



République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La
Recherche Scientifique
Université Echahid Hamma Lakhdar D'el-Oued
Faculté Des Sciences De La Nature Et De La Vie
Département De Biologie Cellulaire et Moléculaire



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique
Filière : Biologie cellulaire et moléculaire
Spécialité : Toxicologie Fondamental et appliqué

THEME

Culture et production de la spiruline *Arthrospira platensis* dans la région d'El 'Oued

Soutenue publiquement le : 23/09/2019.

Présenté par : FERHAT Wafa

LAKEHAL Sara

Devant le jury composé de :

Président : LOUAFT Hayette

MAA Université d'El-Oued

Promotrice : ZAIME Sihem

MAA Université d'El-Oued

Co-Promotrice : ABDERREZAK Kiram

MAA Université d'El-Oued

Examinatrice : BOUKHARI Dalel

MAA Université d'El-Oued

Année universitaire 2018/2019

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude, et qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

Nous tenons d'abord à remercier très chaleureusement Madame Zaim Sihem, Maître de conférences A à L'université Echahid Hamma Lakhdar D'el-Oued, et Co- promotrice Abderrazak Kiram maître de conférences à L'Université Echahid Hamma Lakhdar D'el-Oued à qui nous ont permis de bénéficier de leurs encadrements. Les conseils qu'ils nous ont prodigué, la patience, la confiance qu'ils nous ont témoignées ont été déterminants dans la réalisation de notre travail de recherche.

Monsieur SEGGAIA, Enseignant d'université Kasdi Merbah, pour leurs aides et pour leurs conseils et orientations vers le succès.

Madame Louafi Hayette Maître de conférences B au Département des Sciences biologiques à la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université Echahid Hamma Lakhdar D'el-Oued, qui nous fait l'honneur de présider ce jury.

Nous présentons nos remerciements les plus sincères à Madame Boukhari Dalel. Maître assistant A au Département des Sciences Biologiques à la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université Echahid Hamma Lakhdar D'el-Oued, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours encouragées au cours de la réalisation de ce mémoire.



Dédicace

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu « le tout Puissant » de nous avoir accordé la force et le courage afin de réaliser ce modeste travail.

À mes parents qui m'ont donné la naissance et la croyance religieuse

À ma mère Nadia qui ne cesse de m'orienter.

À mon père Abdelhamid qui m'a élevé, éduqué et ma donnée les actes les plus nobles de la vie pour grandir dans un environnement sain. Mes sœurs Soumia et Salma.

À mes frères Bilal, Mohcene, Abdelbassit et Slimane.

À tous les membres de la grande famille lakehal en particulièrement Azizi, Mohammed et Tefik.

À ma binôme et amie de travail Wafa.

*À tous mes professeurs particulièrement Mr Laiche A.T,
Mr Saadi Hamza.*

À mes chères amies Awatef, Hadii, Imane, Hadjer, Mobaraka Et Hadja Halima.

À toute ma promotion d'étude Toxicologiques.

À tous ceux qui utilisent la science pour le bonheur et la prospérité de l'humanité.

Je dédie cet humble travail.



Dédicace

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu « le tout Puissant » de nous avoir accordé la force et le courage afin de réaliser ce modeste travail.

A MON TRÈS CHER PÈRE : FERHAT Ammar

Autant de phrases et d'expressions aussi éloquentes sont-elles ne sauraient exprimer ma gratitude et ma reconnaissance. Tu as su m'inculquer le sens de la responsabilité, de l'optimisme et de la confiance en soi face aux difficultés de la vie. Tes conseils ont toujours guidé mes pas vers la réussite. Ta patience sans fin, ta compréhension et ton encouragement sont pour moi le soutien indispensable que tu as toujours su m'apporter. Je te dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je ferai toujours de mon mieux pour rester ta fierté et ne jamais te décevoir.

A MA TRÈS CHÈRE MÈRE : FERHAT Saïda

Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour toi. Tu m'as comblé avec ta tendresse et affection tout au long de mon parcours. Tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études, tu as toujours été présente à mes côtés pour me consoler quand il fallait. En ce jour mémorable, pour moi ainsi que pour toi, reçoit ce travail en signe de ma vive reconnaissance et ma profonde estime. Puisse le tout puissant te donner santé, bonheur et longue vie afin que je puisse te combler à mon tour.

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.



Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau N°01 : Analyse d'un milieu de culture typique	10
Tableau N° 02 : Les minéraux et oligo-éléments de la Spiruline.....	17
Tableau N° 03 : Teneurs en pigments exprimées en mg pour 10g de matière sèche de <i>Spirulina platensis</i>	18
Tableau N° 04 : Composition chimique du milieu de culture	24
Tableau N° 05 : Stratégie de l'ajout du milieu de culture.....	25
Tableau N° 06 : Caractéristique physicochimiques de l'eau d'étude initiale	28
Tableau N° 07 : Caractéristique microbiologique de l'eau d'étude initiale.....	28
Tableau N° 08: les paramètres physicochimiques dans la période le matin	53
Tableau N° 09: les paramètres physicochimiques dans la période l'après-midi.....	54

Liste des figures

Liste des figures

Figure N° 01: morphologie de la Spiruline: (a)- sous microscope optique (b) Micrographie électronique d' <i>Arthrospira platensis</i> (c)- Micrographie électronique d'un trichome d' <i>Arthrospira platensis</i> (d) Micrographie électronique de non axénique de <i>S. platensis</i>	4
Figure N° 02 : Cycle biologique de la Spiruline	6
Figure N° 03: Morphologies typiques de Spiruline	7
Figure N ° 04 : Représentation disque de Secchi	14
Figure N° 05 : Evolution de la température du milieu de culture de la Spiruline durant les mois mai et juin.....	29
Figure N° 06 : Evolution du pH dans le milieu de culture de Spiruline.....	30
Figure N° 07 : Evolution de la conductivité électrique (CE) dans le milieu de culture de Spiruline	31
Figure N° 08 : Evolution de la salinité de milieu de culture de la Spiruline.....	32
Figure N° 09 : Evolution de la biomasse en g par l dans le milieu de culture.....	34

Liste des photos

Liste des photos

Photo N° 01 : La souche de spiruline <i>Arthrospira platensis</i>	21
Photo N° 02 : Dispositif expérimentale	23
Photo N° 03 : L'ensemencement.....	25
Photo N° 04 : Agitation	26
Photo N° 05 : Filtration (c) et séchage (d).....	27
Photo N° 06 : Observation microscopique de la Spiruline	33

Liste d'abréviation

Liste d'abréviation

ADE : L'institut Algérienne Des Eaux unité El Oued.

ARDA: Amplified Ribosomal DNA Restriction Analysis.

CE: conductivité électrique.

DO: Densité optique

FAO: Food and Agriculture Organisation.

VIH: virus de l'immunodéficience humaine

Sommaire

Synthèse bibliographique

Introduction	1
--------------------	---

Chapitre I : Généralité sur la spiruline

1 Historique	3
2 Biotope.....	3
2.1 Etude biologique.....	3
2.1.1 Définition.....	3
2.1.2 Taxonomie.....	5
2.1.3 Reproduction.....	5
2.1.4 Les souches de l'arthrospira platensis.....	6
2.2 Étude écologique	7
2.3 Distribution géographique	8
3 Culture de la spiruline	8
3.1 Condition de culture	9
3.1.1 Température.....	9
3.1.2 La lumière.....	9
3.1.3 Le pH.....	9
3.2 Milieu de culture.....	10
3.2.1 L'eau.....	10
3.2.2 Les éléments nutritif.....	11
3.2.3 les différents modes de production de spiruline.....	11
3.2.3.1 Cultures artisanales	11
3.2.3.2 Cultures industrielle	12
4 La construction des bassins de culture	12
4.1 La couverture du bassin de culture	13

Sommaire

4.2 Nombre et surface des bassins	13
5 Techniques de culture.....	13
5.1 Ensemencement.....	13
5.1.1 Choix de la souche	13
5.1.2 Mesure de la concentration d'une culture de spiruline	14
5.2 Agitation.....	14
5.3 Ombrage.....	15
5.4 Récolte.....	15
5.5 Séchage.....	15

Chapitre II. Valorisation de la spiruline

1 Aspect nutritionnel.....	16
1.1 Protéines	16
1.2 Glucides	16
1.3 Lipides	16
1.4 Vitamines	17
1.5 Minéraux et Oligoéléments	17
1.6 Pigments	18
2 Intérêt et utilisation.....	18
2.1 Intérêt	18
2.2 Utilisation	19

Sommaire

3 Toxicité.....	20
-----------------	----

Partie expérimentale

Chapitre III : Matériels et Méthodes

1 Matériel d'étude	21
1.1 Matériel biologique	21
1.2 Matériel de culture	21
3.3 Matériel de laboratoire	22
2 Qualité de l'eau utilisée	22
3 Méthodes d'étude	22
3.1 Dispositif expérimental	22
3.2 Préparations des milieux de culture	23
3.2.1 Milieu de culture (Enrichissement)	23
3.2.2 Ensemencement	24
3.3 Condition de culture	25
3.3.1 Agitation	26
3.3.2 Éclairement	26
3.3.3 Température	26
3.4 Évolution du développement algal	26
3.4.1 Étude de l'évolution des paramètres physico-chimiques	26
3.4.2 Étude de caractérisation de la spiruline	27
5.5 Récolte	27

Chapitre V : Résultats et discussions

1 Etudes de l'eau d'études	28
----------------------------------	----

Sommaire

1.1 Caractéristique de l'eau utilisées	28
1.2 Evaluation des paramètres physico-chimiques.....	29
1.2.1 Température	29
1.2.2 PH	29
1.2.3 Conductivité électrique (CE)	30
1.2.4 salinité.....	31
2 Étude des caractéristiques de la spiruline	32
2.1 Etude Morphologique et changement de couleur	32
2.2 Evolution des paramètres biométriques	33
2.2.1 Evolution de la biomasse	33
3 Récolte	34
4 Discussion des résultats	35
4.1 Étude des caractéristiques de eaux utilisée	35
4.2 Ph	35
4.3 Température	36
4.4 Conductivité et salinité	36
4.5 Etude morphologique et changement des couleurs	36
Conclusion.....	38
Références bibliographiques.....	40
Annexe.....	48

Introduction

Introduction

On connaît actuellement environ 25 000 espèces d'algues sur la planète Terre. Parmi elles, on peut distinguer une algue bleue microscopique, apparue avec les premiers êtres vivants il y a environ 3,5 milliards d'années et considérée comme l'aliment naturel le plus complet de notre planète, il s'agit de la *Cyanobactérie Arthrospira Platensis*, plus connue sous le nom de Spiruline (**Cruchot, 2008**).

Cette micro-algue est considérée comme une ressource alimentaire non conventionnelle pouvant contenir jusqu'à 70% de protéines ; elle riche en sels minéraux ; en oligo-éléments et en nombreuses vitamines (B1, B2, B12, E) (**sall et al, 1999**).

La Spiruline a été largement étudiée et son usage maintenant est répandu dans le monde entier comme un produit alimentaire et comme un complément alimentaire (**Fox, 1996; Paleaz, 2006**), qui a attiré l'attention des chercheurs depuis de nombreuses années, comme indique les centaines de publications dans ses divers aspects. Leur potentiel bénéfique a été expérimentalement prouvé in vitro et in vivo pour traiter certaines pathologies et dans la prévention de l'hypercholestérolémie, certaines maladies inflammatoires, les allergies, le cancer, la toxicité induite par le médicament, les infections virales, les maladies cardiovasculaires, le diabète certaines pathologie (**Khan et al., 2005; Karkos et al., 2008; Kulshreshtha et al., 2008**)

La Spiruline fait l'objet d'un développement de cultures dans les régions où elle vit naturellement ; en Afrique, Asie et Amérique mais également dans des fermes spécialement conçues pour sa production à l'échelle industrielle. En Europe elle est produite sous serres ou en photo bioréacteurs (**Jourdan, 1999**).

En Algérie, Entre les 18 et 25 Avril 2004, le premier mini-colloque sur la Spiruline a été à Tamanrasset, des scientifiques et chercheurs ayant une expérience de la culture et des utilisations de la Spiruline sont venus de France sur invitation de **Kadda Hiri**, afin d'informer les représentants des administrations locales, des services de la santé, de l'agriculture et de l'enseignement sur l'intérêt du développement de l'algoculture dans la

Introduction

région, et pour s'étendre dans toute l'Algérie (**Hiri, 2004**). La principale "matière première" de la Spiruline

est la lumière solaire, et la base du milieu de culture est le natron. Les régions à climat désertique sont riches en natron, ce qui est le cas du Sahara, sont donc a priori bien placées pour cultiver la spiruline (**Fox, 2004**). Et aussi il ya un autre exploitant de cette espèce et qui maîtrise parfaitement les techniques de sa culture et de sa production est le **Mr. SAGGAI** à Ouargla.

Cette étude a pour objectif d'étudier :

La croissance et la production de la Spiruline à partir du démarrage de la culture conduite de culture et les caractéristiques (physicochimiques pH, CE, T°C).

Notre mémoire est divisé en 3 partie **le première** est une étude bibliographique pour amélioration l'information et la connaissance scientifique sur la production de la Spiruline et **le deuxième** partie traite du matériel expérimental dans la culture de la Spiruline et la méthodologie de travail dans laboratoire. Aussi, nous avons présentés dans **la troisième** partie les résultats obtenus et leurs discussions.

Chapitre I : Généralité sur la Spiruline

1 Historique

La Spiruline est considérée, par les biologistes, comme l'un des premiers "végétaux" apparus sur terre, il y a environ 3,5 milliards d'années (**Panigua-Michel J, Dujardin E, Sironval C**).

-En 1492, Christophe Colomb la découvre **au Mexique**, sous forme de petites galettes vertes séchées et le note dans son carnet de bord. Il mentionne ce qu'il croit être une algue, sous le vocable « potion magique » (**Fox D. et R.**). La Spiruline constituait alors la nourriture principale des Aztèques au Mexique, jusqu'à la conquête espagnole au XVI^e siècle ; ils la récoltaient sous le nom de "tecuitlatl", autour du lac de Texcoco (**Fox D. et R.**).

-Retrouvée **au Tchad** en 1940, c'est surtout à partir de 1946 qu'intrigués par les pratiques anciennes à la recherche de ressources alimentaires à bon marché, des scientifiques ont redécouvert la Spiruline et ses propriétés remarquables (**Jourdan, 1999**).

-Depuis les années 80, la Spiruline a fait l'objet de plusieurs dizaines d'études scientifiques, par des chercheurs du monde entier, et nous sommes encore loin de connaître tous les effets bénéfiques d'une consommation quotidienne de Spiruline (**Girardin-Andréani, 2011**).

2 Biotope de la Spiruline

2.1 Étude biologique

2.1.1 Définition

La Spiruline, est une cyanobactérie traditionnellement consommée depuis des siècles par certaines populations (**Farrar, 1966**), et de nos jours encore au Tchad (**Léonard, 1966; Delpeuch, 1975; Sorto, 2003**) est l'objet d'une redécouverte depuis quelques années. Autrefois classée parmi les algues bleu-vertes", elle n'est pas à proprement parler des algues, même si par commodité on continue à les désigner comme telles. (**Jean Paul, 2011**).

La Spiruline se présente sous la forme d'un filament pluricellulaire bleu-vert, mobile, non ramifié et enroulé en spirale. Ce filament est appelé trichome ; sa forme hélicoïdale,

observable uniquement en milieu liquide, est caractéristique du genre. C'est d'ailleurs de là que la Spiruline tient son nom. Par ailleurs, contrairement à certaines autres cyanobactéries (*Anabaena*, *Nostoc*), la spiruline ne possède pas les cellules spécialisées permettant la fixation de l'azote de l'air (hétérocystes). La longueur moyenne du filament est de 250 μm lorsqu'il a 7 spires et son diamètre est d'environ 10 μm à 12 μm . Mais les paramètres de l'hélice (épaisseur, longueur) ne sont pas toujours les mêmes selon les chercheurs qui étudient la Spiruline. **(Cruchot H, 2008).**

En effet, elle est classée parmi les « algues bleu-vert », ce pour plusieurs raisons **(Cruchot, 2008) :**

- ☐ Son habitat aquatique;
- ☐ La présence d'un système photosynthétique producteur d'oxygène;
- ☐ Son aptitude à développer des biomasses importantes;
- ☐ Sa morphologie proche de celle des algues;
- ☐ Sa couleur liée à sa teneur en pigments bleu (phycocyanine) et vert (chlorophylle).

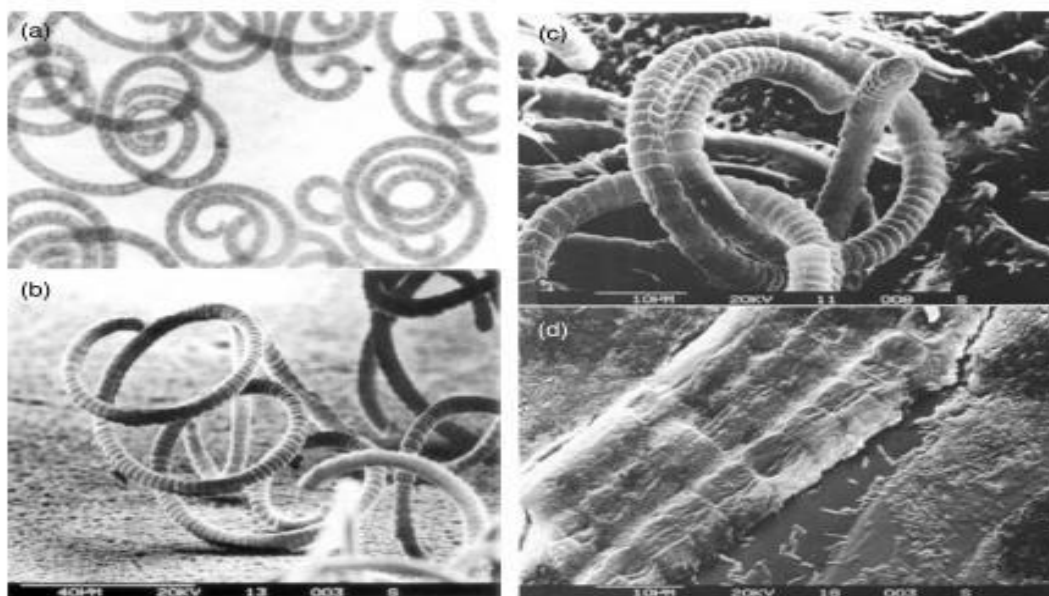


Figure N° 01: morphologie de la spiruline: (a)- sous microscope optique (b) Micrographie électronique d'*Arthrospira platensis* (c)- Micrographie électronique d'un trichome d'*Arthrospira platensis* (d) Micrographie électronique de non axénique de *S. platensis* **(Ciferri, 1983)**

2.1.2 Taxonomie

La Spiruline était à l'origine considérée comme une algue. Cependant, en 1960 une claire distinction entre procaryote et eucaryote a été définie, basée sur la différence d'organisation cellulaire : les procaryotes regroupent les organismes dépourvus de compartiment cellulaire tandis que les eucaryotes regroupent ceux qui possèdent des organelles c'est à dire des nucléoles et des mitochondries (**Durand-Chastel, 1993**). En 1962, Stanier et al (**Stanier, 1974 ; Stanier et Van Niel C. B., 1962**) constataient que cette algue bleue verte était dépourvue de compartiments cellulaires, et donc faisait partie des procaryotes ; ils proposaient de désigner ce microorganisme « Cyanobactérie » ; ils proposaient de désigner ce microorganisme « Cyanobactérie ». On la classe selon **Ripley Fox (1999)** dans:

Règne Monera

Sous règne Prokaryota **Phylum** Cyanobacteria

Classe Cyanophyceae

Ordre Nostocales

Famille Oscillatoriceae

Genre *Arthrospira*

Espèce *Arthrospira platensis*

2.1.3 Reproduction

Son mode de reproduction est la bipartition par scission simple. C'est une reproduction asexuée, par segmentation des filaments; (**König, 2007**).

Le filament de Spiruline à maturité forme des cellules spéciales appelées Nécriides. Elles se différencient des autres cellules par leur aspect biconcave et sont assimilées à des disques de séparation. A partir de ces derniers, le trichome se fragmente pour donner de nouveaux filaments de 2 à 4 cellules appelés Hormogonies. Les Hormogonies vont croître en longueur par division binaire (chacune des cellules va donner deux cellules par scissiparité) et prendre la forme typique hélicoïdale (**Balloni et al. 1980 in Charpy, 2008**) Sa vitesse de multiplication est particulièrement rapide dès que la température dépasse 30°C à l'ombre ; lorsque ces conditions sont réunies et que le milieu est favorable, le temps de régénération est très court (7 heures). (**Zarrouk, 1966 in Jourdan, 2006**)

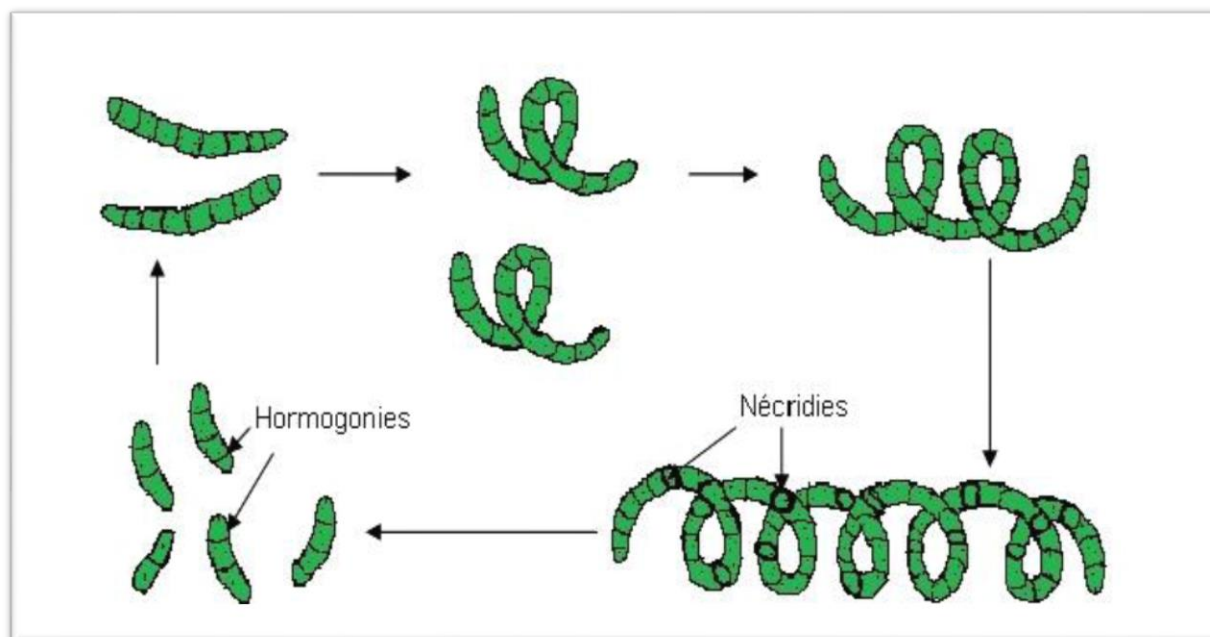


Figure N° 02 : Cycle biologique de la Spiruline selon (Balloni *et al.* 1980 in Charpy, 2008)

2.1.4 Souches de *l'Arthrospira platensis*

C'est la plus connue et la plus utilisée lors des travaux de recherche ou lors de l'ensemencement de nouvelles cultures. Elle se compose de trichomes atteignant 350µm de long et entre 6 et 12,45µm de diamètre ; ils sont un peu rétrécis au niveau des articulations. Les tours de spire ont un diamètre de 20 à 50µm, diminuant légèrement vers les extrémités (Fox d. Et r 1999). On trouve cependant des Spirulines ondulées et parfois droites.

L'analyse des caractéristiques génétiques de l'espèce *Arthrospira platensis* effectuées par Scheldeman et al en 1999, basées sur l'ARDA (Amplified Ribosomal DNA Restriction Analysis) montre une grande plasticité morphologique (Tableau 2). Sachant que certaines souches initialement spiralées peuvent devenir ondulées ou droites (Cruchot, 2008), ceci est peut-être dû aux facteurs physicochimiques exogènes tels que la température, ou d'autres facteurs probablement liés aux changements génétiques (Belay, 2007).

En ce qui concerne les différentes souches (ou variétés) d'*Arthrospira platensis*, on distingue les souches "spiralées", "ondulées", et "droites" (Figure N° 03):

- Les souches "**spiralées**" : désigne les souches dont les filaments ont la forme d'une queue de cochon, telle la "Lonar" (Inde)
- Les souches "**ondulées**" : le terme "ondulées" désigne les souches dont les filaments sont en spirale étirée, telle la "Paracas" (Pérou)
- Les souches "**droites**" : le terme "droites" désigne les souches dont les filaments sont tellement étirés qu'ils donnent l'impression d'être presque rectilignes.

Quelque soit la forme de l'*arthrospira platensis*, cela ne change en rien sa composition. Le changement de forme est lié à son adaptabilité dimensionnelle se rapportant au milieu de culture. (Callara, 2008).

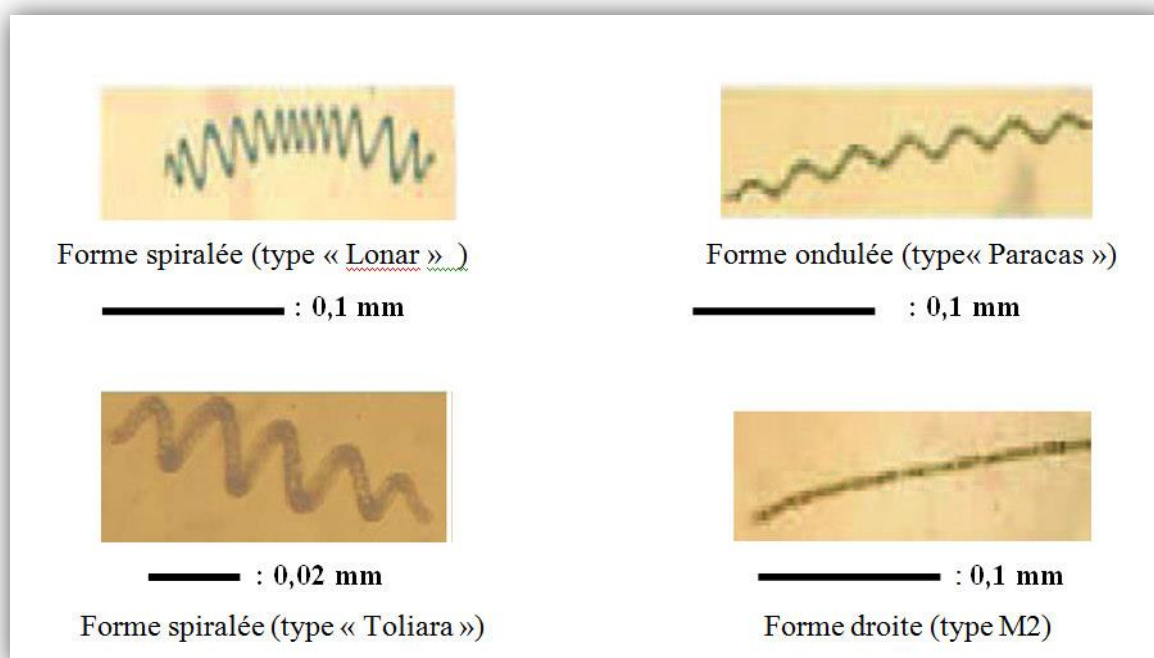


Figure N° 03: Morphologies typiques de Spiruline (Source : **Antenna Technologie**).

2.2 Étude écologique

Ce qui distingue le genre *Arthrospira* des autres cyanobactéries, c'est le milieu naturel où elles vivent. En effet, la Spiruline est un organisme ubiquiste et est thermophile, elle a été trouvée dans des milieux ayant une concentration de 8,5 à 270 grammes de sel par litre (Ilits, 1968). Elle croit naturellement dans les lacs alcalins contenant du carbonate de sodium (Na_2CO_3) ou du bicarbonate de sodium (NaHCO_3), d'autres minéraux et une source d'azote fixée.

Ces conditions environnementales très contraignantes excluent la plupart des autres êtres vivants. De plus, le développement des Spirulines dans ces milieux contribue encore à renforcer l'effet d'exclusion, par trois phénomènes **(Fox R.D, 1986) (Sasson A., 1998)**:

- en consommant les carbonates et bicarbonates de son milieu, la Spiruline tend à augmenter l'alcalinité de celui-ci ;
- ses filaments pigmentés et flottants forment un écran qui prive de lumière solaire les rares algues qui pourraient s'accommoder du milieu de culture (exemple de la chlorelle, micro algue comestible pouvant proliférer dans des cultures de spirulines trop peu concentrées) ;
- en sécrétant des molécules qui s'avèrent actives contre une vaste gamme de bactéries.

2.3 Distribution géographique

A l'état naturel, la Spiruline est donc retrouvée dans des lacs de la ceinture intertropicale du globe terrestre, dont les eaux sont riches en carbonate de sodium (Na_2CO_3), bicarbonate de sodium (NaHCO_3), divers minéraux et une source d'azote fixé. Ces lacs sont situés approximativement entre 35° de latitude Nord et 35° de latitude Sud ; ils sont peu profonds et agités par des vents légers.

En dehors des sites cités dans **(l'annexe N° 01)**, d'autres endroits sont possibles, notamment partout où vivent le flamant nain (Afrique et Asie) et le flamant de James, *Phoenicoparrus jamesi* (Amérique du sud).

3 Culture de la Spiruline

Arthrospira (Spirulina platensis) est une micro algue largement cultivée dans le monde. la production mondiale de cette première a augmenté depuis 1995 de plus de 4000T/an **(Statistique Cuba,2000)**.

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

L'Algérie a développé la culture artificielle de Spiruline au sud algérien précisément la région de Tamanrasset. Cependant, la Spiruline produite localement ne couvre pas les besoins des consommateurs.

3.1 Condition de culture

Il existe trois facteurs essentiels déterminants pour la culture de la Spiruline La température, la lumière et le pH.

3.1.1 Température

La Spiruline pousse idéalement lorsque la température du milieu de culture est de 37°C. Des températures supérieures à 40°C ne lui conviennent pas, et, elle meurt lorsqu'elle est exposée à 43°C. Par ailleurs, à 20°C, sa croissance est pratiquement nulle (**Fox, 1999**).

3.1.2 Lumière

Comme en diminuant l'éclairement, on diminue aussi la photosynthèse totale, il faut, si possible, éviter la photolyse. Autrement dit deux conditions sont nécessaires pour la croissance de la Spiruline:

- * Ensemencer le bassin avec assez d'algues pour que la lumière ne puisse pas atteindre le fond du bassin. La vérification peut se faire avec un simple disque de Secchi.

- * Agiter suffisamment la culture pour que les filaments individuels ne restent pas plus d'une demi-minute à la surface en plein soleil, mais plongent et remontent fréquemment. Les « roues à aubes » constituent les systèmes d'agitation les plus utilisés; le but est de remuer l'eau et non de créer un dénivellement comme on le croit généralement (**Fox, 1999**).

3.1.3 PH

La culture de la Spiruline le pH sera entre 8.5 et 10.5 (**Jordan, 1999**), naturellement, la Spiruline a tendance à alcaliniser le milieu. En effet le CO₂ dissous dans l'eau, une fois mobilisé par la Spiruline, libèrent des ions carbonates (CO₃²⁻) qui en s'hydrolysant vont libérer des ions OH⁻ (**Danesiet al, 2004**).

D'autres facteurs moins importants seront aussi à prendre en compte comme le **Salinité** et l'agitation **du milieu**.

3.2 Milieu de culture

Il s'agit d'une reproduction artificielle du milieu dans lequel la Spiruline croît naturellement. C'est donc une solution natronée et alcaline constituée d'un mélange d'eau et de sels minéraux, qui apporte à la Spiruline tous les éléments chimiques qui lui sont nécessaires (**Jourdan, 2014**) : azote (N), phosphore (P), potassium (K). Le tableau N°01 donne la composition chimique d'un milieu de culture typique (**Fox, 1999**).

Tableau N°01 : Analyse d'un milieu de culture typique (Fox,1999)

Eléments	Concentration en mg /l
Bicarbonate	2800
Phosphate	614
Sulfate	25
Chlore	350
Sodium	3030
Potassium	4380
Magnésium	642
Calcium	10
Ammonium	5
Ammoniac	5
Fer	1

3.2.1 L'eau

Les Spirulines vivent dans une eau à la fois salée et alcaline. L'eau utilisée pour le milieu de culture doit être de préférence potable (mais ne sentant pas fortement le chlore) ou au moins filtrée (sur bougie filtrante ou sable), le plus important étant l'élimination des algues étrangères. L'eau de pluie, de source ou de forage est en général de qualité convenable. Si l'eau est dure, il se produira des boues minérales (plus ou moins abondantes

selon la teneur en calcium, magnésium et fer), qui décantent rapidement et ne sont pas particulièrement gênantes pour la culture, à condition toutefois que l'ensemencement initial en spirulines soit assez concentré. (**Jordan, 1999**).

3.2.2 Les éléments nutritif

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

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

3.2.3 Les différents modes de production de Spiruline

La Spiruline est produite dans plusieurs Pays des quatre continents que sont l'Afrique, l'Asie, les Amériques et l'Europe. Les modes et moyens de production varient d'un Pays à l'autre selon les paramètres climatiques mais aussi les moyens, ce qui explique la diversité dans les dimensions des moyens mis en œuvres pour la réalisation des fermes et bassins de production. En fonction de la surface totale d'exploitation des bassins et des moyens technologiques utilisés, on distingue **la culture artisanale** et **la culture industrielle**. (**Jourdan, 2006**).

3.2.3.1 Cultures artisanales

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

3.2.3.2 Cultures industrielle

La culture est alors réalisée dans des bassins de formes diverses, de grande surface (plusieurs hectares) agités mécaniquement. La Spiruline est séchée par atomisation. L'investissement est élevé mais les productions peuvent atteindre des centaines de tonnes. (Jourdan ,2006).

4. La construction des bassins de culture

Pour une production familiale ou artisanale on peut se contenter de bassins de petite taille, sans agitation à roue à aube, sans chicane médiane. Il y a alors de nombreuses façons de construire un bassin adéquat, variables selon les conditions locales.

(Jourdan ,2006).

❖ En bâches plastique

D'Une épaisseur de film de 0,25 mm minimum, et de préférence 0,5 mm, est recommandée. Le film de qualité alimentaire (ou au moins non toxique), et résistant aux ultraviolets éviter le plus possible les plis dans les angles donnant des zones qui ne seraient pas bien agitées ou aérées. (Jourdan ,2006).

❖ En « dur » (béton, parpaings, briques)

Le fond d'un bassin en ciment doit être construit sous forme d'une dalle en béton armé de 10 cm d'épaisseur minimum, de très bonne qualité, sur terrain bien compacté.

Les bords du bassin peuvent être en briques, en parpaings ou en béton armé. Eviter les angles vifs. (Jourdan ,2006).

❖ En argile (si on n'a vraiment pas d'autre possibilité)

Creuser sur 20 cm et faire un talus bien tassé de 20 cm également. Si le terrain n'est pas naturellement argileux, garnir la surface d'une couche d'argile humide de bonne qualité, de 3 à 5 cm d'épaisseur, bien tassée pour éviter les fissures. Garnir les rebords de tuiles ou briques cuites, ou de plastique pour éviter les fissurations lors des baisses de niveau. La spiruline pousse très bien dans un bassin en argile, mais sa pureté bactériologique doit être surveillée de plus près (risques accrus de présence de microorganismes anaérobies au fond car on ne peut pas agiter le fond). (Jourdan ,2006).

4.1 La couverture du bassin de culture

Il est en fait souvent utile, voire nécessaire, d'installer une serre ou au moins un toit sur le bassin, permettant de le protéger contre les excès de pluie, de soleil ou de froid, et contre les chutes de feuilles, fientes d'oiseaux, vents de sable et débris divers, tout en lui permettant de « respirer ». Le toit peut être en toile de tente blanche ou en tissu polyamide enduit PVC blanc laissant passer une partie de la lumière mais capable d'arrêter suffisamment la pluie. Il peut être aussi en bâche plastique. Dans le cas où il est opaque, il se met à une hauteur suffisant pour que le bassin reçoive assez la lumière par les bords. (Jourdan ,2006).

4.2 Nombre et surface des bassins

Mieux vaut construire deux ou plusieurs petits bassins qu'un seul grand : ainsi on pourra en vider un (pour le nettoyer ou le réparer par exemple) sans perdre son contenu, et si une des cultures se contamine, n'est pas en bonne santé ou meurt, un autre bassin permettra de continuer et de réensemencer. (Jourdan ,2006).

Les bassins étroits sont plus faciles à agiter et à couvrir. Pour une production artisanale la surface totale des bassins ne dépassera guère 50 à 100m², mais un niveau semi artisanal est envisageable, pouvant dépasser 1000m³. (Jourdan ,2006).

5 Technique de culture

5.1 Ensemencement

5.1.1 Choix de la souche

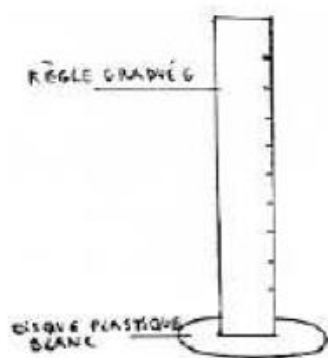
Il existe des Spirulines de "races" (souches) différentes, bien qu'elles aient toutes des caractères communs qui les distinguent des autres algues. On reconnaît très vite au microscope ou même à la loupe de fort grossissement (25 fois) si les Spirulines sont spiralées ou droites mais il est moins facile de dire de quelle souche, car les Spirulines ont une forte tendance à changer de taille et de forme (spiralée plus ou moins serrée, ondulée ou droite). Un trop fort pourcentage de droites conduit à des difficultés de récolte. Donc, il faut prendre de préférence une semence 100 % spiralée, de grande taille, d'un beau vert tirant vers le bleu-vert, filtrant facilement.

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

5.1.2 Mesure de la concentration d'une culture de Spiruline

La concentration d'une culture peut être évaluée par l'intensité de sa couleur.

On utilise pour cela un " *disque de Secchi* " : il s'agit d'une règle graduée à l'extrémité de laquelle se trouve fixé (perpendiculairement) un petit disque blanc. On plonge cet instrument dans la culture, jusqu'au point où le disque cesse d'être visible. La profondeur du disque est alors lue sur la règle graduée. Une culture est diluée si le disque de Secchi reste visible au-delà de 5-6 cm de profondeur; une valeur de 2-3 cm correspond à une culture prête à la production. Des valeurs inférieures à 2 cm indiquent qu'il est nécessaire de diluer la culture, ou de récolter fortement (Flaquet.1996).



Le disque de Secchi est un instrument constitué d'une baguette mesurant 30 cm de long, graduée en centimètres. A son extrémité est fixé un disque blanc de diamètre compris entre 30 et 40 mm.

Figure N ° 04 : Représentation disque de Secchi

5.2 Agitation

Elle est nécessaire pour assurer une bonne culture, au moins (2-4) fois par jour, qui augmente avec l'intensité de la lumière, cela permet d'assurer :

- L'homogénéisation de la culture
- Répartition de l'éclairage
- Évité la formation des boues minéraux et aussi l'agglomération des filaments de la Spiruline.

Le mode d'agitation peut être : manuelle avec un balai ou électrique avec une pompe ou une roue à aubes, l'agitation peut être continue si on utilise une pompe avec sans danger sur

la Spiruline. L'agitation nocturne continue favorise nettement l'autoépuration de milieu. (Jordan, 1999).

5.3 Ombrage

L'ombrage est nécessaire quand la température de la culture est très basse, inférieure de 10 C° avec une forte intensité lumineuse pour éviter la destruction de la Spiruline par la photolyse, ainsi une culture sous ombrage est plus facile à récolter et la qualité de la Spiruline est améliorée (Jordan, 1999).

5.4 Récolte

On récolte de manière à maintenir la concentration en Spirulines au niveau, entre 0,4 et 0,6 g/l. En l'absence de récoltes, avec suffisamment de nutriments, la concentration en Spiruline croît jusqu'à l'équilibre entre photosynthèse et respiration, Il n'est pas bon pour la culture de rester longtemps sans être récoltée, à très haute concentration : cela peut même être une cause de mortalité pour elle (Jordan, 1999).

5.5 Séchage

Le séchage est le seul moyen sûr de conserver et de distribuer la Spiruline sans chaîne de froid. On peut sécher à l'ombre simplement dans un courant d'air à température ambiante, sous moustiquaire (il suffit que l'air soit à température nettement supérieure à son point de rosée).

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

Chapitre II. Valorisation de la Spiruline

1 Aspect nutritionnel

La Spiruline est utilisée, en alimentation humaine, compte tenu de ses teneurs en protéines, vitamines, minéraux et acides gras non saturés. C'est l'ensemble de tous se nombreux facteurs nutritifs qui en fait un aliment si précieux. La composition chimique des Spirulines est variable selon les conditions de culture. Les caractéristiques les plus intéressantes restent toujours présentes (**Clement G, 1975**).

1.1 Protéines

Les protéines représentent entre 50 et 70% du poids sec, ces valeurs sont tout à fait exceptionnelles, même parmi les micro-organismes. D'un point de vue qualitatif, ces protéines sont complètes, car tous les acides aminés essentiels figurent, ils représentent 47% du poids total des protéines (**Bujard Et Al., 1996**). Parmi ces acides aminés essentiels, les plus faiblement représentés sont les acides aminés soufrés (méthionine et cystéine) (**Aychunie Et Al., 1996 ; Clement Et Al., 1967 ; Bujard Et Al., 1996**).

1.2 Glucides

Les glucides constituent globalement 15 à 25% de la matière sèche des Spirulines. L'essentiel des glucides assimilables est constitué de polymères tels que des glucosannes aminés (1.9% du poids sec) et des rhamnosannes aminés (9.7%) ou encore de glycogène (0.5%). Les glucides simples ne sont présents qu'en très faibles quantités (glucose, fructose et saccharose), on trouve aussi des polyols comme le glycérol, le mannitol et le sorbitol. (**Ciferri, 1983; Flaquet, 2006**).

1.3 Lipides

La composition en lipides totaux se caractérise par un bon équilibre entre acides gras saturés et acides gras polyinsaturés. La composition des principaux acides gras révèle la présence d'une forte concentration en acides gras essentiels, incluant des oméga-3 et des oméga-6 qui préviendraient l'accumulation de cholestérol dans l'organisme (**Hug Et Von Der Wied, 2011**).

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

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

1.4 Vitamines

La Spiruline est une algue vitaminée, elle est la deuxième source de vitamine B1 derrière la levure de bière. Elle contient aussi une concentration relativement élevée de provitamine A, vitamine B 12 et β -carotène (Belay, 1997, Sall Et Al, 1999, Cruchot, 2008).

1.5 Minéraux et Oligoéléments

Les macroéléments ou minéraux se différencient des oligoéléments entre autres par les quantités quotidiennes que nous devons apporter à notre organisme.

Les oligoéléments ou éléments traces présents dans la spiruline sont le fer, le zinc, le cuivre, le sélénium, l'iode, le fluor, le chrome, le calcium et magnésium, les autres éléments, en quantité plus significative, sont considérés comme des minéraux (Avino P., Carconi P.L., Lepore L., Moauro A, 2000)

Tableau N° 02 : Les minéraux et oligo-éléments de la Spiruline. (Falquet,1996).

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

Cuivre	8 –10	1.5 –3
Chrome	2,8	0,5 –2
Manganèse	25 –37	5
Sodium	4500	500
Potassium	6400 -15400	3500
Sélénium	0.01 - 50*	0.05

1.6 Pigments

La Spiruline, cette algue qu'on dit bleue mais que nous voyons verte et qui donne aux plumes des flamants leur couleur rose, contient toutes sortes de pigments. Elle contient des chlorophylles dont la chlorophylle *a* (typique des végétaux), des caroténoïdes dont le principal est le β -carotène et des phycobiliprotéines telles la phycocyanine et la phycoérythrine. **(Pierlovisi 2007)**. Les teneurs en pigments de *Spirulina platensis* apparaissent dans le tableau ci-dessous **(Tableau N° 03)**.

Tableau N° 03 : Teneurs en pigments exprimées en mg pour 10g de matière sèche de *Spirulina platensis* (Pierlovisi 2007).

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

2 Intérêt et utilisation

2.1 Intérêt

La cyanobactérie Spiruline a été commercialisée et étudiée en raison de son propriété nutritionnelle et thérapeutique pour le traitement de certaines maladies telles que le cancer

(Mathew *Et Al.*, 1995; Zhang *Et Al.*, 2001; Guan And Guo, 2002), les allergies (Kim *Et Al.*, 1998; Mao *Et Al.*, 2005), anémies (Hayakawa, 1996; Simpure *Et Al.*, 2005), hépatotoxicités (Vadiraja *Et Al.*, 1998; Gorban *Et Al.*, 2000), maladies virales (Ayehunie *Et Al.*, 1998; Lee *Et Al.*, 2001; Hernandez-Corona *Et Al.*, 2002), cardiovasculaires (Paredes-Carbajal *Et Al.*, 1997; Samuels *Et Al.*, 2002; Park *Et Al.*, 2008), diabète (Rodriguez-Hernandez *Et Al.*, 2001; Huang *Et Al.*, 2005), immunodéficience (Mao *Et Al.*, 2000, Lobner *Et Al.*, 2008), et inflammations (Remirez *Et Al.*, 2002; Shih *Et Al.*, 2009).

La consommation de la Spiruline pourrait jouer un rôle dans la prévention de la transmission mère-enfant du VIH, grâce à la provitamine A (qui contrairement à la vitamine A, n'est pas toxique pour le fœtus en cas des surdosages). Ainsi, il a été démontré que cette transmission dépend de la déficience en vitamine A chez la mère ; plus la femme enceinte séropositive est carencée en vitamine A, plus que l'enfant serait probablement porteur du VIH (Flaquet.1996).

2.2 Utilisation

Aujourd'hui, la Spiruline a été commercialisée et consommée comme aliment humain et a été approuvé comme aliment pour la consommation humaine par de nombreux gouvernements, organisations de santé et les associations de ces pays: Argentine, Australie, Autriche, Bahreïn, Bahamas, Bangladesh, Bélarus, Belgique, Brésil, Bulgarie, Canada, Tchad, Chili, Chine, Colombie, Costa Rica, Croatie, République tchèque, Danemark, Égypte, Équateur, Éthiopie, Finlande, France, Allemagne, Grèce, Guam, les États du Golfe Haïti, Hongrie, Inde, Islande, Indonésie, Irlande, Israël, Italie, Jamaïque, Japon, Kenya, Corée, Koweït, Liechtenstein, Luxembourg, Macédoine, Malaisie, Mexique, Myanmar,

Monaco, Pays-Bas, Nouvelle-Zélande, Nigéria, Norvège, Pérou, Philippines, Pologne, Portugal, Roumanie, la Russie, l'Arabie saoudite, Serbie, Singapour, Slovénie, Afrique du Sud, Espagne, Suède, Suisse, Taiwan, Thaïlande, Togo, Turquie, Ukraine, Royaume-Uni, États-Unis, Venezuela, Vietnam, Zaïre, Zimbabwe. (Becker Et Venkataraman, 1984; Vonshak, 2002; Koru 2009, Henrikson, 2010). La Spiruline est utilisée (Charpy, 2008):

- Pour la santé, une alimentation équilibrée, et pour renforcer le système immunitaire

- Dans l'agroalimentaire, comme colorant naturel dans les chewing gums, sorbets, sucreries, produits laitiers, boissons non alcoolisées comme la menthe.
- En cosmétique dans les masques cryogéniques et crèmes anti-âge, par son action sur le renouvellement cellulaire et la tonicité des tissus.
- A usage animal, complément nutritionnel en aquariophilie, en aquaculture pour favoriser la croissance et la fertilité, et augmenter les performances des animaux.

3 Toxicologie

La Spiruline n'est pas toxique car elle n'a pas les gènes qui assurent la synthèse des toxines de cyanobactéries. Par contre, de nombreuses autres cyanobactéries sont toxiques mais le milieu très alcalin dans lequel pousse la Spiruline, Le haut pH et de l'alcalinité du milieu de culture inhibe la croissance d'organismes potentiellement contaminants, et ne leur permet pas de se développer ce qui entraîne une monoculture virtuelle de *Arthrospira platensis*, ainsi qu'aucun cas avéré d'intoxication par la Spiruline n'a été rapporté (**Charpy, 2008; Belay, 2007**).

La Spiruline accumule des métaux lourds mais en quantité en dessous des seuils de toxicité donnés par la FAO (**Falquet & Hurni 2006**). Cependant les mêmes auteurs recommandent contrôles de teneurs en métaux lourds pour la Spiruline destinée à l'alimentation humaine.

Le pH élevé du milieu de culture empêche la prolifération d'autres espèces et de bactéries pathogènes.

Dans un récent ouvrage, (**Chamorro et al. 2007**) rapportent que les évaluations de toxicité sur des animaux nourris à court et long terme avec de fortes doses de Spiruline n'ont pas révélé de toxicité. Ils considèrent qu'il faut cependant être prudent avant d'extrapoler le modèle animal à l'homme.

Partie II : Matériels et Méthodes

1 Matériel d'étude

1.1 Matériel biologique

La souche de la Spiruline utilisée dans notre travail est *Arthrospira platensis* type M2 est remise par Monsieur SAGGAI A en 12/05/2019. Enseignant chercheur à la faculté des sciences de la vie et de la nature, université Kasdi Merbah, Ouargla. Cette souche est originaire de la région de Tamanrasset.



Photo N° 01 : La souche de spiruline *Arthrospira platensis*

1.2 Matériel de culture

- Pompe air aquarium
- Résistance aquarium
- Lampe
- Plastique pour la couverture

1.3 Matériel de laboratoire

- Balance.
- PH mètre.
- Conductimètre.
- Microscope optique connecté à un micro-ordinateur.
- Thermomètre Verrerie (Bécher, tubes à essai...).
- Spectrométrie.

2 Qualité de l'eau utilisée

L'eau utilisée pour notre expérimentation est une eau pompée d'un forage Miopliocène (département de biologie). Les analyses physicochimiques et bactériologies d'eaux utilisées dans les milieux de culture ont été effectuées au niveau de **ADE unité El Oued**.

3 Méthodes d'étude

3.1 Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est installé sur une paillasse au laboratoire (**Photo N° 02**). La souche est cultivée dans de bidon de 20 litre en plastique (**40** cm de long, **30** cm de large) renferme 5 litres du milieu de culture testé (**Tableau N° 04**) est utilisé pour l'ensemencement du volume de la souche. Une température constante (24/24h) de 30°C et l'agitation assurée par une pompe à aquarium pour assurer une bonne aération.

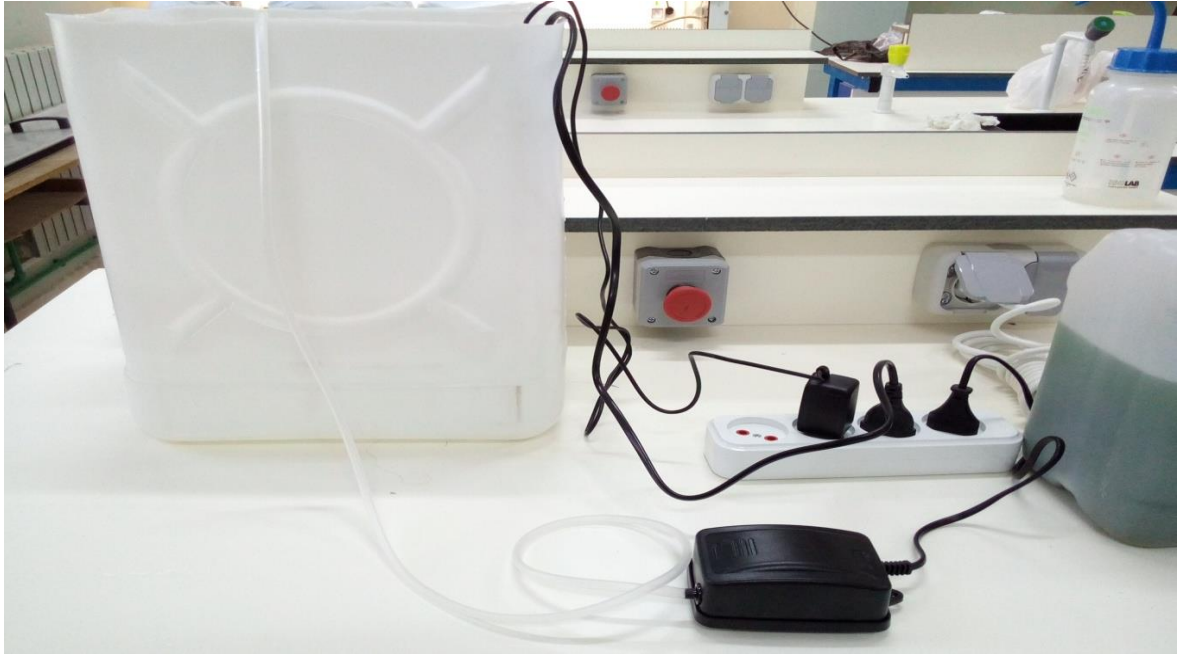


Photo N° 02 : Dispositif expérimentale

3.2 Préparations des milieux de culture

3.2.1 Milieu de culture (Enrichissement)

Le milieu de culture retenu est celui de **SEGGAI (2008)**. Le choix de ce milieu est effectué de fait que ce milieu est le plus convenable pour la culture de la Spiruline. Les constituants des milieux de culture sont cités dans le **Tableau N° 04**.

Tableau N° 04 : Composition chimique du milieu de culture (Saggai, 2008)

Element	Quantité g/l	Quantité g/5l
Bicarbonate de sodium(NaHCO₃)	8	40
Sulfate d'Ammonium (SO₄(NH₄)₂)	0.2	1
Sulfate de Potassium (K₂SO₂)	0.1	0.5
Sulfate de Fer (FeSO₄)	0.01	0.05
Sulfate de Magnésium (MgSO₄)	0.2	1
Urée (CH₄N₂O)	0.2	1

3.2.2 Ensemencement

La culture de la Spiruline est lancée le **14/05/2019**. Nous avons démarré l'expérimentation avec un volume de **1.5 l** de la souche de la spiruline, auquel nous avons ajouté un volume de **5 l** de milieu de culture. Le principe de l'ajout de milieu de culture consiste à additionner au volume de la culture, un volume du milieu de culture équivalent au **1/2** du volume de culture précédente. L'ajout du milieu de culture ne se fait à chaque semaine, mais après s'être assuré du bon état de la culture afin d'éviter la dilution de celle-ci.



Photo N° 03 : L'ensemencement

Tableau N° 05 : Stratégie de l'ajout du milieu de culture.

	L'ajout de milieu de culture (ml)	
	Volume de la souche	Volume de milieu de culture
1	1500	5000
2	6500	7500
3	14000	10000
	24000	

3.3 Conditions de culture

Le bidon a été installé sur une pailleasse au laboratoire afin d'assurer la protection des cultures, et d'essayer de créer un système fermé avec une température constante.

3.3.1 Agitation

Une agitation était nécessaire pour permettre aux cellules l'accès aux nutriments et à la lumière, elle a été assurée par une Pompe air aquarium que nous avons actionné (24/24h) pendant toute la période de l'expérimentation (**Photo N° 04**).



Photo N° 04 : Agitation

3.3.2 Éclairement

L'énergie lumineuse en nuit pour les cultures est fournie par un lompe.

3.3.3 Température

La température de la salle de culture est de l'ordre de 30°C à l'aide d'une résistance.

3.4 Évolution du développement algal

3.4.1 Étude de l'évolution des paramètres physico-chimiques

La culture de Spiruline est nécessitée de contrôler plusieurs paramètres à chaque jours (matin, après-midi) :

- Le pH à l'aide d'un PH-mètre ;
- La température par Thermomètre ;
- La Conductivité pour contrôler la salinité de milieu ;

- La Concentration ; on va mesurer la densité optique à l'aide spectrophotomètre à longueur d'onde 550 nm, (Zerrouk, 1966)

3.4.2 Étude des caractéristiques de la Spiruline

a. L'étude morphologique par observation microscopique

La forme et la couleur de la Spiruline varient en fonction du caractère physique et chimique du milieu de culture environnant dans lequel vit la Spiruline. L'observation microscopique nous permet de contrôler les contaminations éventuelles des cultures et s'assurer de la morphologie de spiruline.

b. Mesure de l'absorbance

On a mesuré l'absorbance quotidiennement pour avoir une estimation de la concentration de la biomasse. Elle consiste en une lecture, à l'aide d'un spectrophotomètre, de la densité optique de la culture à une longueur d'onde de **550 nm**.

3.5 Récolte

La Spiruline cultivée a été récoltée après un mois de culture soit le **16/06/2019**. Filtrée, essorée et séchée à l'air libre, la biomasse obtenue est pesée à l'aide d'une balance électronique de précision (figure 4 (a), (b)).

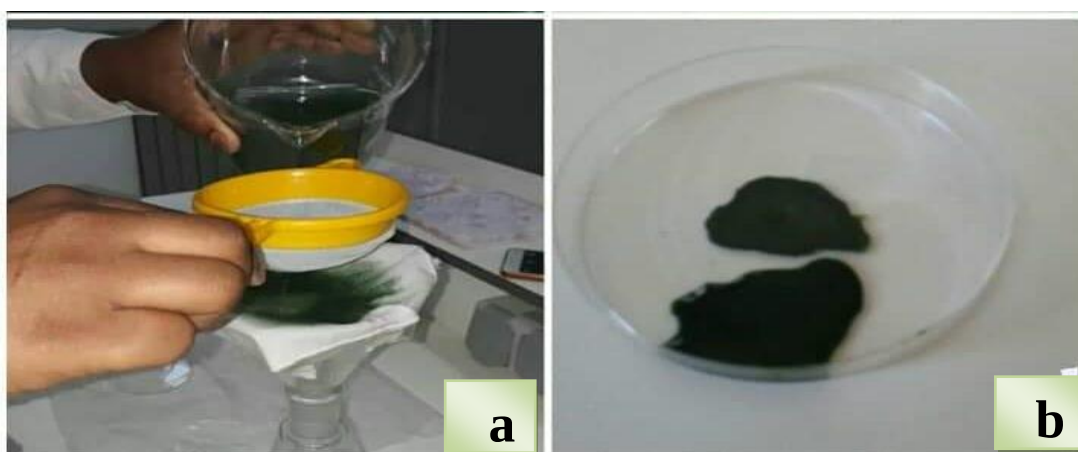


Photo N° 05 : Filtration (a) et séchage (b).

Chapitre V. Résultats et discussion

1 Etudes de l'eau d'études

1.1 Caractéristique de l'eau utilisées

L'eau utilisée pour notre expérimentation est une eau pompée d'un forage Miopliocène. Les résultats d'analyse des caractéristiques physicochimiques et bactériologiques de l'eau sont présentés par les tableaux suivants :

Tableau N° 06 : Caractéristique physicochimiques de l'eau d'étude initiale

Paramètre Type d'eau	CE à 29°C (μS /cm)	pH	Salinité	Les anions (mg/l)			Les cations (mg/l)			
Forage Miopliocène	5050	7.77	3.23	HCO_3^-	Cl^-	NO_3^-	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
				136.64	2786.605	29.47	851.936	68.63	781.56	138.538

Tableau N° 07 : Caractéristique microbiologique de l'eau d'étude initiale

Bactérie	Résultat
Coliformes totaux	+
Germe totaux	+
Coliformes fécaux	-
Streptocoques	-
Sulfato-réducteurs	-

1.2 Evolution des paramètres physico-chimiques

1.2.1 Température

Les résultats au niveau d'aquarium après ensemencement on observe évolution de la température dans un mois entre mai et juin Les valeurs moyennes de la température de milieu de culture étaient présentés sur la (**Figure N° 05**).

- Pour la période da matin la valeur minimale est de 33  C et la valeur maximale de 37  C.
- Pour la période d'après-midi la valeur minimale est de 35  C et la valeur maximale de 38  C.

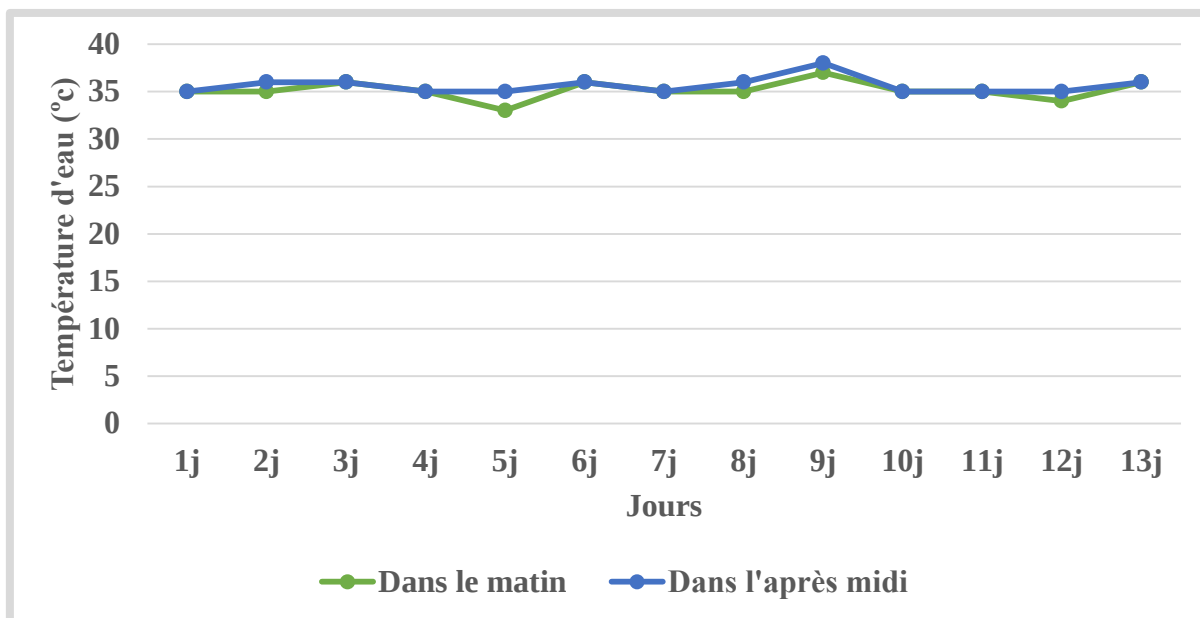


Figure N   05 : Evolution de la température du milieu de culture de la Spiruline durant les mois mai et juin.

1.2.2 PH

D'après les résultats du pH mesuré au niveau d'aquarium et après ensemencement on observe une évolution du pH pendant les un mois, entre mai et juin (**Figure N   06**).

- Pour la période de matin la valeur minimale est de 9.53 et la valeur maximale de 9.91.
- Pour la période d'après-midi la valeur minimale est de 9.60 et la valeur maximale de 9.98.

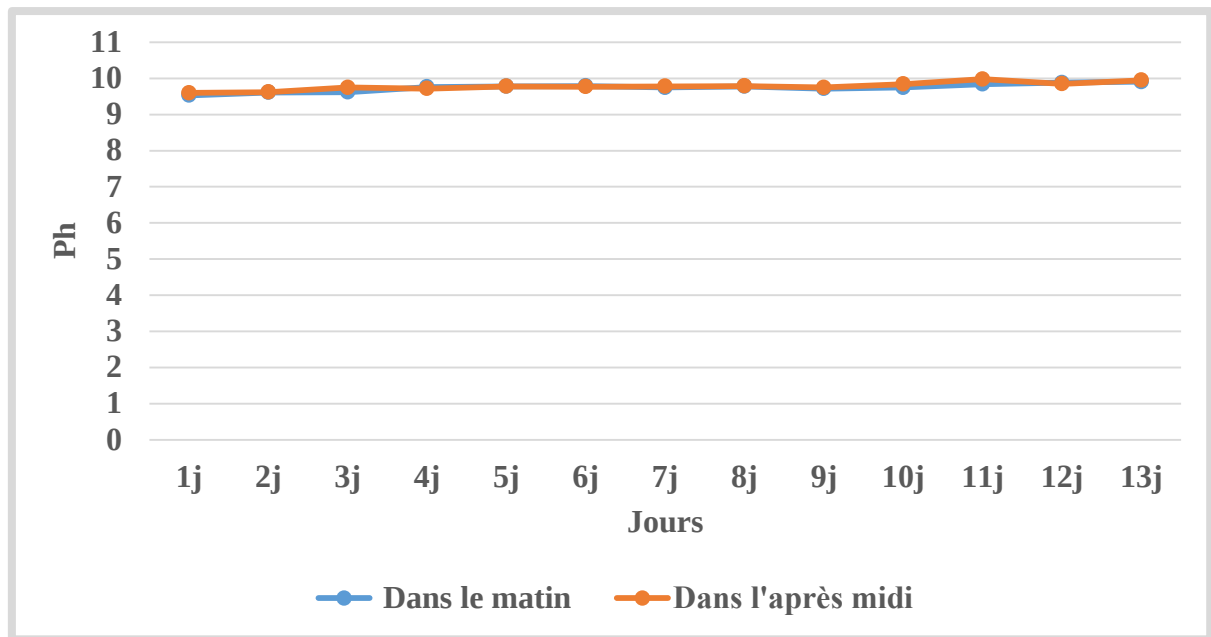


Figure N° 06 : Evolution du pH dans le milieu de culture de Spiruline.

1.2.3 Conductivité électrique (CE)

D'après les résultats de la CE mesurée au niveau d'aquarium et après ensemencement on observe une évolution de la CE pendant un mois, entre mai et juin (**Figure N° 07**).

- Pour la période de matin la valeur minimale est de **14.07 ms/cm** et la valeur maximale de **21.7 ms/cm**.
- Pour la période d'après-midi la valeur minimale est de **14.18 ms/cm** et la valeur maximale de **21.9 ms/cm**.

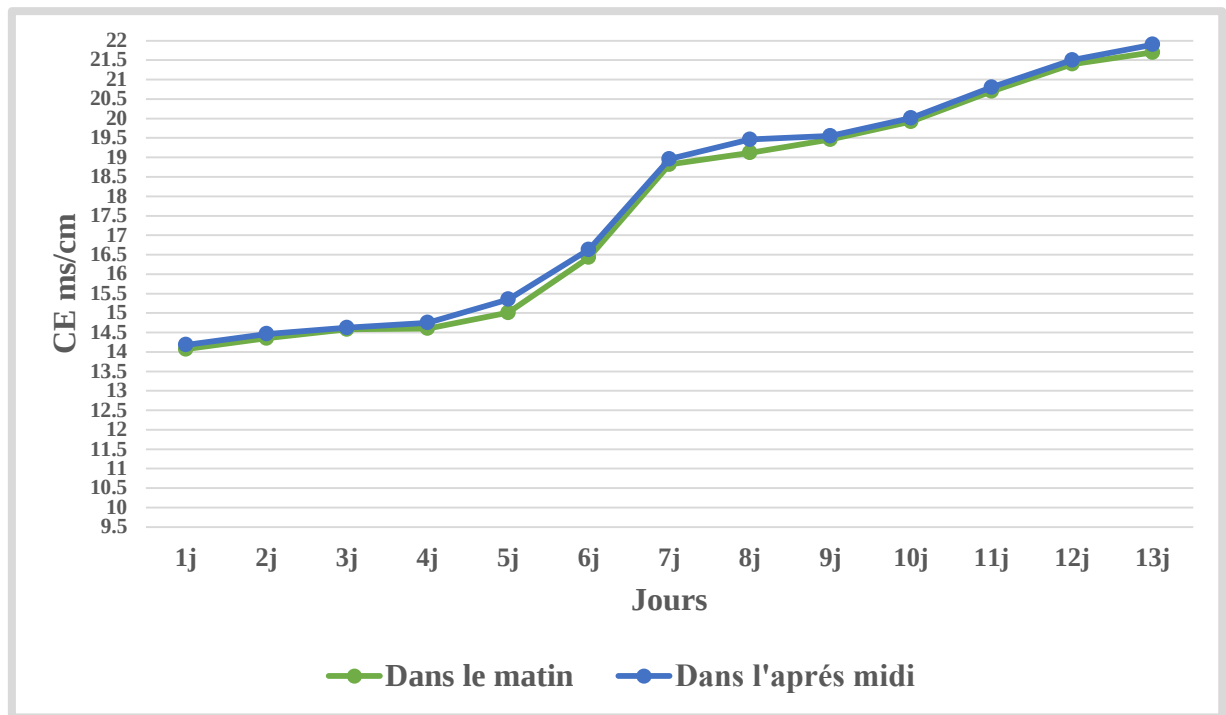


Figure N° 07 : Evolution de la conductivité électrique (CE) dans le milieu de culture de Spiruline

1.2.4 Salinité

Les résultats aux niveaux de bassin après ensemencement on observe évolution de la salinité dans un mois entre mai juin Les valeurs moyennes de la salinité de milieu de culture étaient présenté (**Figure N° 08**).

- Pour la période de matin la valeur minimale est de **9.01 g/l** et la valeur maximale de **13.89 g/l**.
- Pour la période de l'après-midi la valeur minimale est de **9.02 g/l** et la valeur maximale de **14.02 g/l**.

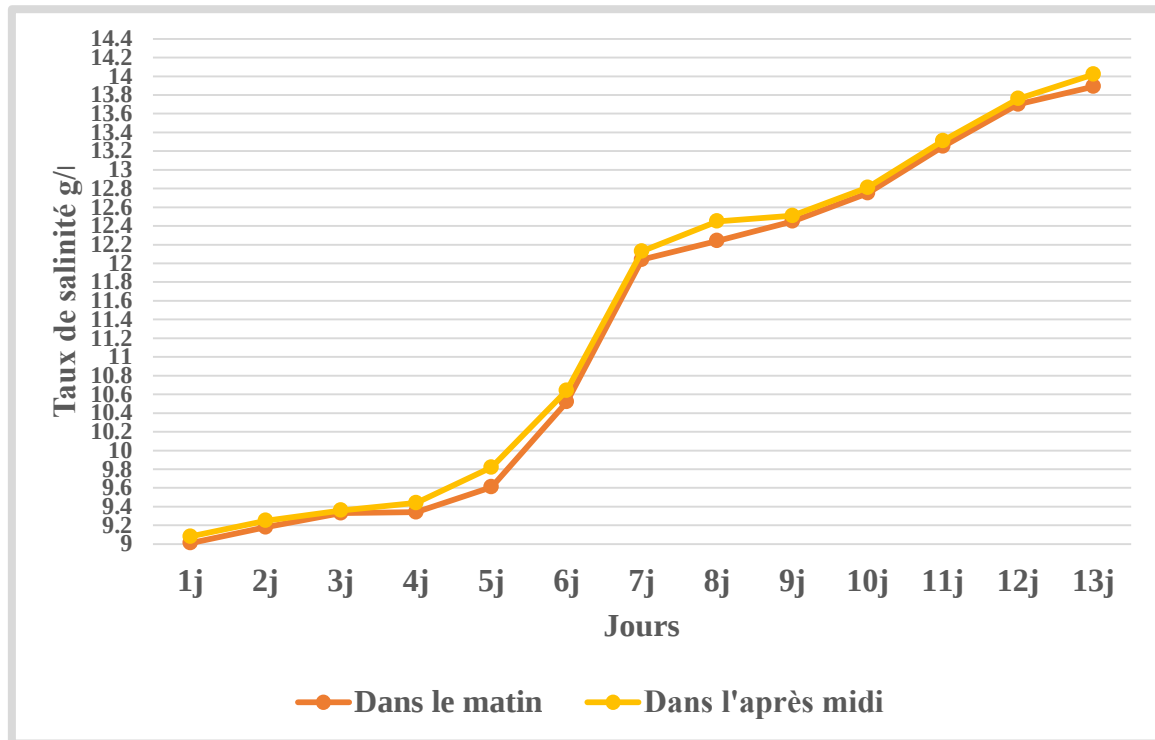


Figure N° 08 : Evolution de la salinité de milieu de culture de la spiruline.

2 Étude des caractéristiques de la Spiruline

2.1 Etude morphologique et changement de couleur

Au cours de période de l'expérimentation, l'observation microscopique nous permet de surveiller la morphologie de la Spiruline. Les figures ci-dessous nous montrent les différentes morphologies observées (**Photo N° 06**)

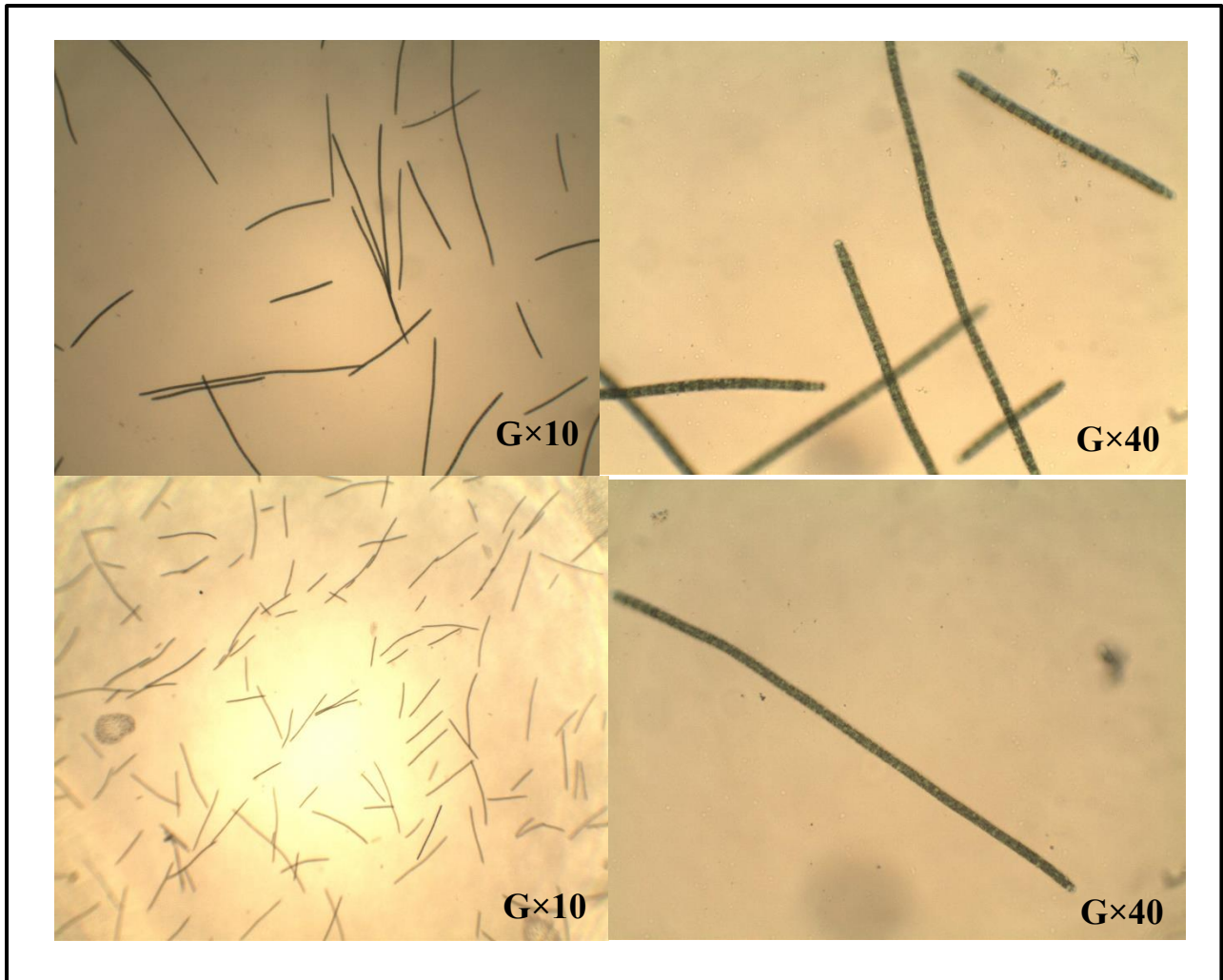


Photo N° 06 : Observation microscopique de la spiruline

2.2 Evolution des paramètres biométriques

2.2.1 Evolution de la biomasse

Les concentrations de la spiruline en moyenne étaient de l'ordre de:

- La valeur minimale de la concentration de biomasse est de **0.49 g/l**.
- La valeur maximale de la concentration de biomasse est de **2.22 g/l**.

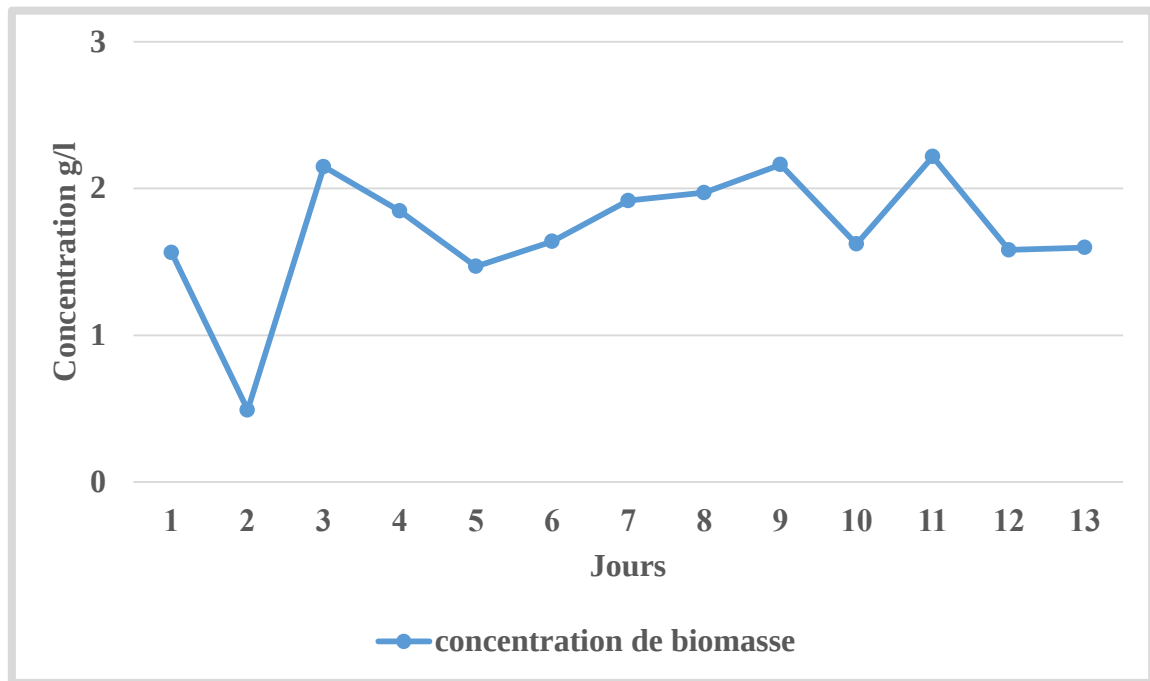


Figure N° 09 : Evolution de la biomasse en g par l dans le milieu de culture.

3 Récolte

Une récolte a pu être réalisée à la fin de la période d'expérimentation c'est à dire après un mois de culture. Le poids de la biomasse obtenue est de 1.22g.

4 discussion des résultats

4.1 Étude de caractérisation de eaux utilisée

L'un des paramètres les plus importants pour une culture de Spiruline, est la qualité de l'eau utilisée. L'alcalinité des eaux semble favorable, et pour atteindre au pH recommandé 8.5 à 11 (**Jordan, 1999**), il est convenable d'augmenter de l'alcalinité par l'ajoute de bicarbonate de sodium. La nature chimique des eaux montre une abondance en éléments indispensables pour la croissance Ca , Mg , Na , K , et qui dépasse les concentrations dans le milieu de culture (**Zarrouk 1966**) et les limités de concentration rapportés par (**Jordan 1999**). Toutefois, faute d'analyse la richesse en oligoéléments n'est pas déterminée.

Les résultats de l'analyse de variance des eaux souterraines réalisés par **Seggai (2008)** sont :

1/ Pour le Magnésium et le Calcium, très hautement significatif, c'est-à-dire que ces eaux sont très dures, la valeur de ces ions démontre l'attention particulière quant à l'utilisation de ces eaux pour la confection d'un milieu de culture pour une dilution faible à l'ensemencement car, l'excès de ces éléments provoque la constitution de boues minérales dont l'action avec l'agitation est l'entraînement des spirulines. Et (**Jarisoia 2005**), ils ont constaté que le calcium et magnésium gênent la croissance de la Spiruline.

2/ Pour le Sodium et le Chlore les résultats obtenus comparés aux limites proposées par la bibliographie permettent une moindre inquiétude puisque des doses par litre plus importantes sont tolérées par la spiruline.

3/ Pour les autres éléments, il y a lieu, lors de l'ajout d'autres sources d'azote tels l'urée ; qui sont les sources préférées des Spirulines.

4.2 Ph

Bien que la Spiruline est un organisme vivant en milieu alcalin. Les valeurs de pH plus élevés obtenus dans l'expérience étaient de **9.98** pour moi Juin cette valeur de pH n'est avérée ni pas nocive pour la culture car il est inférieur de **10.30 (Richmond et al.1980)**.

La détermination du pH peut être utilisée comme un indicateur de l'activité de Photosynthèse.

Le pH qui diminue peut-être corrélée à la consommation de source de carbone c'est la nourriture principale de la Spiruline. Et une inhibition de la photosynthèse (dépigmentation) ; cette inhibition induit à l'arrêt de croissance de spiruline dans milieu l'abaissement du pH s'explique par l'absence des nitrates ou des phosphates dans le milieu, le manque de ces

éléments induit à la formation des grumeaux jaunes qui explique l'inhibition de la photosynthèse des substances vertes.

Krulwich et Guffanti (1989) ont reportés que la Spiruline, même à des valeurs de pH extérieures de membrane très élevées, elle peut se développer, car elle est capable de maintenir un gradient de pH appréciable à travers sa membrane cytoplasmique.

4.3 Température

La Spiruline est un micro-organisme thermophile à une température de croissance optimale de 35 à 37 °C D'après **Richmond (1986)**, la température est un facteur influence sur la croissance de la spiruline.

La température initiale d'eau augmentée dans le primaire jour est d'environ 35°C (**Figure N° 05**) dans le mois mai donc elle était égale à l'optimum de 35°C pour la bonne croissance de la Spiruline, mais largement supérieure à la limite inférieure de tolérance (20°C) de cet organisme (**Jordan,1999**).

Mais dans le 5^{ème} jour ont observé la diminution de la température 33°C (**Figure N° 05**), et dans le 9^{ème} jour ont observé l'augmentation de la température 37°C (**Figure N° 05**) dans le mois juin ces changements de la température reste dans l'optimale de la croissance de la Spiruline.

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.

4.4 Salinité

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.

L'augmentation de la salinité régulièrement dans le milieu est due à l'évaporation.

4.5 Etude morphologique et changement des couleurs

Pour la morphologie de spiruline l'observation microscopique a révélé une dominance de la forme droite et fragmentée par rapport à les formes spiralées qui sont ni a pas trouvé dans la culture (**Photo N° 06**). 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**)

La couleur de culture tournée au vert à partir du bleu-vert qui est caractéristique pour les cyanobactéries. Ce phénomène est dû à l'épuisement de l'azote dans le milieu de culture (**Goksan et Zekruyaoulu, 2007**), et lorsqu'il y a un déficit d'azote dans le milieu, la phycocyanine est utilisée en tant que source de N, qui est responsable de la couleur caractéristique bleu-vert, et la couleur vire au vert (**Cohen.Z, 1997; Saradaet al, 1998**). En plus du déficit d'azote, la forte intensité lumineuse, ainsi la température élevée au cours de l'expérimentation, est fort probablement conduire au changement de couleur.

Conclusion

Conclusion générale

Notre travail est organisé selon une approche scientifique des données références et expériences de laboratoire. Les étapes sont résumées comme suit:

- Préparation de l'aquarium où est cultivée la Spiruline
- Préparations pour culture intermédiaire à base des éléments chimiques suivants NaHCO_3 , $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$, K_2SO_2 , FeSO_4 , MgSO_4 , $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$.
- Etudier la culture et la production de Spiruline.

La Spiruline n'a suscité l'intérêt des scientifiques que tardivement, elle jouit aujourd'hui d'un intérêt grandissant grâce à ses multiples propriétés thérapeutiques et nutritionnelles. Ce regain d'intérêt se traduit par les nombreuses études publiées que nous avons consultées pour réaliser notre travail et qui portent sur tout ce qui caractérise la Spiruline. En premier lieu nous avons décrit tous les aspects biologiques de la spiruline (morphologique, taxonomique, cycle biologique, écologique et en fin phylogénétique). Cette description nous a permis de constater la grande plasticité morphologique et son adaptation exceptionnelle dans des milieux très variés et surtout hostiles (température, alcalinité et salinité élevées). Ensuite, les analyses nutritionnelles démontrent que la spiruline contient des teneurs très importantes en nutriments et oligoéléments bénéfiques pour l'homme et pour les animaux. Un aperçu sur les différentes méthodes de productions et l'évolution de la production mondiale et régionale de la Spiruline, révèle que la production est divisée en 2 modes : la première est artisanale et dépend de plusieurs facteurs (climatiques et environnementaux). La deuxième est une production industrielle qui utilise les techniques de l'industrie agroalimentaire pour améliorer la productivité, ce qui fait que la production mondiale de la Spiruline est en constante augmentation, mais reste très faible en Algérie. Nous avons réalisé une culture au laboratoire, les résultats obtenus démontrent que la température est un facteur très important dans le développement de la spiruline même si le milieu est favorable et correctement alcalin ce qui s'est traduit par une faible production de la biomasse.

La conclusion que nous pouvons tirer de notre expérience sur la culture de la Spiruline :

1. Une culture peut mourir suite à une dilution, un éclairage ou un chauffage trop fort ou un excès d'urée.

Conclusion

2. L'augmentation de niveau de l'eau au niveau d'aquarium doit se faire par ajout de milieu de culture.

L'ajout directement dans l'aquarium des sels non dissouts peut être très dangereux pour la culture.

3. Si on prépare d'avance une réserve de milieu de culture de dilution, la garder peu de temps et fermée et à l'obscurité pour qu'elle ne risque pas de se contaminer par des algues étrangères.

4. La vitesse de croissance dépend de plusieurs facteurs dont le pH. Elle est maximum à pH inférieur à 10, donc on a intérêt à utiliser du bicarbonate pour démarrer rapidement une nouvelle culture.

5. En l'absence de récoltes, avec suffisamment de nutriments, la concentration en Spiruline croît jusqu'à l'équilibre entre photosynthèse et respiration, Il n'est pas bon pour la culture de rester longtemps sans être récoltée, à très haute concentration : cela peut même être une cause de mortalité pour elle

La Spiruline ne remplace pas les aliments caloriques tels que le manioc, le riz, le blé, la pomme de terre ou le maïs, mais c'est un ingrédient idéal de la sauce protéinée.

A la lumière des résultats obtenus, on peut dire que cet essai nous a permis de faire ressortir ce qui suit:

- La présence de lumière, une bonne agitation et un pH stable alcalin favorisent la croissance et pigmentation.
- Pour une bonne vitesse de croissance de la Spiruline il faut garder une T°C de milieu de culture supérieure à 22°C et inférieure à 37°C
- La couverture de l'aquarium de culture par une bâche en plastique permet de maintenir la température et favorise la croissance de la Spiruline
- En fin, à la présence de tous les conditions favorables pour la croissance de Spiruline, le lancement de l'algoculture est facile à réaliser, sa technique et sa mise en place dans le sud d'Algérie, particulièrement dans la région d'El' Oued.

Références Bibliographiques

A

Avino P., Carconi P.L., Lepore L., Moauro A. *Nutritional and environmental properties of algal products used in healthy diet by INAA and ICP-AES*. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2000; 244 (1): p. 247-252.

Aychunie, S. (1996). Inhibition of HIV-1 replication by an aqueous extract of *Spirulina platensis* (*Arthrospira platensis*). *International Association of Applied Algology*, 7th International Conference.

Ayehunie S, Belay A, Baba TW and Ruprecht RM., 1998. Inhibition of HIV-1 replication by an aqueous extract of *Spirulina platensis*. *J Acquir Immune Defic Syndr Hum Retrovirol*: 7-12.

B

Balloni W, Tomaselli L, Giovannetti L, Margheri MC (1980): Biologia fondamentale del genere *Spirulina*. In: Materassi R (ed) *Prospettive della Coltura Massiva di Spirulina in Italia*. CNR Rome, pp 49–85

Becker, E. W. & Venkataraman, L. V. (1984). *Production and utilization of the blue-green alga Spirulina in India*, Biomass, Volume 4, Issue 2, pp. 105-125.

Belay A, (2007): *Spirulina (Arthrospira): production and quality assurance in Spirulina* In Gershuin ME et Belay A. *Human Nutrition and Health*. Taylor et francis.

Belay A, 2007. *Spirulina (Arthrospira): production and quality assurance in Spirulina* in Gershuin ME et Belay A. *Human Nutrition and Health*. Taylor et francis.

Belay, A. (1997). Mass culture of *Spirulina platensis* - The Earthrise farms Experience in "*Spirulina platensis (Arthrospira)*" Ed. Avigad Vonshak, Taylor & Francis, Londre, pp.131-158.

Bujard, E., Braco, U., Mauron, J., Mottu, F., Nabholz, A., Wuhrmann, J.J. et Clément G. (1970). Composition and Nutritive Value of Blue Green Algae (*Spirulina*) and their Possible Use in Food Formulations. *3rd.international Congress of Food Science and Technology, Washington*.

C

Chamorro, G., Salazar, M., Favila, L., and Bourges, H. 1996. Farmacología y toxicología del alga *Spirulina*. *Rev Invest Clin*: 389-399.

Charpy L, (2008) : Colloque International « la Spiruline et le développement », formation et transfert de technologie, en matière de culture de Spiruline: 28 - 29 et 30 avril 2008.Toliara -Sud- Ouest Madagascar: 8, 9, 89, 91, 131-134.

Charpy L, 2008. Colloque International « la Spiruline et le développement », formation et transfert de technologie, en matière de culture de Spiruline : 28 - 29 et 30 avril 2008.Toliara - SUD-OUEST MADAGASCAR : 8, 9, 89, 91, 131-134.

Ciferri, O. (1983). Spirulina, the Edible Microorganism. Microbial. Rev. Vol. 47:551-578.

Ciferri.O, (1983): Spirulina, the edible microorganism. *Microbiol. Rev.* 47(4), 551-578. Clément.G, 1975. Production et constituants caractéristiques des algues *Spirulina platensis* et *maxima*. *Ann Nutr Alim.* 29 : 477-488.

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

Clément, G., Giddey, C. et Menzi, R. (1967). Amino Acid Composition and Nutritive Value of the Alga *Spirulina maxima*. *J. Sci. Fd. Agric.* Vol. 18: 497-501.

Cohen Z, (1997): The chemicals of Spirulina . In: Vonshak A. ed. *Spirulina platensis (Arthrospira) : Physiology, Cell Biology and Biotechnology*. Taylor and Francis; London,: pp. 175-204.

Cohen Z., 1997. The chemicals of Spirulina. In: Vonshak A. ed. *Spirulina platensis (Arthrospira): Physiology, Cell Biology and Biotechnology*. Taylor and Francis; London: pp. 175-204.

Cruchot H , (2008) La Spiruline, Bilan et Perspective. Thèse docteur en pharmacie. université de France-Comite.

Cruchot H, 2008. La Spiruline, Bilan et Perspective. Thèse docteur en pharmacie. université de France-Comite.

Cruchot Hélène, (2008) la spiruline bilan et perspectives; faculté de médecine et de pharmacie de Besançon. P 5, 9, 18, 23, 69, 180, 183. Darcas C. 2000. La spiruline, une algue pour la santé

culture de la Spiruline *Arthrospira platensis* (souche de Tamanrasset). Thèse de magistère. Université de Ouargla.

D

Danesi, E.D.G, Rangel-Yagui C.O, Carvalho J.C.M. And Sato S, (2004) : Effect of reducing the light intensity on the growth and production of chlorophyll by *Spirulina platensis*. *Biomass and Bioenergy*: 329-335 dans les mares natronées du Kanem (Tchad). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, vol 2, 119-125.

Delpeuch F, Joseph A., et Cavelier C, (1975): Consommation alimentaire et apport nutritionnel des algues bleues (*Oscillatoris platensis*) chez quelques populations du Kanem (Tchad) *Ann. Nutr. Aliment.* 29, 497-515.

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

F

-Falquet J. et Hurni J-P. (2006). Spiruline : aspects nutritionnels. Antenna Technologies

-Falquet,1996 spirulina : Aspects nutritionnels, document Antenna technologie Genève

Farrar W.V, 1966: Tecuitlatl; à glimpse of Aztec food technology. *Nature* 211, 341-342.

-Flaquet J et Hurni J.P., 2006. Spiruline, Aspects nutritionnels. Publication Antenna Technologies. Genève.

Fox ,(1999): spiruline, Technologie pratique et promesse – France, 240p.

-Fox ,1999- spiruline, Technologie pratique et promesse – France, 240p

Fox R. (2004) :Nouvelles utilisations de la spiruline Compte-rendu du Colloque international : CSSD « Les Cyanobactéries pour la Santé, la Science et le Développement » Les Embiez, 2004

Fox R.D, (1986): Algoculture : la spiruline, un espoir pour le monde de la faim. Edisud, 270 pages.

Fox R.D, (1996): *Spirulina, production & potential* . Aix en Provence : Edisud.
Pelaez, F., 2006. The historical delivery of antibiotics from microbial natural products. Can history repeat?, *Biochem. Pharmacol*: 977-981.

G

Girardin C et Schwitzgebel V. (2007) : Diabète de type 2 en pédiatrie : diagnostic et

Goksan T, A et Zekruyaoulu, Ü. 2007. The Growth of *Spirulina platensis* in Different Culture Systems Under Greenhouse Condition. *Turk J Biol*: 47-52

Goksan T, A et Zekruyaoulu, Ü.(2007): The Growth of *Spirulina platensis* in Different Culture Systems Under Greenhouse Condition .*Turk J Biol* : 47-52

Gorban EM, Orynychak MA, Virstiuk NG, Kuprash LP, Panteleïmonova TM, and Sharabura LB., 2000. Clinical and experimental study of spirulina efficacy in chronic diffuse liver diseases. *Lik Sprava*: 89-93.

Guan Y, Guo B., 2002. Inhibition activity of spirulina platensis proteins photo-immobilization biomaterial on proliferation of cancer cells. *Sheng Wu Yi Xue Gong Cheng Xue Za Zhi*; 19(1):1-3.

H

Hayakawa Y, Hayashi T, Hayashi K, Hayashi T, Ozawa T, Niiya K and Sakuragawa N., 1996. Heparin cofactor II-dependent antithrombin activity of calcium spirulan. *Blood Coagul Fibrinolysis*: 554-60.

Henrikson, R., 2010. *Spirulina: World Food, How this micro algae can transform your health and our planet*, Published by Ronore Enterprises, Hawaii, pp.195.

Hernández-Corona A, Nieves I, Meckes M, Chamorro G and Barron BL., 2002. Antiviral activity of *Spirulina maxima* against herpes simplex virus type 2. *Antiviral Res*: 279-85

Huang ZX, Mei XT, Xu DH, Xu SB and Lv JY., 2005. Protective effects of polysacchride of *Spirulina platensis* and *Sargassum thunbeergii* on vascular of alloxan induced diabetic rats. *Zhongguo Zhong Yao Za Zhi*: 211-5.

Hug C et Von der wied D.,2011. La spiruline dans la lutte contre la malnutrition, Bilan et perspectives. Antenna Technologies, Genève, 30 p.

I

Ittis. A, (1968): Tolérance de salinité de *Spirulina platensis* (Gom.) Geitl., (Cyanophyta)

J

Jarisoa T,(2005): Adaptation de spiruline du sud de Madagascar à la culture en eau de mer, Mise au point de structures de production à l'échelle villageoise. Thèse doctorat en Es Sciences en Océanologie Appliquée. Université de Toliara.

Jarisoia t., 2005. Adaptation de spiruline du sud de Madagascar à la culture en eau de mer, Mise au point de structures de production à l'échelle villageoise. Thèse doctorat en Es Sciences en Océanologie Appliquée. Université de Toliara.

Jean-Paul Labourdette, (2011): Pyrénées Orientales. Collectif, Dominique Auzias. Page 233.

Jordan J P, (1999): *Cultivez votre spiruline : manuel de culture artisanal*. Publication Antenna Technologies.

Jordan j p, 2006. Cultivez votre spiruline : manuel de culture artisanal Publication Antenna Technologies

Jordan, 1999 sugar as a source of carbon for spirulina (*Arthrospira platensis*) culture, international biotechnology, Inde, PPP58, 96,97

Jourdan ; 1999 : Cultivez votre spiruline revue antenna technology, 125 pages.

Jourdan J. *Manuel de culture artisanale de la spiruline*. 2014. Disponible sur <https://www.fichier-pdf.fr/2015/09/18/manuel-de-la-culture-artisanale-de-spiruline/manuel-de-la-culture-artisanale-de-spiruline.pdf> (dernière consultation janvier 2018)

Jourdan, (2006): Manuel de culture artisanale de spiruline. Edition 2006, Révision mars 2013.

K

Karkos PD, Leong SC, Karkos CD, Sivaji N and Assimakopoulos DA, (2008): Spirulina in clinical practice: Evidence-based human applications. *Evid Based Complement Alternat Med*:114.

Khan Z, Bhadouria P and Bisen PS, (2005): Nutritional and therapeutic potential of Spirulina. *Curr Pharm Biotechnol*. V 6:373-379.

Kim HM, Lee EH, Cho HH and Moon YH. 1998. Inhibitory effect of mast cell-mediated immediate-type allergic reactions in rats by spirulina. *Biochem Pharmacol*: 1071-6.

König, (2007): Les algues : première lignée végétale. Disponible sur : <http://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/botanique-algues-vegetaux-aquatiques-523/> publié en 2005 modifié en 2015.

Koru, E. (2009). Spirulina Microalgae Production and Breeding in Commercial, *Turkey Journal of Agriculture*: 133-134, (in Turkish).

Krulwich.T.A and Guffanti.A. A, 1989 Alkalophilic bacteria, *Annual Review of Microbiology*, Vol. 43, pp. 435-463.

Kulshreshtha A, Zacharia AJ, Jarouliya U, Bhadauriya P, Prasad GB and Bisen PS, (2008):Spirulina in health care management. *Curr Pharm Biotechnol*: 400-405.

L

Lee JB, Srisomporn P, Hayashi K, Tanaka T, Sankawa U and Hayashi T., 2001. Effects of structural modification of calcium spirulan, a sulfated polysaccharide from *Spirulina platensis*, on antiviral activity. *Chem Pharm Bull*: 108-10.

Léonard J, 1966: The 1964-65 Belgian Trans-saharan Expédition. *Nature* 209, 126-128.

Lobner M, Walsted A, Larsen R, Bendtzen K and Nielsen CH., Enhancement of human adaptive immune responses by administration of a high-molecular-weight polysaccharide extract from the cyanobacterium *Arthrospira platensis*. *J Med Food*: 313-322.

M

Mao TK, Van de Water J and Gershwin ME., 2005. Effects of a Spirulina-based dietary supplement on cytokine production from allergic rhinitis patients. *J Med Food*: 27-30.

Mathew B, Sankaranarayanan R, Nair PP, Varghese C, Somanathan T, Amma BP, Amma NS and Nair MK., 1995. Evaluation of chemoprevention of oral cancer with *Spirulina fusiformis*. *Nutr Cancer*: 197-2.

P

Panigua-Michel J, Dujardin E, Sironval C. Histoire de spiruline, communication botanique (en ligne). c 2007.[consulté le : 24/01/2007]. Disponible sur :

Paredes-Carbajal MC, Torres-Durán PV, Díaz-Zagoya JC, Mascher D and Juárez-oropeza MA. 1997. Effects of dietary *Spirulina maxima* on endothelium dependent vasomotor responses of rat aortic rings. *Life Sci*: 211-9.

Park HJ, Lee YJ, Ryu HK, Kim MH, Chung HW and Kim WY. 2008. A randomized double blind, placebo-controlled study to establish the effects of spirulina in elderly koreans. *Ann Nutr Metab*: 322-8.

Pierlovisi C (2007) L'Homme et la Spiruline: Un avenir commun? Composition chimique, intérêts alimentaires et activités biologiques. Paris V- René Descartes, Faculté des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques, Paris (162) Prise en charge''. *Rev Med Suisse.*, 3: 1001 - 1006.

R

Remirez D, Ledón N, González R., 2002. Role of histamine in the inhibitory effects of phycocyanin in experimental models of allergic inflammatory response. *Mediators Inflamm*: 11(2):81-5.

Richmond a., (1988). Spurilina. In : Borowitzka M. A., Borowitzka L. J.(Eds), *Microalgal Biotech*.Cambridge University Press, Cambridge, pp 85-121. Marines Université de Toliara, Toliara Madagascar. 160 p.

Richmond a., 1986. Microalgae of economic potentials. In Richmond, A. (ed.) *Handbook of algal mass culture*, CRC Press, Florida. pp. 199-243.

Rodríguez-Hernández A, Blé-Castillo JL, Juárez-Oropeza MA and Díaz-Zagoya JC. 2001. Spirulina maxima prevents fatty liver formation in CD-1 male and female mice with experimental diabetes.*Life Sci*: 129-37.

S

Sall, M, Dankoko, B,Badaine, M,Ehua E, Kuakuwi , N. (1999) : la spiruline: une source alimentaire à promouvoir , Médecine d'Afrique noire ,Vol 46 ,N°3.

Sall, M.G., Dankoko, B., Badiane, M., Ehua, E. et Kuakuwi, N. (1999). La spiruline : une source alimentaire à promouvoir. Médecine d'Afrique Noire. Vol. 46 (3): 140-141.

Samuels R, Mani UV, Iyer UM and Nayak US., 2002. Hypocholesterolemic effect of spirulina in patients with hyperlipidemic nephrotic syndrome. *J Med Food*: 91-06.

Sarada R, Pillai MG and Ravishankar GA., 1998.Phycocyanin from Spirulina sp: influence of processing of biomass on phycocyanin yield, analysis of efficacy of extraction methods and stability studies on phycocyanin. *Process Biochemistry* 34: 795-801.

Sasson A, (1998): L'exploitation industrielle des micro algues. Biofutur n°179.

Seggai A, (2008) : Comptabilité des eaux des nappes de la région de Ouargla pour la Shih CM, Cheng SN, Wong CS, Kuo YL, Chou TC. 2009. Antiinflammatory and antihyperalgesic activity of C-phycocyanin. *Anesth Analg*:1303-10.

-Simpore J, Zongo F, Kabore F, Dansou D, Bere A, Nikiema JB, Pignatelli S, Biondi DM, Ruberto G and Musumeci S. 2005. Nutrition rehabilitation of HIV-infected and HIV-negative undernourished children utilizing spirulina. *Ann Nutr Metab*: 373-80.

Sorto M , (2003):Utilisation et consommation de la spiruline au Tchad. 2ème Atelier International Food-based approaches for a healthy nutrition, Ouagadougou, 23-28/11/2003.

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

Statistique Cubia, (2000): Projet de développement de la production de spirulines.

T

Tractebel, Consult en Association avec le centre Universitaire de Biotechnologie Algale (CUBIA).

Tredici M. R, Papuzzo T, Tomaselli L, (1986): Outdoor mass culture of *Spirulina maxima* in seawater. *Appl. Microbiol. and Biotechnol*, pp 47-50.

V

Vadiraja BB, Gaikwad NW, Madyastha KM., 1998. Hepatoprotective effect of C-phycocyanin: protection for carbon tetrachloride and R-(+)-pulegone-mediated hepatotoxicity in rats. *Biochem Biophys Res Commun*: 428-431.

Vonshak A., 1997. *Spirulina platensis (Arthrospira): Physiology, cell-biology and Biotechnology*. Taylor & Francis, Negev, Israel. Ed. Avigad Vonshak. p 233

Z

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

Zhang HQ, Lin AP, Sun Y and Deng YM., 2001. Chemo- and radio-protective effects of polysaccharide of *Spirulina platensis* on hemopoietic system of mice and dogs. *Acta Pharmacol Sin*: 1121-1124.

Annexe

Annexe 01: Sites géographiques où pousse naturellement la Spiruline (Fox, 1999)

Afrique

Algérie	Tamanrasset
Tchad	Région du Kanem : lacs Latir, Ouna, Borkou, Katam, Yoan, Leyla, Bodou, Rombou, Moro, Mombolo, Liwa, Iseïrom,
Ethiopie	Ounianga kebir Lacs Aranguadi, Lesougouta, Nakourou, Chiltu, Navasha, Rodolphe
Kenya	Lacs Nakuru, Elmenteita, Cratère, Natron
Madagascar	Beaucoup de petits lacs près de Toliara

Asie

Inde	Lacs Lonar et Nagpur
Myanmar	Lacs Twyn Taung, Twyn Ma et Taung Pyank
Pakistan	Mares près de Lahore

Amérique

Pérou	Réservoir d'eau près de Paracas Près de l'Ile d'Amantani dans le lac Titicaca
Mexique	Lac Texcoco ; lac Cratère
Californie	Oakland ; Del Mar Beach
Haïti	Lac Gonâve

Europe

France	Camargue
---------------	----------

Annexe

Annexe 02: Pourcentage moyen des acides aminés de *Spirulina Platensis* selon différents auteurs et la masse d'acides aminés en gramme par kilogramme de Spiruline

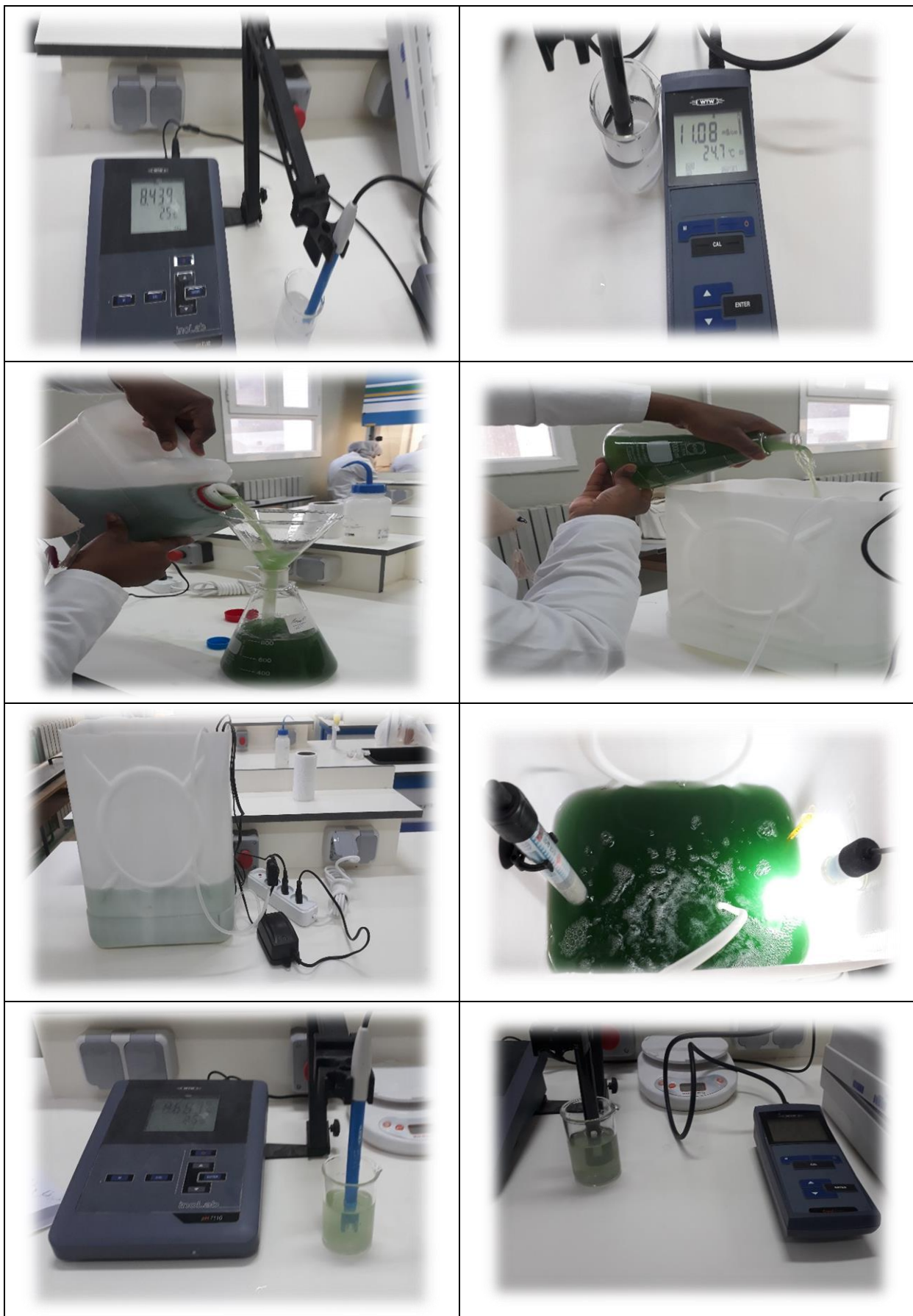
ACIDES AMINES	JACQUET 1974	CLEMENT 1975B	Fox 1999	BOROWITZKA	MASSE EN g/Kg DE SPIRULINE
Acides aminés essentiels*					
Isoleucine	5,60	6,40	5,98	5,70	35
Leucine	8,00	9,00	8,71	8,70	54
Lysine	4,20	4,80	5,28	5,10	29
Méthionine	2,25	2,60	2,85	2,60	14
Phénylalanine	4,40	4,60	5,09	5,00	28
Thréonine	4,70	5,50	5,58	5,40	32
Tryptophane	1,00	1,60	1,48	1,50	9
Valine	5,70	6,90	7,72	7,50	40
Acides aminés non essentiels					
Alanine	7,25	7,90	8,24	7,90	47
Arginine	6,60	6,70	7,92	7,60	43
Acide aspartique	9,30	9,20	9,50	9,10	61
Cystéine	0,95	0,90	0,93	0,90	6
Acide glutamique	NC	12,90	13,20	12,70	91
Glycine	4,80	5,00	5,07	4,80	32
Histidine	1,60	1,60	1,50	1,50	10
Proline	3,60	3,90	4,32	4,10	27
Sérine	5,00	5,60	5,46	5,30	32
Tyrosine	4,30	4,90	NC	4,60	30

Annexe

Annexe 03 :

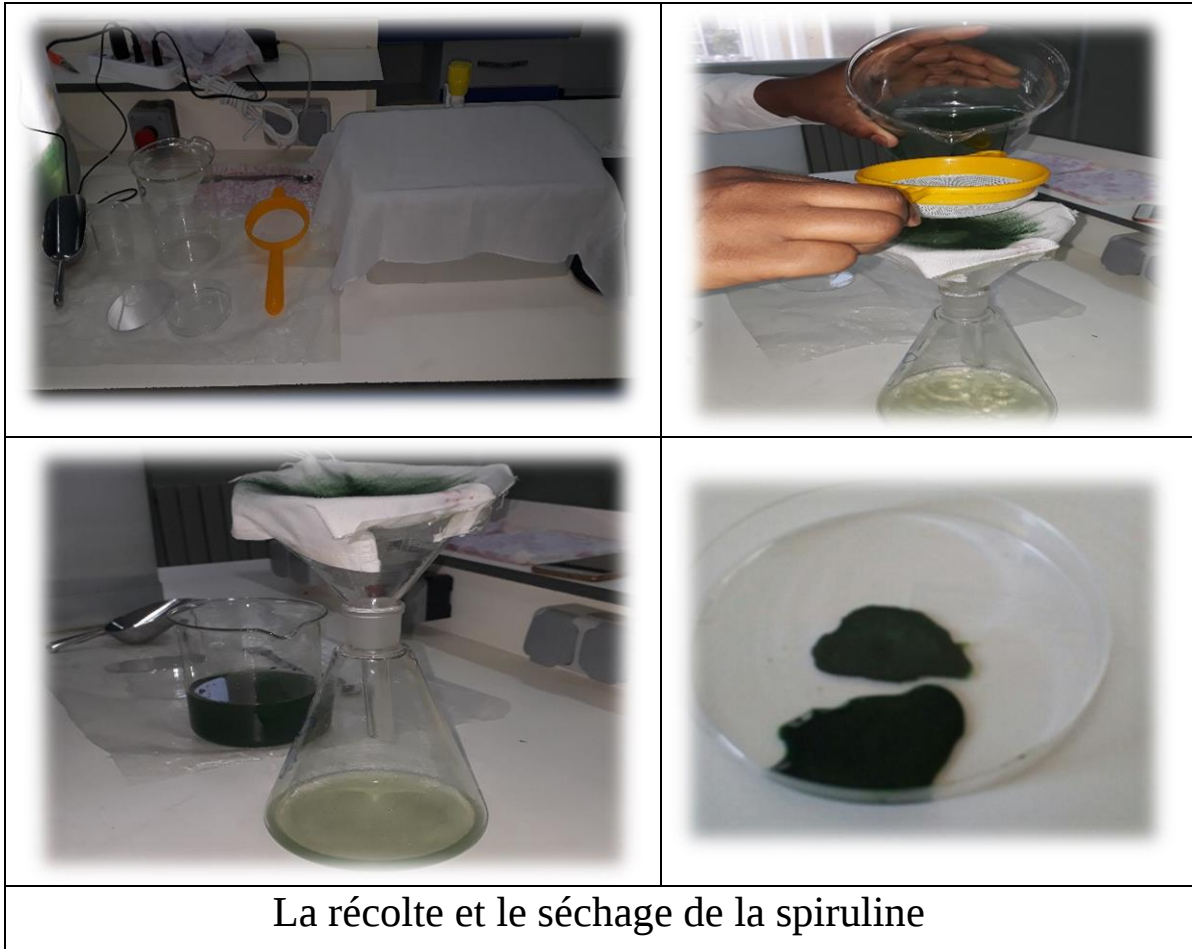


Annexe



La culture de la spiruline dans l'aquarium

Annexe 04 :



La récolte et le séchage de la spiruline

Annexe

Annexe 05 :

Tableau N° 08: les paramètres physicochimiques dans la période le matin

Date	Période de matin				
	pH	CE m/s	T (°c)	salinité (g/l)	DO
14/05/2019	9.16	12.72	26	8.14	/
15/05/2019	9.33	13.42	26	8.59	/
16/05/2019	10.27	13.67	26	8.75	/
18/05/2019	10.12	14.65	27	8.96	/
19/05/2019	10.10	15.15	27	9.70	/
20/05/2019	10.34	13.84	27	8.86	0.281
21/05/2019	9.94	13.88	31	8.88	0.324
22/05/2019	10.10	13.95	31	8.93	0.389
23/05/2019	10.16	14.26	30	9.13	0.447
26/05/2019	10.19	17.05	33	10.91	0.634
27/05/2019	10.07	15.10	38	9.6	0.532
28/05/2019	9.53	14.18	35	9.08	0.460
29/05/2019	9.61	14.35	35	9.19	0.144
30/05/2019	9.69	14.58	36	9.33	0.632
02/06/2019	9.78	15.43	35	9.88	0.432
03/06/2019	9.79	16.43	36	10.52	0.482
06/06/2016	9.78	18.82	35	12.04	0.564
09/06/2019	9.79	19.12	36	12.28	0.580
10/06/2019	9.72	19.46	36	12.45	0.636
11/06/2019	9.75	19.92	35	12.75	0.477
12/06/2019	9.84	20.7	36	13.25	0.652
13/06/2019	9.88	21.4	35	13.70	0.465
16/06/2019	9.91	21.7	36	13.89	0.470

Annexe

Tableau N° 9 : les paramètres physicochimiques dans la période l'après midi

Date	Période d'après midi				
	pH	CE m/s	T (°c)	salinité (g/l)	DO
14/05/2019	9.23	12.75	26	8.16	/
15/05/2019	9.66	13.35	26	8.54	/
16/05/2019	10.52	13.87	27	8.88	/
18/05/2019	10.12	14.67	27	9.39	/
19/05/2019	10.7	13.60	26	8.70	/
20/05/2019	9.77	13.86	28	8.87	0.281
21/05/2019	9.77	13.92	30	8.91	0.324
22/05/2019	10.11	13.97	31	8.94	0.389
23/05/2019	9.88	14.38	32	9.20	0.447
26/05/2019	10.22	17.24	32	11.03	0.634
27/05/2019	10.01	15.23	36	9.75	0.532
28/05/2019	9.59	14.18	35	9.08	0.460
29/05/2019	9.62	14.35	35	9.18	0.144
30/05/2019	9.70	14.60	35	9.34	0.632
02/06/2019	9.78	15.43	35	9.88	0.432
03/06/2019	9.77	16.63	36	10.64	0.482
06/06/2019	9.76	18.96	35	12.13	0.564
09/06/2019	9.79	19.12	36	12.24	0.580
10/06/2019	9.75	19.55	36	12.51	0.636
11/06/2019	9.84	20.01	36	12.81	0.477
12/06/2019	9.98	20.8	35	13.31	0.652
13/06/2019	9.88	21.5	36	13.76	0.465
16/06/2019	9.99	21.9	35	14.02	0.470

Résumé

Arthrospira platensis, plus couramment appelée spiruline, est une cyanobactérie filamenteuse ou algues bleu-vertes qui prolifère facilement dans les lacs alcalins et eaux saumâtres du monde entier. Dans le cadre de notre travail, nous avons d'essayé de cultiver au laboratoire de spiruline dans un climat différent de son climat préférentiel avec le suivi de l'évolution de la croissance au cours un mois, où nous prenons en compte les facteurs climatiques et physicochimiques qui affectent directement leur croissance. Après des essais au laboratoire, nous avons démontré que la culture de Spiruline dépend la qualité de l'eau utilisé (Miopliocène) dans notre travail est possible pour évolution naturelle et la croissance de cette algue à condition que cette eau soient clarifiées par traitement aérobique et supplémentées en éléments chimiques. Là où nous étions en mesure d'obtenir une biomasse de 1.22 g. Enfin, nous concluons que la spiruline a la capacité de croître malgré les différents facteurs climatiques si nous leur fournissons le centre agricole appropriée et que la base de bicarbonate de sodium et l'eau de puits et d'autres éléments chimiques qui leur fournissent les conditions de sa croissance.

Mots clés : spiruline, cyanobactérie, *Arthrospira platensis*, production, milieu de culture.

Summary

Arthrospira platensis, more commonly known as Spirulina, is a filamentous cyanobacterium or blue-green algae that is easily proliferating in alkaline lakes and brackish waters around the world. As part of our work, we have tried to cultivate at the Spirulina laboratory in a climate different from its preferential climate with the monitoring of the evolution of the growth over a month, where we take into account the climatic factors and physicochemical that directly affect their growth. After laboratory tests, we have demonstrated that the cultivation of Spirulina depends quality of the water used (Miopliocène) in our work is possible for natural evolution and the growth of this alga if this water is clarified by aerobic treatment and supplemented with chemical elements. Where we were able to get a biomass of 1.22 g. Finally, we conclude that spirulina has the ability to grow despite the different climatic factors if we provide them with the appropriate agricultural center and that the base of sodium bicarbonate and well water and other chemical elements that provide them with the conditions of its growth.

Key words: spirulina, cyanobacteria, *Arthrospira platensis*, production, culture medium.

المخلص

Arthrospira platensis ، المعروف أكثر باسم سبيروولينا ، عبارة عن بكتيريا خيطية أو طحالب خضراء زرقاء تنتشر بسهولة في البحيرات القلوية والمياه المالحة حول العالم. كجزء من عملنا، حاولنا أن نزرع في مختبر سبيروولينا في مناخ مختلف عن مناخه التفضيلي مع مراقبة تطور النمو على مدى شهر، حيث تأخذ في الاعتبار العوامل المناخية والكيمائيات الفيزيائية التي تؤثر بشكل مباشر على نموها. بعد الاختبارات المعملية، لقد أثبتنا على إمكانية زرع السبيروولينا في نوعية المياه المستخدمة (الموبليوسين) في عملنا. كما يعد أيضا أنه أمر ممكن للتطور الطبيعي ولنمو هذه الطحالب بشرط أن يتم توضيح هذه المياه عن طريق المعالجة الهوائية مع إضافة بعض العناصر الكيميائية للوسط. حيث تمكنا من الحصول على الكتلة الحيوية من 1.22 غرام. أخيرًا، نستنتج أن سبيروولينا لديه القدرة على النمو على الرغم من العوامل المناخية المختلفة إذا زدناهم بالوسط الزراعي المناسب وأن قاعدة بركونات الصوديوم ومياه الآبار والعناصر الكيميائية الأخرى التي توفر لهم الظروف من نموها.

الكلمات المفتاحية: سبيروولينا، سيانوبكتيريا، *Arthrospira platensis*، الإنتاجية، الوسط الزراعي.