulina-p19.pdf>
- **Falquet, J., &Hurni, J. P. (2006).** Spiruline : aspects nutritionnels. France : Flamant vert.
- **Fathi, M. A. (2018).** Effect of dietary supplementation of alga meal (Spirulinaplatensis) as growth promoter on performance of broiler chickens. Egyptian Poultry Science Journal, 38(2), 375-389.
- **Göksan, T., ZEKERİ YAOĞLU, A., &Ak, İ. (2007).** The growth of Spirulinaplatensis in different culture systems under greenhouse condition. Turkish journal of biology, 31(1), 47-52.
- **Gershwin, M. E., &Belay, A. (Eds.). (2007).** Spirulina in human nutrition and health. CRC press.
- **Goulamabasse, T. R. (2018).** La spiruline : activités thérapeutiques et son intérêt dans la lutte contre la malnutrition à Madagascar (Doctoral dissertation).
- **Habib, M. A. B., Parvin, M., Huntington, T. C., & Hasan, M. R. (2008).** A review on culture, production and use of Spirulina as food for humans and feeds for domestic animals.
- **Henrikson, R. (1989).** Earth food spirulina. Laguna Beach, CA: Ronore Enterprises, Inc, 187.
- **Henrikson, R. (2010).** Spirulina world food. Published by Ronore Enterprises, Inc. PO Box, 909.
- **Holman, B. W. B., &Malau-Aduli, A. E. O. (2013).** Spirulina as a livestock supplement and animal feed. Journal of animal physiology and animal nutrition, 97(4), 615-623.

## Références Bibliographiques

---

- **Howell, J. (2024).** 15 propriétés de la spiruline pour la santé.
- **Hoseini, S. M., Khosravi-Darani, K., & Mozafari, M. R. (2013).** Nutritional and medical applications of spirulina microalgae. Mini reviews in medicinal chemistry, 13(8), 1231-1237.
- **Hug, C., & von der Weid, D. (2011).** La spiruline.
- **Hutadilok-Towatana, N., Reanmongkol, W., Satitit, S., Panichayupakaranant, P., & Ritthisunthorn, P. (2008).** A subchronic toxicity study of *Spirulina platensis*. Food science and technology research, 14(4), 351-351.
- **Jourdan, J. P. (2006).** Cultivez votre spiruline. Edt. Antenna Technologie: 146p  
<http://www.antenna.ch/documents/manuelJourdan2061.pdf>.
- **Jung, F., Krüger-Genge, A., Waldeck, P., & Küpper, J. H. (2019).** *Spirulina platensis*, a super food? Journal of Cellular Biotechnology, 5(1), 43-54.
- **Kabirou, N. K. M., Halima, O. D., Adamou, M. L., Ibrahim, A. S. R., & ABDOURAHAMANE, B. (2021).** ACCEPTABILITÉ ET CONSOMMATION DE LA SPIRULINE DANS LA COMMUNAUTÉ URBAINE DE NIAMEY.
- **Karar, M. M., Sorto, M., Tidjani, A., Correspondance, P., & Mahamat, K. (2016).** Caractéristiques nutritionnelles du Dihé traditionnel et amélioré, algue bleu-vert du Lac Tchad. Revue Scientifique du Tchad.
- **Koru, E. (2012).** Earthfood *Spirulina* (Arthrospira): production and quality standards. Food additive, 10, 31848.
- **Karkos, P. D., Leong, S. C., Karkos, C. D., Sivaji, N., & Assimakopoulos, D. A. (2011).** *Spirulina* in clinical practice: evidence-based human applications. Evidence-based complementary and alternative medicine: eCAM, 2011.
- **Kulshreshtha, A., Jarouliya, U., Bhadauriya, P., Prasad, G. B. K. S., & Bisen, P. S. (2008).** *Spirulina* in health care management. Current pharmaceutical biotechnology, 9(5), 400-405
- **Lara, G., Mishel, K., Tirado, O., & Cristóbal, J. (2023).** Uso de la espirulina (*Arthrospira platensis*) en galletas para consumo humano y su impacto en la química sanguínea de estudiantes del IASA I.
- **Laurent, I. (2019).** La spiruline (*Spirulina platensis*), de l'aliment au médicament : utilisations et conseils à l'officine (Doctoral dissertation, Université de Lorraine).

## Références Bibliographiques

---

- **Lounici, S. (2010).**Caracterisation de la spiruline spirulinahtam (Doctoral dissertation, Blida).
- **Louvel, S. (2019).** La spiruline : intérêts humanitaires et thérapeutiques. (Doctoral dissertation).
- **Magermans, P., DENGIS, C., DETIENNE, X., Graindorge, C., & Deliège, J. F. (2019).** Formation du monde entrepreneurial et associatif à la culture de Spiruline en Haïti. *Geo-Eco-Trop : Revue Internationale de Géologie, de Géographie et d'Écologie Tropicales*, 43(3)
- **Manet, A. (2016).** La spiruline : indications thérapeutiques, risques sanitaires Et conseils à l'officine. *Sciences pharmaceutiques*. Ffdumas-01346709f.
- **Mattos, E. R. (2013).** Microalgaebiophotonicoptimization of photosynthesisbyweaklyabsorbedwavelengths (Doctoraldissertation, University of Georgia).
- **Matufi, F., & Choopani, A. (2020).** Spirulina, food of past, present andfuture. *Health BiotechnologyandBiopharma*, 3(4), 1-20.
- **Niangoran, N. U. F. (2017).** Optimisation de la culture de la spiruline en milieu contrôlé : éclairage et estimation de la biomasse (Doctoral dissertation, thèse, Université de Toulouse).
- **Nicoletti, M. (2016).** Microalgaenutraceuticals. *Foods*, 5(3), 54.
- **Ogbonda, K. H., Aminigo, R. E., & Abu, G. O. (2007).** Influence of temperature and pH on biomass production and proteinbiosynthesis in a putative *Spirulina* sp. *Bioresourcetechnology*, 98(11), 2207-2211.
- **Ragusa, I., Nardone, G. N., Zanatta, S., Bertin, W., & Amadio, E. (2021).** Spirulina for skin care: A brightblue future. *Cosmetics*, 8(1), 7.
- **Razak, A. M. A. (2022).** Production et analyse de la qualité nutritionnelle et microbiologique de la spiruline à la ferme de dogondoutchi au niger.
- **Ramiandrisoa, B. C. R., & Nantenaina, V. (2023).** Adaptation de culture de spiruline *ArthrospiraPlatensis* pour une meilleure économie de l'ouest : cas du centre du développement d'aquaculture de Mahajanga à Madagascar.
- **Richmond, A. E., & Soeder, C. J. (1986).** Microalgaculture. *Critical reviews in Biotechnology*, 4(3), 369-438.

## Références Bibliographiques

---

- **Ronda, S. R., & Lele, S. S. (2008).** Culture Conditions stimulating high  $\gamma$ -Linolenic Acid accumulation by *Spirulina platensis*. *Brazilian Journal of Microbiology*, 39, 693-697.
- **Saggai, A. (2008).** Compatibilité des Eaux Des Nappes de La Région de Ouargla pour la Culture de Spiruline *Arthrospira Platensis* (Souche De Tamanrasset) (Doctoral dissertation, UNIVERSITE KASDI MERBAH-OUARGLA).
- **Sall, M. G., Dankoko, B., Badiane, M., Ehua, E., & Kuakuwi, N. (1999).** La spiruline : une source alimentaire à promouvoir. *Médecine d'Afrique Noire*, 46(3), 140-142.
- **Sanchez, M., Bernal-Castillo, J., Roza, C., & Rodríguez, I. (2003).** *Spirulina* (*Arthrospira*): an edible microorganism: a review. *Universitas Scientiarum*, 8(1), 7-24.
- **Saranraj, P., & Sivasakthi, S. (2014).** *Spirulina platensis*—food for future: a review. *Asian J. Pharm. Sci. Technol*, 4(1), 26-33.
- **Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E., & Isambert, A. (2006).** Commercial applications of microalgae. *Journal of bioscience and bioengineering*, 101(2), 87-96.
- **Sguera, S. (2008).** *Spirulina platensis* et ses constituants : intérêts nutritionnels et activités thérapeutiques (Doctoral dissertation, UHP-Université Henri Poincaré).
- **Sharoba, A. M. (2014).** Nutritional value of spirulina and its use in the preparation of some complementary baby food formulas. *Journal of food and dairy sciences*, 5(8), 517-538.
- **Simon (2024).** R. Algues bleu-vert.
- **Sirois, L. (2013).** Changements physiologiques chez les microalgues vertes menant à la biosynthèse de caroténoïdes (Doctoral dissertation, Université du Québec à Montréal).
- **Soni, R. A., Sudhakar, K., & Rana, R. S. (2017).** *Spirulina*—From growth to nutritional product: A review. *Trends in food science & technology*, 69, 157-171.
- **Tsarahevitra, J. A. R. I. S. O. A. (2005).** Adaptation de la spiruline du sud de Madagascar à la culture en eau de mer. Mise au point de structures de production à l'échelle villageoise (doctoral dissertation, institut de recherche pour le développement).
- **Usharani, G., Saranraj, P., & Kanchana, D. (2012).** *Spirulina* cultivation: a review. *Int J Pharm Biol Arch*, 3(6), 1327-1341.

## Références Bibliographiques

---

- **Vicente, N. (2008).**Spiruline et developpement. In international symposium on spirulina. toliara sud-ouest de madagascar (p7)
- **Wang, Y. Y., Xu, B. L., Dong, C. M., & Sun, Y. Y. (2023).**The nutritional value of Spirulina and UtilizationResearch. Life Res, 6(3), 15.
- **Whitton, B. A. (Ed.). (2012).**Ecology of cyanobacteria II: theirdiversity in spaceand time. Springer Science & Business Media.

### Site web:

- 1-[https://fr.wikipedia.org/wiki/Arthrospira\\_platensis](https://fr.wikipedia.org/wiki/Arthrospira_platensis)consulté le 13/06/2024 (17.40)
- 2-<https://spiruline-des-iles-dor.com/content/48-conditions-de-vie-de-la-spiruline-a-l-etat-naturel> consulté le 16/06/2024 (14.25)
- 3-<https://www.spiruline-algahe.fr/>consulté le 26/06/2024 (13.07)
- 4-<https://www.spiruline-vendee-algues.com/spiruline-article/4-ferme-aquacole-spiruline> consulté le 23/06/2024 (17.04)
- 5-<https://www.carenews.com/fr/news/2891-alimentation-la-spiruline-le-pari-de-antenna-contre-la-malnutrition> consulté le 26/06/2024 (15.00)