



REPUBLICQUE DU BENIN

UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES

DEPARTEMENT DE ZOOLOGIE

LICENCE EN HYDROBIOLOGIE APPLIQUEE (HBA)

**Mémoire de fin de formation pour l'obtention du Diplôme de Licence en
Hydrobiologie Appliquée**

THEME

**Production de la spiruline (*Arthrospira platensis*) à l'Unité
de Production de la Spiruline du Centre de Recherche
pour le Développement de la Santé (UPS/CREDESA)**

Réalisé par :

YEDEHOME N. Marc

Sous la supervision du :

Prof. Youssouf ABOU
*Maître de Conférences en Hydrobiologie
et Aquaculture*

4^{ème} promotion

Année académique 2015-2016

CERTIFICATION

Je soussigné, **Youssef ABOU**, Maître de Conférences des Universités, Enseignant-chercheur à la Faculté des Sciences et Techniques (FAST) et Coordonnateur de la Licence en Hydrobiologie Appliquée, certifie que ce travail a été réalisé par YEDEHOME N. Marc, sous ma supervision.

Le superviseur,

Prof .Dr. Youssef ABOU

*Maître de Conférences Hydrobiologie
et Aquaculture*

DEDICACE

Je dédie ce travail

A mon père, **Adrien YEDEHOME**, pour m'avoir soutenu dans mes études.

A ma mère, **Victorine AMOUSSOU** pour les sacrifices consentis pour mon éducation et dont les efforts de toute une vie de labeur auront porté leurs fruits.

REMERCIEMENTS

Ce travail ne pourrait être réalisé et se concrétiser sans la disponibilité et la contribution de certaines personnes, que je prie sans distinction aucune, de trouver ici, l'expression de ma profonde gratitude. Je ne peux pas hélas, remercier individuellement toutes les personnes physiques ou morales qui m'ont apporté d'une manière ou d'une autre leur assistance dans le cadre de la réalisation de ce travail. Cependant, je voudrais qu'elles sachent que j'éprouve une profonde gratitude pour chacune d'elles.

Toutefois qu'il me soit permis d'adresser des remerciements particuliers :

- A Dieu, pour sa bonté, son amour et son assistance dans ma vie et spécialement au cours de la rédaction de ce mémoire.
- Au Professeur Youssouf ABOU, Maître de Conférences Universités de CAMES, Enseignant chercheur, Directeur du Laboratoire d'Écologie et de management des Écosystèmes Aquatiques (LEMEA) et Coordonnateur de la Licence Professionnelle en Hydrobiologie Appliquée. Que le Dieu Tout Puissant le Bénisse et guide l'ensemble de ses projets.
- Je tiens également à remercier M. Roger K. ADOUNKPE et Mme Cécilia AHONDOKPE respectivement Coordonnateur et Chargé de la qualité à l'UPS/CREDESA sans oublier tout le personnel de l'UPS/CREDESA surtout des sections production et commercialisation pour leur aide et soutien.
- Au Professeur Alphonse ADITE, Maître de Conférences des Universités de CAMES et Enseignant-Chercheur à la FAST.
- Au Professeur Emile Didier FIOGBE, responsable de la formation Hydrobiologie Appliquée à la Faculté des Sciences et Techniques
- A tous les Enseignants qui sont intervenus en Licence Hydrobiologie Appliquée. Je pense particulièrement aux Professeurs Edmond SOSSOUKPE, Moudachirou IBIKOUNLE, Adam GBANKOTO et Antoine CHIKOU.
- Aux honorables membres du Jury qui apprécieront ce travail. Merci pour le temps que vous mettez à disposition pour l'analyse et l'amélioration de ce document ;
- A mes frères et à ma sœur pour votre soutien inconditionnel (Chrislain, Jean-Eudes et Annick), Que Dieu vous bénisse

- A M. Cayen ALOFA, doctorant en Hydrobiologie Appliquée, pour son soutien indéfectible et la patience dont il a fait preuve dans la conduite de ce travail. Que DIEU veuille davantage sur lui. Je remercie également tous les doctorants du LEMEA, particulièrement Rachad SIDI IMOROU, Vincent OKE, Hamidou ARAME, Nambil K. ADJIBADE et Hamed ODOUNTAN.
- A tous mes camarades étudiants de la quatrième promotion de la licence professionnelle en Hydrobiologie Appliquée en particulier, ASSIFA Nassirath, MITO BABA Aurel, KEDOTE Vincent, et LEGBA Prisca, ASSOGBA Pascal pour les bons moments passés ensemble.
- A ma tante **Hélène ADJADO** pour son soutien moral et financier que DIEU te bénisse.
- A ma chère Raïssa pour son soutien moral et ces prières.
- A tous ceux qui de près ou de loin nous ont soutenus à travers leurs prières et encouragements.

Table des matières

| | |
|---|------|
| CERTIFICATION..... | i |
| DEDICACE..... | ii |
| REMERCIEMENTS | iii |
| RESUME..... | vii |
| ABSTRACT | viii |
| LISTE DES TABLEAUX | ix |
| LISTE DES FIGURES | x |
| LISTES DES SIGLES ET ABREVIATIONS | xi |
| INTRODUCTION..... | 2 |
| CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE | 5 |
| 1.1. Historique et origine de la spiruline | 5 |
| 1.1.1. Dans le monde | 5 |
| 1.1.2. Au Bénin..... | 6 |
| 1.2. Différentes appellations de la spiruline | 7 |
| 1.3. Différentes variétés de la spiruline | 7 |
| 1.4. Taxonomie générale de la spiruline..... | 7 |
| 1.5. Morphologie et caractères généraux de la spiruline | 8 |
| 1.6. Ecologie et répartition géographique..... | 9 |
| 1.7. Propriété physique de la spiruline | 10 |
| 1.8. Reproduction | 10 |
| 1.9. Composition chimique de la spiruline..... | 10 |
| 1.10. Utilisation de la spiruline..... | 12 |
| 1.10.1. Dans l'alimentation humaine..... | 12 |
| 1.10.2. Utilisation en aquaculture et aquariophilie..... | 13 |
| 1.10.3. Utilisation de la spiruline sur le plan sanitaire | 13 |
| 1.11. Comparaison du rendement en productions brute et en protéine du bœuf ,du soja et de la spiruline..... | 14 |

| | |
|---|----|
| CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES | 16 |
| 2.1. Cadre d'étude | 16 |
| 2.2. Milieu de culture | 17 |
| 2.2.1. Description des bassins..... | 17 |
| 2.2.2. Préparation du milieu de culture..... | 17 |
| 2.2.3. Ensemencement..... | 19 |
| 2.2.2. Matériel utilisé..... | 19 |
| 2.3. Récolte..... | 21 |
| 2.3.1. Procédure employée | 21 |
| 2.4. Etude de quelques paramètres de production et de croissance..... | 23 |
| 2.4.1. Mesure de la concentration en spiruline..... | 24 |
| 2.4.2. Mesure du pH du milieu de culture | 24 |
| 2.4.3. Calcul de la productivité moyenne de la spiruline produite à l'UPS/CREDESA | 24 |
| 2.4.4. Résumé des opérations d'une journée de récolte..... | 24 |
| CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION | 26 |
| 3. Résultats | 26 |
| 3.1. Synthèse des paramètres physico-chimiques de l'eau..... | 28 |
| 3.1.1. pH de l'eau | 28 |
| 3.1.2. Transparence | 28 |
| 3.1.3. Densité..... | 28 |
| 3.1.4. Humidité relative..... | 28 |
| 3.1.5. Couleur | 29 |
| 3.1.6. Productivité moyenne..... | 29 |
| 3.2. Discussion | 30 |
| Conclusion..... | 32 |
| Références | 33 |
| ANNEXES : Quelques images..... | 36 |

RESUME

Dans le souci d'une meilleure appropriation des techniques pratiques de culture de la spiruline (*Arthrospira platensis*), nous avons effectué, un stage pratique à l'Unité de Production de la Spiruline (UPS/CREDESA) située dans l'arrondissement de Pahou, commune de Ouidah sur la production de la spiruline en bassin. *Arthrospira platensis* est une cyanobactérie comestible, extrêmement riche en protéines, acides gras essentiels, vitamines et divers oligo-éléments, alliant facilité de culture, haute productivité et faible coût de production par rapport aux autres produits aquacoles. L'ensemencement est fait en utilisant comme souche, 240L de spiruline concentrée, et comme milieu de culture, le milieu Zarrouk, qui est la référence en la matière. Un apport de nutriment au milieu de culture est fait à la fin de chaque semaine. A la fin du stage nous avons obtenu une production totale moyenne de 38,37 kg/semaine et 9,62 kg/ semaine de biomasse fraîche et de biomasse séchée respectivement. Les paramètres physico-chimiques enregistrés au cours de cette période sont en moyenne, de 10,11 pour le pH, 3,3 cm pour la transparence, 1005,5 cellules/ml pour la densité et 5% pour l'humidité relative. La valeur nutritionnelle et les apports socio-économiques apportés par la spiruline démontrent, combien il est important de promouvoir la production de cette algue dans la lutte contre la malnutrition et pour contribuer au développement durable des localités.

Mots clés : Production, *Arthrospira platensis*, protéine.

ABSTRACT

In order to better understand the practical techniques of culture of spirulina (*Arthrospira platensis*), we carried out a practical training at the Spirulina Production Unit (UPS / CREDESA) located in Pahou (Ouidah) on the production of spirulina in concrete tank. *Arthrospira platensis* is an edible cyanobacterium, extremely rich in protein, essential fatty acids, vitamins and various trace elements, combining ease of cultivation, high productivity and low production cost compared to other aquaculture products. The seeding is done using, 240 L of concentrated *Arthrospira platensis*, and, the reference medium called Zarrouk medium. Nutrient supply to the culture medium is made at the end of each week. At the end of the training period we obtained an average total production of 38.37 kg / week and 9.62 kg / week of fresh biomass and dried biomass respectively. average values of physico-chemical parameters recorded during this period are : 10.11 for the pH, 3.3 cm for the transparency, 1005.5 cells / ml for the density and 5% for the relative humidity. Nutritional value and socio-economic contributions of spirulina demonstrate the importance of promoting its production to fight malnutrition and contribute to sustainable development of localities.

Key words: Production, *Arthrospira platensis*, protein.

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|----|
| Tableau 1 :Composition en sels minéraux et oligo-éléments de la spiruline | 11 |
| Tableau 2 :Composition en acides aminés essentiels de la spiruline | 11 |
| Tableau 3 :Composition en acides gras polyinsaturés | 11 |
| Tableau 4 :Composition en pigments | 12 |
| Tableau 5 :Composition en vitamines | 12 |
| Tableau 6 :Comparaison du rendement en productions brute et en protéine du bœuf ,du soja et de la spiruline | 14 |
| Tableau 7 :Composition d'un milieu neuf de culture de la spiruline | 18 |
| Tableau 8 :Exemple d'une nourriture d'entretien pour 1kg de spiruline sèche récolté | 22 |
| Tableau 9 :Comparaison des moyennes de la biomasse fraîche | 26 |
| Tableau 10 :Comparaison des moyennes de la biomasse séchée | 27 |
| Tableau 11 :les valeurs minimales, maximales, moyennes et écartypes des paramètres physico-chimiques enregistrés au cours de la production de la spiruline à l'UPS/CREDESA. | 28 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|----|
| Figure 1 :Différentes formes prises par la Spiruline | 9 |
| Figure 2 :Vue d'un bassin de production de la spiruline..... | 17 |
| Figure 3 :Diagramme récapitulatif des paramètres de culture | 18 |
| Figure 4 :Disque de Secchi..... | 19 |
| Figure 5 :pH-mètre | 20 |
| Figure 6 :Mini pompe électrique | 20 |
| Figure 7 :Une presse mécanique | 20 |
| Figure 8 :Diagramme technologique de production de la spiruline | 23 |
| Figure 9 :Evolution des poids moyens de la spiruline fraîche et séchée en fonction des semaines | 26 |
| Figure 10 :Comparaison des productions journalières pendant 4 semaines..... | 27 |

LISTES DES SIGLES ET ABREVIATIONS

BF : Biomasse fraîche

BS : Biomasse séchée

CAMES : Conseil Africain et Malgache pour l'Enseignement Supérieur

CREDESA : Centre Régional pour le Développement de la Santé

FAO : « Food and Agriculture Organization of the United Nations », Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture.

FAST : Faculté des Sciences et Techniques

GERES : Groupe Energies Renouvelables, Environnement et Solidarités

LEMEA : Laboratoire d'Ecologie et de Management des Ecosystèmes Aquatiques

MESRS : Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

ONG : Organisation Non Gouvernementale

PDSP : Projet de Développement Sanitaire de Pahou

TECHNAP : Technologie appropriées

UAC : Université d'Abomey-Calavi

UPS : Unité de Production de la Spiruline

VIH : Virus de l'Immunodéficience Humaine.

Kg : kilogramme

M² : Mètre carré

µm : Micromètre

cell/ml : cellules par millilitre

INTRODUCTION

INTRODUCTION

L'aquaculture est l'ensemble des activités de production animale ou végétale en milieu aquatique que ce soit en eau douce, saumâtre ou marine. Elle a été désignée comme la technique de production de protéines parfaite pour les pays en voie de développement au cours des années (FAO, 2012). Ainsi les organisations humanitaires tentent de promouvoir l'aquaculture comme un moyen pour améliorer la sécurité alimentaire et les impacts environnementaux (Canonico *et al.*, 2005).

La croissance démographique dans les pays du sud et le changement des habitudes alimentaires, liés notamment à l'urbanisation de la population, induisent une très forte augmentation de la demande en protéines animales, tant en milieu urbain qu'en milieu rural (Baroiller, 2012). Ceci implique une intensification de la production aquacole qui a pour corollaire l'augmentation des besoins en farine et huile de poissons pour la formulation des aliments pour nourrir les animaux domestiques en particulier les poissons. Pour la première fois, la consommation mondiale dépassait les 20 kilos par habitant et par an, contre 10 kilos environ de poisson en 1960 (FAO, 2016). Ainsi de jours en jours on assiste à une pression sans précédent sur les ressources aquatiques ce qui menace la survie des espèces marines. Il urge donc pour une aquaculture durable, de diversifier les espèces aquacoles (animales et végétales) et de promouvoir d'autres sources de protéines. Dans ce contexte, le développement de l'algoculture apparaît comme une solution idéale pour répondre aux besoins en protéines dans les pays en développement.

Arthrospira platensis est une cyanobactérie filamenteuse connue sous le nom de Spiruline. C'est un aliment nutritionnellement appréciable de par sa teneur en protéine qui oscille entre 50% et 70% de son poids sec (Aviano *et al.*, 2000 ; Falquet et Hurni, 2006) (deux fois plus que le soja, trois fois plus que la viande de bœuf). Les protéines de la spiruline apportent à l'organisme la quasi-totalité des acides aminés essentiels, ce qui en fait un aliment indispensable pour les végétariens. Elle représente une meilleure alternative aux protéines animales à cause sa culture qui est simple et facile, à la disponibilité des acides gras essentiels de la série oméga 3 et 6. De ce fait, elle peut être utilisée afin de pallier aux problèmes de malnutrition récurrente dans les pays en voie de développement. La spiruline est maintenant cultivée dans de grandes usines aux USA, en Inde, en Chine, en Thaïlande, car on lui découvre toujours plus de qualités intéressantes pour l'alimentation et la santé tant pour les Hommes que pour les animaux. (Jourdan, 1999). La production mondiale qui était de 4000 tonnes en 2000 serait aujourd'hui autour de 8000 tonnes grâce à la production chinoise. La production des fermes africaines

représenterait moins de 0,3 % de la production mondiale (Charpy. *et al.*, 2008). Il apparaît donc nécessaire de développer cette filière en Afrique subsaharienne plus particulièrement au Bénin.

Au Bénin, il existe à peine quelque dizaine de producteurs ayant des unités de production qui sont à l'étape artisanale et dont les données statistiques par rapport à la production nationale n'existent pratiquement pas. Cette étude intitulée « Production de la spiruline (*Arthrospira platensis*) à l'unité de production de la spiruline du centre de recherche pour le développement de la santé, UPS/CREDESA » s'inscrit dans une approche prospective de maîtrise des différentes phases de production de la spiruline.

L'objectif général de ce travail est de produire la spiruline (*Arthrospira platensis*) afin d'assurer la sécurité alimentaire et une offre alimentaire durable, tout en mettant à la disponibilité des populations et des pisciculteurs une importante source de protéine végétale. De manière spécifique, il s'agit de :

- Apprendre les différentes étapes de la production de la spiruline
- Etudier la productivité de la ferme de production de la spiruline de l'UPS/CREDESA

Les hypothèses sur lesquelles s'appuient ces objectifs sont les suivantes :

- La spiruline croit à un $\text{pH} > 8$.
- La spiruline (*arthrospira platensis*) produite à l'UPS/CREDESA est rentable.

Ce mémoire est structuré en trois chapitres. Le premier chapitre s'intitule "Synthèse bibliographique" ensuite le deuxième chapitre présente les matériels et la méthodologie utilisées, et enfin, le troisième chapitre porte sur les résultats et discussions.

**CHAPITRE 1 : SYNTHÈSE
BIBLIOGRAPHIQUE**

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Historique et origine de la spiruline

1.1.1. Dans le monde

La spiruline est un micro-organisme aquatique (0,3mm de long), en forme de spirale et de couleur verte-bleue. Apparue sur terre il y a plus de 3,5 milliards d'années, elle est vieille comme le monde. Ces micro-organismes contribuèrent à transformer l'atmosphère originelle de notre planète en produisant, grâce à la photosynthèse, l'oxygène nécessaire à l'évolution de toutes les autres formes de vie. Les premières formes de vie sur terre furent les bactéries, qui existaient déjà il y a 3,4 milliards d'années, puis des cyanobactéries ou algues bleues-vertes apparurent : la spiruline était née. Elle a su s'adapter à toutes les conditions physico-chimiques depuis ces temps immémoriaux jusqu'à aujourd'hui. Ces premières cellules végétales transformèrent le gaz carbonique en matière organique et en dégagèrent l'oxygène, permettant à son tour le développement des animaux et éventuellement de l'homme. Souvent classée dans la catégorie des algues, elle n'en n'est pas une à proprement parler. Elle appartient à la classe des cyanophycées, c'est-à-dire une forme de vie primitive mêlant des traits d'algue et de bactéries mais considérée comme différentes des deux et généralement appelées algues bleues ou algues mucilagineuses. Il existe plusieurs espèces dont *Spirulina maxima*, et *Spirulina platensis*. La spiruline est traditionnellement consommée par certaines populations au Tchad et au Mexique. La tribu Kanembou du lac Tchad la consomme depuis toujours sous forme de galette séchée de spiruline appelée « dihé »; il s'agit de *Spirulina platensis* qui est une espèce sauvage. Elle est récoltée à la surface des lacs, moulée en galettes et séchée. Elle est aussi produite de façon traditionnelle et largement consommée au Tchad pour ses nombreuses vertus thérapeutiques et qualités nutritionnelles. Elle a été redécouverte lorsqu'en 1939, une pharmacienne de Bordeaux, le Professeur Creach, a trouvé des galettes de spiruline séchée (appelées « dihé ») sur le marché de Massakong au Tchad. Cette algue a été décrite pour la première fois en 1940 dans le bulletin de la Société linnéenne de Bordeaux par Dangeard. C'est en s'intéressant aux habitants du Kanem, qui semblaient insensibles à la malnutrition, que des chercheurs ont découvert la spiruline dans les années 60. Au même moment, Léonard J., botaniste d'une expédition belge au Sahara, confia un échantillon de galette verte séchée acquise dans un marché de Fort-Lamy (Tchad) à Compère P., autre botaniste, lequel identifia la substance en question comme *Spirulina platensis*, la spiruline africaine. Il a été reconnu que « le dihé, depuis des siècles est le secret d'une bonne santé de la population locale », et que «

les peuples de la région sont connus dans le pays car ils vivent plus longtemps et mieux » (FAO, 2003)

Au Mexique, la spiruline (*Spirulina maxima*) est également consommée par les Aztèques du Lac Texocco au Mexique comme potion magique, longtemps avant la conquête espagnole (Basse-cathalinat, 2008). Vraisemblablement, l'algue est récoltée à la surface des lacs de la même façon que le font les Kanembous du Tchad. Sa redécouverte au Mexique a été tout à fait fortuite. Suite à des problèmes techniques dans une société productrice de dérivés de la soude (société Sosa Texcoco), un biologiste a identifié une minuscule algue, d'origine inconnue, qui colonisait les parties périphériques d'un gigantesque évaporateur solaire. La machine était implantée sur le lieu de l'ancien lac Texocco, richesse naturelle des Aztèques avant la colonisation. Ce dernier connaissant les travaux de Compère P. sur la nourriture verte des Kanembous du Tchad fit donc le rapprochement entre l'algue du Tchad et le microorganisme trouvé. Il s'agissait bien de la spiruline *Spirulina geitleri*, variété proche de la *Spirulina platensis*. Deux espèces ont ainsi été mises en évidence à des milliers de kilomètres. Cet aliment -appelé « tecuitlati » par les Aztèques- a enfin pu être identifié. Elle constituait l'aliment de base des coureurs à pieds « coureurs de poisson », des coursiers spéciaux chargés de livrer du poisson frais à la cour royale. Le poisson provenait directement de l'océan à près de 250 km, distance parcourue en moins de 7 heures. Elle était utilisée par les Aztèques jusqu'à l'arrivée des conquistadores espagnols qui en restreignirent sévèrement la consommation. C'est ainsi que pendant quatre siècles, la spiruline a disparu. Les Aztèques et selon toute probabilité, les Toltèques avant eux, récoltaient la spiruline, exactement comme les Kanembous du lac Tchad pour se nourrir. Suite à ces redécouvertes de la spiruline au Tchad, et au Mexique, de nombreux travaux et recherches ont succédé.

1.1.2. Au Bénin

La spiruline a été introduite au Bénin pour la première fois en 1993 au Centre de Santé Anti-Lèpre Saint Joseph de DAVOUGON dans le département du Zou. Elle y est utilisée comme complément alimentaire non seulement pour de jeunes enfants et des adultes, mais aussi pour les personnes vivant avec le VIH /SIDA. L'avantage premier de la spiruline est de pouvoir corriger les carences alimentaires sur le plan nutritionnel.

C'est alors que le CREDESA, fondé par le Professeur Eusèbe ALIHONIOU alors directeur du CREDESA et doyen de la faculté de médecine, a initié en 1995 le projet "Production, Promotion et Utilisation de la Spiruline", avec l'appui de l'ONG Française TECHNAP

apportant sa collaboration technique. Ce projet a bénéficié des financements de l'Union Européenne et de la Coopération Française, du gouvernement du Bénin par l'intermédiaire du Ministère du plan, du CREDESA et de l'UPS/CREDESA, de TECHNAP et du Rotary.

L'intérêt nutritionnel et thérapeutique de cette algue a conduit en 1995 le Centre Régional pour le Développement et la Santé (CREDESA) de Pahou à s'investir dans son utilisation dans la prise en charge de la malnutrition au Bénin. Le CREDESA a initié en 1998 le Projet « promotion et utilisation de la spiruline au BENIN » en partenariat avec deux ONG Françaises : TECHNAP et GERES. L'Union Européenne, la Coopération Française, TECHNAP, Emmaüs ont accepté de financer le Projet pour une durée de trois (03) ans. Au terme des trois années, ce projet a dû se muer en une entité financièrement et administrativement autonome dénommée « Unité de Production de la Spiruline (UPS) ». L'UPS n'a pas d'existence juridique propre.

1.2. Différentes appellations de la spiruline

Vous trouverez la spiruline sous différentes appellations : *Arthrospira platensis* (qui remplace l'appellation *Spirulina platensis* ou *S. geitler*), *Arthrospira maxima* (anciennement *Spirulina maxima*), *Arthrospira pacifica* (anciennement *Spirulina pacifica*).

1.3. Différentes variétés de la spiruline

Il existe plusieurs variétés de la spiruline. Elles sont entre autre :

- La variété Lonar,
- Paracas,
- Maxima.

A l'UPS/CREDESSA la variété produite est la variété Lonar.

1.4. Taxonomie générale de la spiruline

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 ou pluricellulaires.

On la classe donc selon (Fox, 1999) :

Règne : Monera

Groupe ou sous Règne : Procaryotes

Embranchement : des Cyanophyta

Classe : des Cyanophyceae

Ordre : des Nostocales (= Oscillatoriales)

Famille : des Oscillatoriaceae.

Genre : *Oscillatoria*

Sous Genre : *Arthrospira* ou *Spirulina*

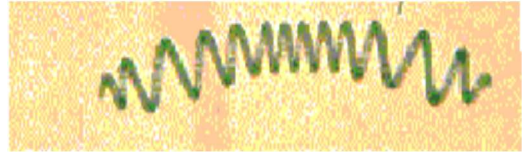
Espèce : *Arthrospira platensis*

1.5. Morphologie et caractères généraux de la spiruline

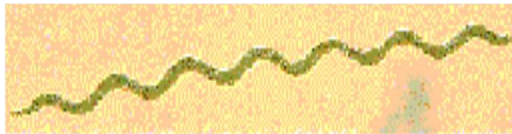
La Spiruline est une cyanophycée microscopique d'une longueur moyenne d'environ 250µm. Elle est composée de filaments mobiles de 10 à 12 µm de diamètre non ramifiés et enroulés en spirale, généralement en 6 ou 7 spires. Cette forme hélicoïdale lui donnant l'allure d'un minuscule ressort lui a valu son appellation de « Spiruline » (Geitler, 1932). Cependant les Spirulines présentent différentes formes (Figure 1). On trouve des formes spiralées classiques, ondulées et parfois droites. Cette particularité est en relation directe avec les conditions écologiques rencontrées dans leur habitat. Plus précisément, la Spiruline est constituée de cellules transparentes empilées bout à bout formant ainsi un filament ou trichome. L'enroulement du trichome sur lui-même s'effectue suivant le sens des aiguilles d'une montre lorsqu'on regarde au-dessus de la spirale. Les facteurs environnementaux tels la température aurait cependant une influence sur l'orientation de l'hélice, (Muhling *et al.*, 2003). Cette morphologie typique lui permet de se déplacer dans l'eau en adoptant le mouvement d'une vis.



Forme spiralée (type « Toliara »)



Forme spiralée (type « Lonar »)



Forme ondulée (type « Paracas »)



Forme droite (type « M2 »)

Figure 1 : Différentes formes prises par la Spiruline
Source (Antenna Technologie modifiée)

1.6. Ecologie et répartition géographique

La spiruline se développe dans la ceinture intertropicale du globe. En effet elle a besoin de chaleur et de lumière pour réaliser la photosynthèse. Elle vit dans les eaux saumâtres, milieu très spécifique riches en sel minéraux composés principalement de bicarbonate ou carbonate de sodium. Le pH du milieu est alcalin, ce qui facilite la fixation du gaz carbonique de l'atmosphère qui sera utilisé lors de la photosynthèse. Les carbonates et les bicarbonates fournissent également au milieu, le gaz carbonique nécessaire pour la photosynthèse. La spiruline se développe préférentiellement dans des eaux chaudes, alcalines et riches en nutriments azotés et phosphorés. Plus communément, elle s'observe dans les eaux saumâtres, ainsi que dans les lacs salins de régions tropicales et semi-tropicales. Son caractère thermophile et ses besoins importants en lumière limitent son aire de répartition à une bande intertropicale située environ entre 35°N de latitude NORD et 35°S de latitude SUD la croissance optimale de la spiruline dans le milieu de culture est obtenue avec :

- Une température comprise entre 25°C et 40°C
- Un éclairage solaire général
- Une agitation du milieu
- Un pH basique compris entre 8 et 11
- Des éléments nutritifs essentiels comme les macroéléments et les oligoéléments
- Une source de gaz carbonique

1.7. Propriété physique de la spiruline

Autrefois classées parmi les "algues bleues vertes", elle croit à l'état naturel, dans la région tropicale et subtropicale, dans les lacs riches en sels minéraux. La Spiruline avec une taille de l'ordre de 0.1mm, elle se présente généralement comme de minuscules filaments verts enroulés en spires plus ou moins serrées et nombreuses, suivant les souches. C'est d'abord leur impressionnante teneur en protéine, ainsi que leur vitesse de croissance, dans des milieux totalement minéraux, qui ont attiré l'attention des chercheurs, comme celle des industriels. (Fox, 1999). La Spiruline est classée indifféremment dans le règne végétal ou animal (en fait bien antérieur à ces deux règnes). Comme les végétaux le système pigmentaire de la Spiruline est constitué de chlorophylle *a*, de pigments hydrosolubles, les phycobilines rouge (phycoérythrine) et bleu (phycocyanine) ; de Caroténoïdes (β -carotène, cryptoxanthine). Comme les bactéries, elles possèdent des parois dépourvues de cellulose et surtout elle est procaryote, son matériel génétique est reparti dans la cellule. La Spiruline dont le nom scientifique *Arthrospira platensis* ; désigne la Spiruline cultivée à Madagascar. (Fox, 1999)

1.8. Reproduction

La reproduction est végétative, c'est-à-dire asexuée et s'effectue par scission simple ou multiple par bourgeonnement ou encore par fragmentation au Hazard. Chez certaines espèces, des cellules spécialisées(AKINETES) peuvent résister à la dessiccation puis "germer" lorsque les conditions redeviennent favorables. Selon les espèces et les conditions environnementales, le temps de dédoublement des populations varie de quelques heures à plusieurs jours.

1.9. Composition chimique de la spiruline

La composition de la Spiruline varie selon la saison, selon le milieu de culture, et selon les conditions de récolte. Le tableau 1 montre la composition en pourcentage.

Tableau 1 :Composition en sels minéraux et oligo-éléments de la spiruline.

| Minéraux et oligo-éléments en (%) | | |
|--|---------|---------|
| | Minimum | Maximum |
| Humidité | 4 % | 7% |
| Cendres | 6,4 % | 9,0% |
| Protéines | 60,0% | 71,0% |
| Fibre brute | 0,1% | 0,9% |
| Xanthophylles | 0,14% | 0,18% |
| β-carotène | 0,15 % | 0,19% |
| Chlorophylle-a | 0,61% | 0,76% |
| Calcium | 0,10% | 0,13% |
| Phosphore | 0,76% | 0,89% |
| Fer | 0,04% | 0,05% |
| Magnésium | 0,14% | 0,19% |
| Manganèse | 0,0018% | 0,0025% |
| Zinc | 0,0027% | 0,0039% |
| Potassium | 1,33% | 1,54% |
| Hydrates de carbone totaux | 13,0 % | 16,5 % |
| Lipides totaux | 6,0 % | 7,0 % |

Source : (vicenté et al., 2005)

Tableau 2 :Composition en acides aminés essentiels de la spiruline

| Acides aminés essentiels en (mg/kg) | | |
|--|-----------------|----------------|
| | <i>Minimum.</i> | <i>Maximum</i> |
| Isoleucine | 5,81 | 6,15 |
| Leucine | 8,17 | 9,25 |
| Lysine | 4,93 | 5,63 |
| Méthionine | 2,65 | 3,05 |
| Phénylalanine | 4,62 | 5,56 |
| Thréonine | 5,30 | 5,97 |
| Valine | 7,0 | 8,45 |
| Arginine | 7,43 | 8,42 |

Source :(Vicenté et al., 2005)

Tableau 3 :Composition en acides gras polyinsaturés

| Acides gras polyinsaturés en (mg/kg) | | |
|---|-----------------|----------------|
| | <i>Minimum.</i> | <i>Maximum</i> |
| <i>Palmitoleique (C16)</i> | 1490 | 2035 |
| <i>Palmitolinoléique (C16)</i> | 1750 | 2565 |
| <i>Heptadécanoïque (C17)</i> | 90 | 142 |
| <i>Oléique (C18)</i> | 1970 | 3009 |
| <i>Linoléique (essentiel) C18</i> | 10920 | 13784 |
| <i>Linoléique (ess.) C18</i> | 8750 | 11970 |

| | | |
|---------------------------|-----|------|
| <i>α</i> Linoléique (C16) | 699 | 7000 |
|---------------------------|-----|------|

Source : (Vicenté et al., 2005)

Tableau 4 :Composition en pigments

| Pigments en (mg /kg) | |
|-----------------------------|-------------|
| Phycocyanine (bleu) | 1500 – 2000 |
| Chlorophylle (vert) | 115 |
| Caroténoïdes (orange) | 37 |
| Bêta-carotène | 14 |

Source : (Vicenté et al., 2005)

Tableau 5 :Composition en vitamines

| Vitamines en (mg/kg) | |
|-----------------------------|---------|
| Vitamines (12) | Moyenne |
| Biotine (H) | 0,4 |
| Cyanocobalamine (B12) | 0,4 |
| Inositol | 350 |
| Pyridoxine (B6) | 3 |
| Riboflavine (B2) | 40 |
| Thiamine (B1) | 55 |
| Tocophérol | 190 |
| βCarotène (pro-A) | 1700 |
| Acide ascorbique (C) | 90 |
| Acide folique | 0,5 |
| Acide nicotinique (PP) | 118 |
| ∂-Ca-Pantothénate | 11 |

Source : (Vicenté et al., 2005)

1.10. Utilisation de la spiruline

1.10.1. Dans l'alimentation humaine.

La Spiruline est une algue pour l'être humain. De nombreuses études ont été publiées depuis et de nombreuses applications possibles de la spiruline ont été démontrées notamment dans le domaine médical (Vilado., 2008). C'est un complément alimentaire sans additif, sans conservateur, ni colorant. Elle convient à tous les âges, du nourrisson au sportif, de l'adolescent à la personne âgée, de l'enfant à la femme enceinte. Pour les adultes comme pour les enfants, il suffit de quelque 3 à 5g de Spiruline par jour pour satisfaire leur besoin (Vidalo., 2008).

1.10.2. Utilisation en aquaculture et aquariophilie

La spiruline n'est pas exclusivement réservée à la consommation humaine. En aquaculture, elle sert notamment à enrichir les granulés pour poissons (Sironval, 1993). Sa présence dans l'alimentation des poissons a des effets que les éleveurs recherchent et apprécient. En aquariophilie, sa première application concerne la pigmentation qu'elle induit chez les poissons par sa richesse en caroténoïdes ; chez la carpe Koi, ces pigments renforcent les motifs rouges et jaunes, tout en laissant un blanc pur brillant. Pour ce faire, son régime alimentaire doit inclure entre 5 et 20% de spiruline. Au Japon, ses qualités de pigmentation lui ont valu d'être employé pour la coloration des poissons servant à préparer le sushi, mais aussi des crustacés. D'autre part, sa richesse naturelle en nutriments en fait un complément alimentaire bénéfique pour les poissons tropicaux d'aquarium (Henson, 1993).

En élevage larvaire, elle est utilisée à hauteur de 1 à 10% de l'alimentation pour augmenter la résistance immunologique des larves (Henrikson, 1999). Toutefois, des recherches plus détaillées doivent être effectuées afin de pouvoir affirmer la réelle efficacité de la spiruline dans ce domaine. On l'utilise aussi dans la production de proies vivantes comme l'*Artemia* et les *Daphnies*. (Elyah,2003)

1.10.3. Utilisation de la spiruline sur le plan sanitaire

Pour améliorer l'alimentation et la santé ; on peut consommer la Spiruline dans le but :

➤ **Pour l'être humain bien portant ; de :**

- Améliorer le rendement physique, intellectuel ou sexuel.
- Renforcer l'organisme pour lutter contre l'agression en amplifiant le système de défense immunitaire.
- Retarder le vieillissement non seulement de la peau et des phanères, mais aussi l'organisme en générale (une forte régression de tache brune, dite aussi de vieillesse chez les personnes du troisième âge).

Source :(Heriniaina ,2010)

➤ **Chez l'être humain malade :**

Selon la forme et la gravité du trouble ou de l'affection en cause, la Spiruline peut être prise seul ou associé à d'autre thérapeutique pour :

- Convalescence en générale ;
- Asthénie ou état de fatigue physique, psychique, ou intellectuel ;
- Asthénie en cour de la maladie quel que soit leur nature ;
- Surmenage de toute nature ;

- Neurasthénie.

La spiruline possède également des propriétés antigrippales dans le cadre préventif : une cure de Spiruline avant et pendant la période d'épidémie, permet le plus souvent d'éviter une infection.

Source :(Heriniaina ,2010)

➤ Application dans le but d'une meilleure santé :

La richesse exceptionnelle et la variété des éléments nutritifs présents dans la Spiruline font d'elle un complément alimentaire, un équilibrant et un fortifiant de grande valeur. C'est ainsi qu'à travers sa composition globale, ses différenciations peuvent se résumer ainsi ;

- Apporte à l'organisme des éléments indispensables susceptible de manquer dans les aliments modernes ;
- Régularise ou aide certaines fonctions organiques dérégées ou devenues insuffisantes ;
- Favorise ou rétablit harmonieusement certains métabolismes momentanément défaillants ;
- La Spiruline est un stimulant, tonifiant, et euphorisant par l'augmentation de la respiration cellulaire, donc génératrice de bien être ;
- Elle induit un regain de l'activité métabolique générale.
- Stimule ou augmente physiologiquement l'énergie vital en général ;
- Excellent protecteur et régénérateur des muqueuses et de tégument en générale.

Source :(Heriniaina ,2010)

1.11. Comparaison du rendement en productions brute et en protéine du bœuf ,du soja et de la spiruline

Tableau 6 :Comparaison du rendement en productions brute et en protéine du bœuf ,du soja et de la spiruline

| Aliments | Rendement en produits T/ha/an | en Protéine (%) | Rendement en protéine |
|------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------------|
| Bœuf | 0,80 | 20 | 0,16 |
| Soja | 4 | 34 | 0,16 |
| Spiruline | 14,70 | 60 | 9 |

D'après le tableau 6, on remarque que la spiruline a un rendement et un pourcentage en protéine élevés par rapport aux autres sources de protéines.

**CHAPITRE II : MATERIEL ET
METHODES**

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

2.1. Cadre d'étude

Le centre régional pour le développement et la santé (CREDESA) est située à Pahou dans la commune de Ouidah et dans le département de l'atlantique (Capo-Chichi, 2006). C'est un établissement semi publique créé en 1983 sous l'appellation de PDSP (Projet de Développement Sanitaire de Pahou). Il est doté d'un statut juridique, avec un décret portant attribution organisation et fonctionnement datant de 1993 et d'un règlement intérieur. Il est placé sous la tutelle du ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique avec une autonomie de gestion administrative et financière.

Le CREDESA après quelques essais de récupération des enfants malnutris de 1 à 5 ans qui a connu un succès, s'est investi dans la production de la spiruline. Son objectif principal est d'assurer à la population une bonne santé via une alimentation de qualité. L'intérêt nutritionnel et thérapeutique de cette algue a conduit en 1995 le CREDESA de Pahou à s'investir dans son utilisation dans la prise en charge de la malnutrition au Benin. Depuis 1998, le CREDESA assure à Pahou avec l'appui technique de deux ONG françaises (TECHNAP et GERES) une production interne de près de 600kg/an pour l'amélioration sanitaire et nutritionnelle des populations rurales. Il dispose de :

- Un laboratoire
- Un bloc administratif composé de deux bureaux
- Une salle de réunion
- Un magasin de stockage des matières premières
- Un bloc de conditionnement dont un compartiment de pressage, un compartiment d'extrudage et de séchage, un compartiment de transformation de la spiruline en gélule et en comprimé de mise en sachet de la spiruline régulièrement maintenue au propre.
- 12 bassins construits en béton dont 2 sont équipés d'une serre

2.2. Milieu de culture

2.2.1. Description des bassins.

L'unité de production du Centre régional pour le développement de la santé de Pahou dispose de douze bassins de culture d'une dizaine de mètres carrés ; précisément 70 m² de surface pour le bassin ayant servi à l'ensemencement. Les bassins rectangulaires, à angles arrondis, sont construits entièrement en "dur" c'est-à-dire en briques cimentées et ont une profondeur de 20cm. Chaque bassin est équipé d'une roue à aubes réalisées en plâtre et comportant 4 palettes de brassage. Deux bassins de culture sont disposés sous un hangar de protection pris comme serre. La roue à aubes est disposée sur la largeur du bassin comme le montre la figure 2.



Figure 2 : Vue d'un bassin de production de la spiruline

Source : (Yedehome, 2017)

2.2.2. Préparation du milieu de culture.

La hauteur du milieu de culture dans le bassin est en moyenne de **20cm**. Il s'agit d'une solution de sels minéraux dans de l'eau. Nous disposons donc de l'eau potable provenant d'un forage, dans laquelle sont ajoutés des intrants qui assurent un pH convenable basique mais inférieur à 11 et alimentent la spiruline. La préparation du milieu de culture est réalisée selon la formule utilisée par Jourdan (1993). Les intrants utilisés et leur quantité en kilogramme pour 1000 litres d'eau sont présentés dans le tableau 7.

Tableau 7 :Composition d'un milieu neuf de culture de la spiruline

| Intrants | Concentration Kg/m ³ |
|---|---------------------------------|
| Bicarbonate de sodium (NaHCO ₃) | 8 |
| Sel marin (non purifié) (Na Cl) | 2 |
| Sulfate de magnésium heptahydraté (MgSO ₄ , 7 H ₂ O) | 0.2 |
| Sulfate de fer heptahydraté (FeSO ₄ , 7H ₂ O) | 0.01 |
| Urée (CO(NH ₂) ₂) | 0.02 |
| Phosphate diammonique dodécahydraté (2NH ₄ PO ₄ , 12H ₂ O) | 0.12 |
| Nitrate de potassium (KNO ₃) | 2 |
| Chaux | 0.02 |

La figure 3 présente le diagramme récapitulatif des paramètres de culture

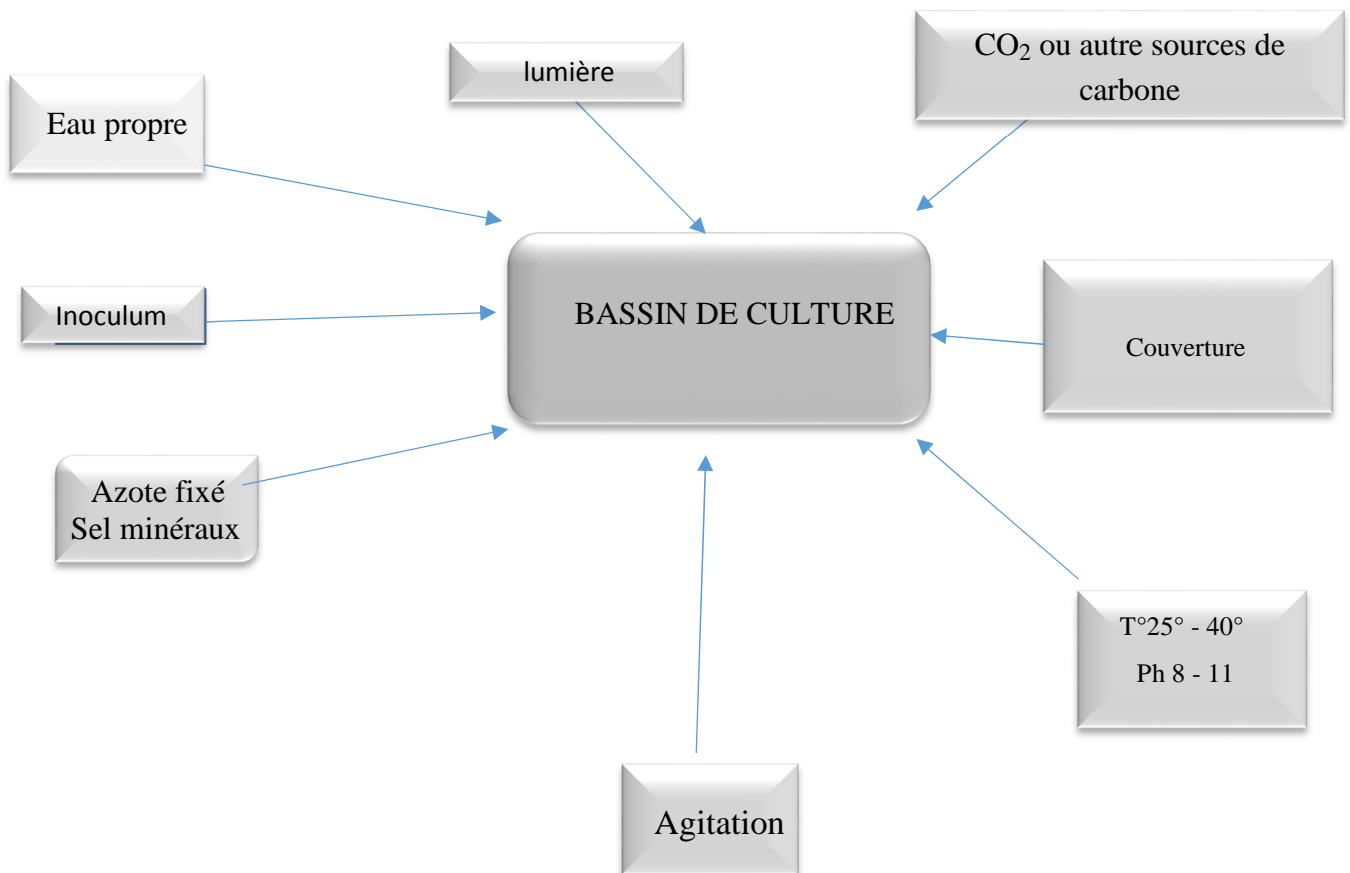


Figure 3 :Diagramme récapitulatif des paramètres de culture

2.2.3. Ensemencement

Le démarrage de la culture a été suivi dans un bassin après que celui-ci ait été purgé. L'ensemencement a donc été réalisé à partir d'un autre bassin voisin ayant une transparence inférieure à 3. La procédure suivie est la suivante :

- La purge du bassin, qui consiste à le vidanger entièrement après avoir sauvegardé la couche flottante de spiruline et à le nettoyer proprement au moyen d'un tuyau d'arrosage.
- A l'aide d'un récipient, on remplit à une hauteur de 10 cm environ le bassin avec du milieu de culture provenant du bassin voisin et contenant des spirulines.
- Du milieu de culture neuf préparé selon la formule du tableau 7 pour un volume total de 1000 litres correspondant aux 10 cm de hauteur d'eau restante.
- Les intrants, une fois solubilisés entièrement dans l'eau, sont rajoutés en même temps que l'eau restante dans le bassin en homogénéisant avec un balai. On obtient ainsi un bassin de 20 cm de hauteur d'eau et ayant une transparence d'environ 5 à 6 cm. L'opération se déroule le soir afin de permettre à la spiruline de s'adapter tranquillement à son nouveau milieu toute la nuit.

2.2.2. Matériel utilisé

Pour la conduite et l'entretien de la culture de spiruline, le matériel utilisé se compose comme suit :

- Un disque de Secchi pour la mesure de la transparence



Figure 4 :Disque de Secchi

- Un pH mètre de type Digital-pH-meter Knick (Figure 5)



Figure 5 :pH-mètre

- Une balance et une mini pompe électronique (Figure 6)



Figure 6 mini pompe électrique

- Une presse mécanique (Figure 7) ;



Figure 7 :Une presse mécanique

;

- Un pistolet manuel à extruder de capacité 500 ml, modèle SIKA
- Des récipients en plastique pour la récolte de la spiruline ;
- Une pelle en plastique ;

- Une toile de filtration en polyester de 30 microns de mailles. Un tamis métallique de 0,2 mm de mailles ;
- Une règle graduée de 30 cm pour la vérification du niveau d'eau ;
- Des claies en grilles de plastique de 5 mm de mailles pour le séchage ;
- Un broyeur type Moulinex ;
- Des sachets plastiques pour le conditionnement

2.3. Récolte

2.3.1. Procédure employée

La récolte et l'entretien du bassin de spiruline commence dès 7 heures du matin car c'est le moment où presque la totalité de la spiruline surnage. La veille de la récolte, on vérifie que la transparence obtenue sur le dit bassin est égal ou inférieur à 3cm.

La récolte consiste à filtrer une partie de la culture (surtout la couche flottante) sur la toile de filtration, en recyclant le filtrat dans le bassin. La culture est envoyée sur la toile à travers le tamis de 0,2 mm de mailles, destiné à intercepter les corps étrangers tels que les insectes, les larves, les feuilles, les boues ou grumeaux de spirulines. Des mouvements imprimés avec la pelle en plastique à la biomasse et à la toile pour déboucher cette dernière, permettent d'accentuer la vitesse de filtration.

La biomasse est ensuite essorée par pressage manuel après transfert sur une autre toile puis elle est pesée et le poids est noté dans un cahier. La biomasse de spiruline est alors étalée en "spaghettis" à l'aide du pistolet extrudeur à silicone SIKA sur les grilles de séchage pour un séchage dans une étuve à une température à 60°C. La spiruline sèche est récupérée dans l'après-midi par simple grattage elle est alors pesée, réduite en poudre puis conditionnée dans des sachets plastiques. L'entretien du bassin se poursuit par l'agitation de ce dernier suivi de la mesure des paramètres de croissance tels que la concentration, le pH, le niveau d'eau dans le bassin et si nécessaire, ce niveau d'eau est rajusté. Des intrants sont apportés au bassin après qu'un kilogramme de spirulines sèches ait été récolté par bassin. Ainsi pour le renouvellement du milieu de culture, les intrants sont fournis. La composition de ces intrants est présentée dans le tableau 8

Tableau 8 :Exemple d'une nourriture d'entretien pour 1kg de spiruline sèche récolté

| Intrants | Concentration Kg/m ³ |
|--|---------------------------------|
| Bicarbonate de sodium (NaHCO ₃) | 2 |
| Sel marin (non purifié) (Na Cl) | |
| Sulfate de magnésium heptahydraté (MgSO ₄ , 7 H ₂ O) | 0,035 |
| Sulfate de fer heptahydraté (FeSO ₄ , 7H ₂ O) | 0,005 |
| Urée (CO(NH ₂) ₂) | 0,3 |
| Phosphate diammonique dodécahydraté (2NH ₄ PO ₄ , 12 H ₂ O) | 0,025 |
| Nitrate de potassium (KNO ₃) | 0,045 |
| Chaux | 0,01 |

L'entretien se termine par le nettoyage des alentours du bassin de strictes mesures d'hygiène doivent être respectées, car il s'agit d'un traitement de nourriture. Pour travailler, les ouvriers doivent porter des masques, des blouses, des bottes et des gants. Les visiteurs de l'usine doivent aussi porter des blouses et des bonnets. La figure 8 ci-dessous présente le diagramme technologique de production de la spiruline.

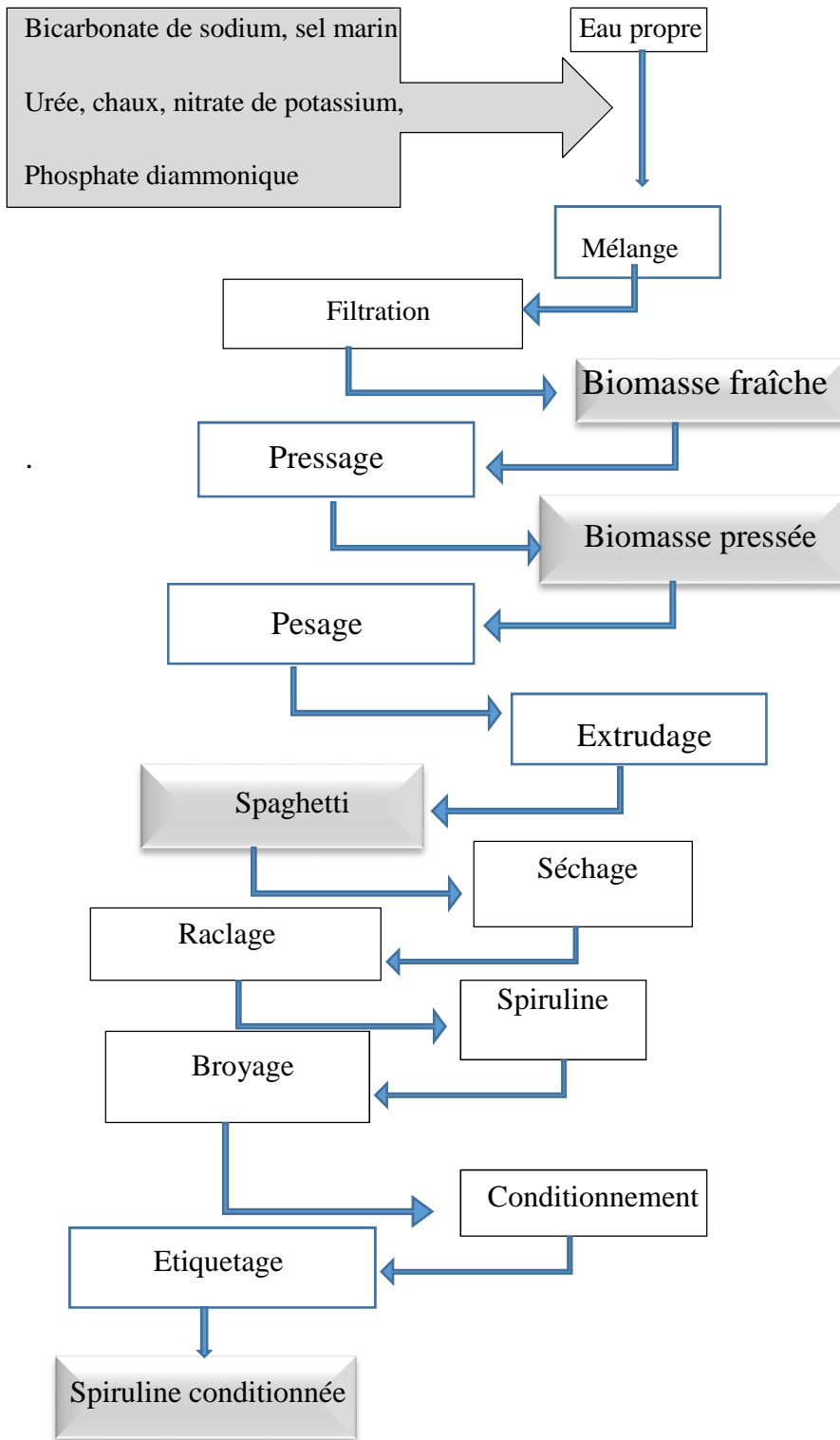


Figure 8 : Diagramme technologique de production de la spiruline

2.4. Etude de quelques paramètres de production et de croissance.

Il s'agit de suivre l'évolution des paramètres qui permettent d'apprécier une bonne croissance de la spiruline.

2.4.1. Mesure de la concentration en spiruline

La détermination de la concentration en spiruline a été faite grâce au disque de Secchi (instrument constitué d'une règle graduée de 30 cm de long, portant à son extrémité inférieur un disque blanc). Cette règle permet une mesure approximative, assez subjective de la concentration. Avant de mesurer la concentration, le milieu est agité puis laissé quelques minutes pour décanter les boues. Le disque Secchi est ensuite introduit verticalement dans le milieu de culture puis la profondeur est notée en centimètre juste où il devient impossible de distinguer le disque blanc. La mesure de la concentration en spiruline a deux objectifs :

- Savoir le moment idéal pour la récolte de la spiruline ;
- Se faire une idée sur la vitesse de croissance de la spiruline dans un bassin, cette vitesse pourra s'exprimer en cm par jour par mètre carré de bassin ou en grammes par jour par mètre carré de bassin.

2.4.2. Mesure du pH du milieu de culture

Le pH du milieu de culture est mesuré directement à l'aide d'un pH-mètre de type digital pH-meter Knick. de culture est prélevé dans un Becher. Le pH est lu après un étalonnage préalable avec une solution de référence pH 7. La mesure du pH du milieu permet de suivre l'évolution de la culture de la spiruline et ainsi on règle éventuellement la marche de la culture tout près du pH maximum autorisé qui est de 11,2 d'après Jourdan (1999).

2.4.3. Calcul de la productivité moyenne de la spiruline produite à l'UPS/CREDESA

Productivité moyenne g/m^2-j .

$Pm = (Pms/Nj \times S) \times 1000$ avec Pms : le poids moyen de spiruline séchée ; Nj : le nombre de jour de récolte et S : la surface cultivée

2.4.4. Résumé des opérations d'une journée de récolte

- Mesure des paramètres physico-chimique (pH, densité, turbidité, température, couleur)
- Filtration d'environ 300l à 400l par jour et élimination d'une partie du liquide filtré
- Pressage de la spiruline, pesée puis extrusion de la pâte sur les plateaux du séchoir, début du séchage
- Préparation et addition du milieu neuf (quantité équivalente à la purge)

Pesée (proportionnelle à la récolte) et addition des sels compensatoires et de l'eau nécessaire au maintien du niveau et Nettoyage du matériel.

- Contrôle de la température en début d'après-midi (aération ou ombrage si besoin).
- Fin du séchage : récupération et broyage grossier des "spaghettis", pesée et conditionnement.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

3. Résultats

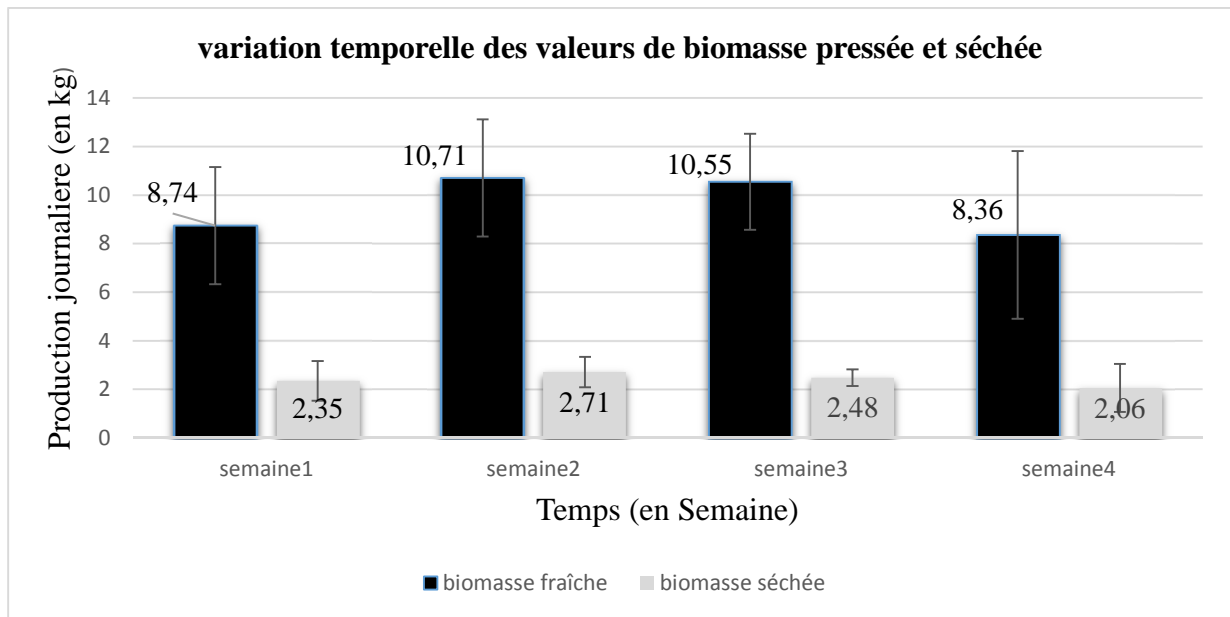


Figure 9 : Evolution des poids moyens de la spiruline fraîche et séchée en fonction des semaines

Le tableau 9 et la figure 9 présentent les différents poids moyen de la biomasse fraîche et séchée en fonction du nombre de récolte à intervalle d'une semaine tout au long de l'expérience; il ressort de cette figure que les meilleurs poids moyens ($10,71 \pm 2,41$ et $10,55 \pm 1,98$ Kg de biomasse fraîche et $2,71 \pm 0,63$ et $2,48 \pm 0,34$ Kg de biomasse séchée) ont été enregistrés pendant la 2^{ème} et la 3^{ème} semaine respectivement. Cette différence notée d'une semaine à une autre au niveau de la biomasse fraîche n'est toutefois pas significative (Anova (3 ; 16) ; $p=0,500 > 0,05$).

Tableau 9 : Comparaison des moyennes de la biomasse fraîche

| Niveau (Semaines) | N (répétitions) | Moyenne | Ecart types |
|-------------------|-----------------|---------|-------------|
| Semaine 1 | 5 | 8,734 | 3,500 |
| Semaine 2 | 5 | 10,716 | 2,787 |
| Semaine 3 | 5 | 10,556 | 1,989 |
| Semaine 4 | 5 | 8,356 | 3,459 |

Cette différence notée d'une semaine à une autre au niveau de la biomasse sec n'est par significative ($p=0,500 > 0,05$). (tableau 10)

Tableau 10 : Comparaison des moyennes de la biomasse séchée

| Niveau (Semaines) | N (répétitions) | Moyenne | Ecart types |
|-------------------|-----------------|---------|-------------|
| Semaine 1 | 5 | 2,3500 | 0,8187 |
| Semaine 2 | 5 | 2,7182 | 0,6343 |
| Semaine 3 | 5 | 2,4820 | 0,3460 |
| Semaine 4 | 5 | 2,0642 | 0,9930 |

Figure 10: Comparaison des productions journalières durant les quatre semaines

Effet courant : $F(3, 16)=0,822, p=0,501$

Décomposition efficace de l'hypothèse

Les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 0,95

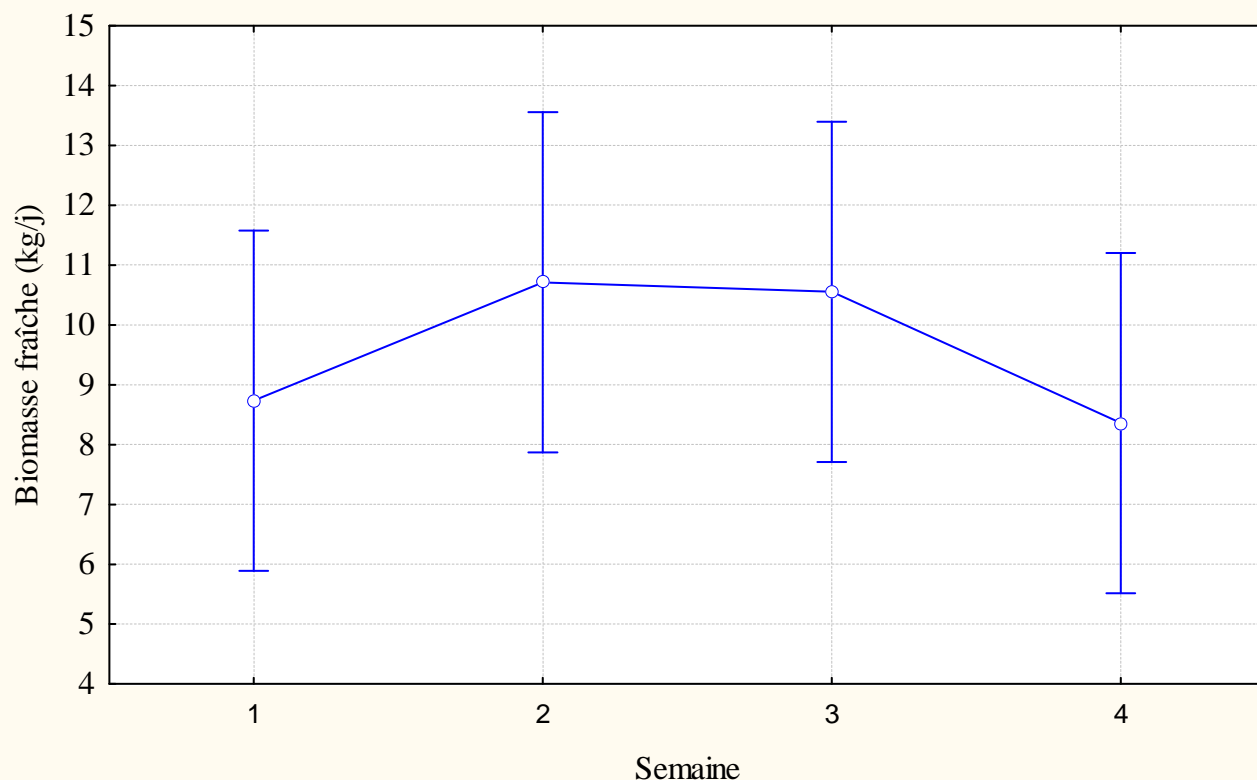


Figure 10 : Comparaison des productions journalières pendant 4 semaines

3.1. Synthèse des paramètres physico-chimiques de l'eau

Le tableau 10 présente les valeurs minimales, maximales, moyennes et écartypes des paramètres physico-chimiques enregistrés au cours de la production de la spiruline à l'UPS/CREDESA.

Tableau 11 : les valeurs minimales, maximales, moyennes et écartypes des paramètres physico-chimiques enregistrés au cours de la production de la spiruline à l'UPS/CREDESA.

| Prélèvements | 1 | 2 | 3 | 4 | Moyennes ± écart- type |
|------------------------------|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------------|
| Paramètres physico-chimiques | | | | | |
| pH | 9,61 | 9,83 | 10,72 | 10,28 | 10,11±0,49 |
| Transparence (cm) | 5 | 2 | 2,5 | 4 | 3,37±1,37 |
| Densité (cell/mL) | 1000 | 1000 | 1002 | 1020 | 1005,5±9,71 |
| Humidité relative | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% |
| Couleur | Vert pâle | Bleu vert foncée | Bleu vert foncée | Bleu vert foncée | |

3.1.1. pH de l'eau

La valeur la plus élevée du pH a été obtenue au niveau du prélèvement 3 qui est de 10,72 et la plus faible au niveau du prélèvement 1 qui est de 9,61. Le pH est stable avec une légère variation au niveau du prélèvement 1 et 2 qui est respectivement de 9,61 et 9,83 ensuite on note une montée brusque du pH au niveau du prélèvement 3 qui est 10,72 et on note une baisse au niveau du prélèvement 4 qui est de 10,28.

3.1.2. Transparence

La valeur la plus élevée de la transparence a été obtenue au niveau du prélèvement 1 qui est de 5 et la plus faible au niveau du prélèvement 2 qui est de 2. La transparence évolue en dent de scie entre 2 et 5

3.1.3. Densité

La valeur la plus élevée de la densité a été obtenue au niveau du prélèvement 4 et la plus faible au niveau du prélèvement 1 et 2. La densité évolue en dent de scie entre 1000 et 1020

3.1.4. Humidité relative

L'humidité relative observé est constante pendant les observations et est de l'ordre de 5%.

3.1.5. Couleur

Les couleurs de la spiruline observées dans le bassin artificiel montrent au niveau du prélèvement 1 la couleur vert pâle tandis qu'au niveau du prélèvement 2, on observe la couleur bleu vert foncée.

3.1.6. Productivité moyenne

La productivité moyenne en m² par jour durant 20 jours de ces résultats obtenus sont sur 9,62kg de produit au total.

3.2. Discussion

Les bassins utilisés pour la production de la spiruline à l'Unité de Production de la Spiruline (UPS/CREDESSA) répondent aux normes recommandées. En effet, selon Jourdan (2006), le bassin ne doit pas comporter d'angles vifs, mais des formes arrondies. Le fond doit être aussi plat que possible, avec une très légère pente vers un endroit plus creux d'accès facile (pour faciliter la vidange). De plus, les bords du bassin doivent être au-dessus du niveau du terrain, pour réduire l'entrée des poussières et des animaux, et au moins 20 à 40 cm au-dessus du fond. La formule du milieu de culture utilisé à l'UPS/CREDESA est celle du milieu standard de Zarrouk (1996) très souvent cité et servant de référence. Ce milieu présente l'intérêt de s'adapter à presque toutes les souches de spiruline et simplifie considérablement le travail de l'algoculteur, il présente aussi une odeur agréable en vieillissant (Elyah, 2003). Toutefois, ses constituants sont chers et ne sont pas toujours faciles à trouver. Par contre avec la formule de Jacques Falquet et hurni(2006) en vieillissant cette solution dégage une odeur nauséabonde de gaz sulfuré (composé du sélénium volatil et toxique).

La croissance de la spiruline est liée à de nombreux paramètres (pH, salinité, lumière, agitation...), ces paramètres peuvent devenir des facteurs limitant le développement de *Spirulina platensis* s'ils ne sont pas bien maîtrisés et suivi au cours de la culture (Benahmed-Djilali, 2014). Les variations du pH observées se situent entre 9 et 11 au cours de l'expérience ; ces valeurs se situent dans la limite optimale de croissance de *Arthrospira platensis* (8 à 11) (Jourdan, 2006). La valeur minimale est de 9,61 et maximale de 10,72 ; Cela témoigne du caractère très basique du milieu., Ce qui assure la qualité des produits car la présence des organismes pathogènes est impossible quand la valeur du pH est supérieure à 9,5 (Elyah, 2003). L'humidité relative prélevée au cours de la période du stage est constante avec une valeur de 5%. On pourrait affirmer que la spiruline produite se trouve dans une bonne condition de conservation. En effet, la spiruline doit contenir moins de 9 % d'eau pour bien se conserver (Jourdan, 2006). Les variations de la transparence se situent entre 2 et 5 cm au cours de l'expérience. En effet, la valeur minimale de la transparence (2 cm) enregistrée se trouve dans les normes recommandées pour passer à la récolte, tandis que la valeur maximale de la transparence qui est 5 enregistrée dépasse largement la valeur limite acceptable pour passer à la récolte. Cela permet de suggérer que cette transparence n'est pas favorable pour obtenir un bon rendement.

La couleur vert pâle observée au cours de l'expérience nous a permis d'affirmer que le milieu de culture serait pauvre en nutriment, c'est-à-dire qu'il y a un manque d'azote fixé et/ou de CO₂, tandis que la couleur bleu vert foncée montre que le milieu est bien ombragé et que les éléments nécessaires pour sa croissance sont réunies.

La productivité obtenue sur le site de l'UPS/CREDESA est 6,87g/m²/jour de matière sèche. Selon Jourdan (2006), la productivité moyenne optimal est de 5 à 10 g/m²/j, on peut donc dire que le site l'UPS/CREDESA serait un site dont la production se trouverait dans les meilleures conditions. Par ailleurs, dans les conditions favorables, la production moyenne d'une culture en milieu synthétique sur une année complète est d'environ 12 g/m²/jour d'algues sèches (Dansou, 2001)

Conclusion

En somme, ce stage de fin formation dont l'objectif général est d'apprendre les techniques de production de la spiruline (*arthrospira platensis*) a permis d'acquérir de nouvelles connaissances dans le domaine de l'aquaculture plus précisément en algoculture. Pour atteindre cet objectif des hypothèses ont été formulées à savoir : la spiruline croit à un $\text{pH} > 8$; La spiruline (*arthrospira platensis*) produite à l'UPS/CREDESA est rentable.

Il ressort de ce stage que le rendement de spiruline (*Arthrospira platensis*) produite à l'UPS/CREDESA témoigne de la bonne santé de la structure. Aussi, les paramètres physico-chimiques enregistrés nous permettent de dire que les conditions du milieu de culture favorisent une croissance optimale de la spiruline. Les hypothèses ainsi formulées ont été vérifiées toutefois des difficultés scientifiques ont été rencontrées. Nous aurions pu évaluer la température du milieu, l'oxygène dissous ce qui nous aurait permis de mieux connaître la qualité de l'eau et la croissance de la spiruline. Au vu des propriétés nutritionnelles sans égal de la spiruline, il apparaît clairement que la spiruline devrait connaître ces prochaines années un très important développement tant dans les pays industrialisés que dans les pays frappés par la malnutrition. Hormis le fait que la spiruline soit utilisée dans la lutte contre la malnutrition dans le monde, elle peut être utilisée en alimentation animale en particulier chez les poissons. Elle peut donc servir d'alternatives à la farine de poisson dans les régimes des poissons afin de diminuer le coût de production de ces derniers.

Au terme de ce stage à l'UPS/CREDESA nous suggérons :

À l'UPS/CREDESA

- Des observations microscopiques périodiques sur les échantillons prélevés dans les bassins afin de déceler ou non la présence de contaminants et/ou de kystes d'agents pathogènes.
- La conduite de la culture de la spiruline dans des bassins sous serre afin de les protéger contre toutes souillures (fèces d'oiseaux, risques de chutes de débris végétaux, d'animaux et autres dans les bassins) ;
- Les analyses chimiques, biochimiques et bactériologiques de la spiruline de façon périodique avant de la mettre sur le marché.

Références

1. Aviano P., Carconi P.L., Lepore L., Moauro A. (2000) Nutritionnelle et les propriétés écologiques des produits d'algues utilisés pour une alimentation saine. *INAA et ICP-AES.*, 244(1): 247-252.
2. Baroiller J.F. (2012) Intensification écologique de l'aquaculture tropicale.
www.cirad.fr
3. Barnabe G. (1991) Bases biologiques et écologiques de l'aquaculture. Ed. Lavoisier, Paris,500p.
4. Benahmed-Djilali, A; Slimani, DJ ; Bensara, A; Nabiev, M; Bouksaim, M & Benamara S. (2014) Nouvelle méthode de production De *Spirulina platensis* en utilisant un milieu naturel à base de l'eau de mer, cendres de bois et la saumure de fromage, Bordeaux .205p.
5. Basse-cathalinat J. (2008) Utilisation de la spiruline dans la malnutrition protéino-énergétique : Projet d'une ferme à Sabou, Burkina-Faso, Thèse de Doctorat en Pharmacie, UFR des Sciences Pharmaceutiques Université Bordeaux 2, France, 107p.
6. Canonico G.C., Arthington A., Mccrary J.K., Thieme M.L. (2005) The effects of introduced tilapias on native biodiversity. *Aquatic Conservation : Marine and Freshwater Ecosystems.* , 15:463-483
7. Capo-chichi J. Y. (2006) Monographie de la commune de Ouidah.44p.
8. 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. 49p.
9. Dansou D.K. (2001) Développement et valorisation de la culture de la spiruline (*Spirulina platensis*) au Burkina Faso. Mémoire de diplôme d'études supérieures spécialisées (DESS), 74p.
10. Elyah A. (2003) Quel avenir pour la spiruline ? Mémoire bibliographique.université montpellier II.30p.
11. Falquet J., Hurni J.P. (2006) Spiruline aspect nutritionnels antenna technologie. Genève.22p.
12. FAO (2003) Rapport de positionnement sur la spiruline.
« [Http://www.fao.org/docrep/1011/i0291f00.htm](http://www.fao.org/docrep/1011/i0291f00.htm) »

13. FAO (2012) La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2012. Rome. 241p.
14. FAO (2016) Situation mondiale des pêches et de l'aquaculture
www.fao.org/docrep/013/i1820f/i1820f00.pdf
15. Fox R. (1999) La Spiruline : Technique pratique et promesse. Edisud, Aix-en-Provence. 246p.
16. Geitler L. (1932) *Cyanophyceae*. Rabenhorst's Kryptogamenflora von Deutschland, Osterreich und der Schweiz Leipzig, Akademie Verlagsges. New York : Johnson ; Reprinted 1971. p.1-1196.
17. Henrikson R. (2009) *Earth Food Spirulina*. Ronore Entreprises, Inc., Hawaii. 188 p.
18. Henson R. (1993) « Spirulina: Health food for the aquarium » Freshwater and Marine Aquarium, P70-72.
19. Heriniaina J. (2010) Les valeurs et méthodes d'étude de la spiruline : *Arthrospira platensis* (Famille d'Oscillatoriaceae). Madagascar. 45p.
20. Jourdan J.P. (1996) Sugar a source of carbon for spirulina (*Arthrospira platensis*) culture. in international symposium on cyanobactérie biotéchnology ", Bharathidasan University, Tiruchirapalli, Inde
21. Jourdan J.P., (1999) Cultivez votre spiruline. Antenna Technologie, Genève, 143 pp.
22. Jourdan J.P (2006) Manuel de cultures artisanales pour la production de spiruline. p:70-146
23. Kamian K. (2009) Efficacité comparée de la spiruline du poisson et des farines infantiles dans la réduction de la malnutrition et de l'anémie chez les enfants à Sabalibougou. Thèse de pharmacie. 141p.
24. Muhling A., Michael Y., Gabriela L. (2003) Morphological reversion of *spirulina (arthrospira platensis)* (cyanophyta): from linear to helical[†]
www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=51883
25. Vicente N. Tsarahevitra J., Charpy L., Langlade M.J. (2005) – Adaptation des souches de Spiruline du sud de Madagascar à la culture en eau de mer. Colloque International : « Les Cyanobactéries pour la Santé, la Science et le Développement », Ile des Embiez, 3-6 Mai 2004. *Mém.Inst.Océanogr.Paul Ricard* : 25-27.

26. Sironval C. (1993) « La spiruline, une arme contre la malnutrition, histoire et perspectives » Spiruline, algue de vie ; bulletin de l'Institut Océanographique de Monaco N° spécial 12 –Monaco, Musée océanographique. P203-210.
27. Vidalo J.L. (2008) La Spiruline - L'algue bleu de santé et de prévention par à l'édition du dauphin. Paris. 335p.
28. Zarrouk C. (1996) Contribution à l'étude d'une cyanophycée ; influence de divers facteurs physiques et chimiques sur la croissance et la photosynthèse de *Spirulina maxima* (setch et Gardner) Geitler. Thèse de Doctorat, Faculté des sciences de l'université de Paris.

ANNEXES : Quelques images



Spiruline fraîche



Observation au microscope



Machine à comprimer



Machine à gélule



Thermomètre



Nourrissage du bassin



Dispositif de filtrage et de récolte



Etiquetage



Conditionnement en boîte
et en sachet