



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du
Littoral

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
DE MASTER EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : Aquaculture

Maitrise des techniques de production de la Spirulina platensis htm

Présenté par :

 **ALIANE Adel**

Soutenu le 30/10/ 2014.devant la commission de jury :

Mme. MEHDID. S	(ENSSMAL)	Présidente
Mr. BELHASNAT. K	(ENSSMAL)	Promoteur
Mme. MESLEM. N	(ENSSMAL)	Examinatrice
Mme. BOUBECHICHE. Z	(ENSSMAL)	Examinatrice

Année universitaire:2013/2014

Remerciement

Avant de commencer la présentation de ce travail, je profite de l'occasion pour remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail de fin d'études.

Nous remercions Dieu pour nous avoir donné le courage et la patience et la volonté nécessaire afin d'achever ce travail dans les meilleures conditions.

*Nous tenons à remercier chaleureusement et particulièrement notre cher promoteur Mr **BELHASNAT** qui a été toujours à notre écoute et notre disposition tout au long de notre travail et nous a guidés dans toutes les démarches.*

Nous tenons à remercier également en avance le membre de jury :

*Mme **MEHDID. S.** d'avoir accepté de présider ce jury ;*

*Mme **MESLEM. N.** d'avoir accepté examiner ce travail ;*

*Mme **BOUBCHICHE. Z.** d'avoir accepté d'examiner notre travail ;*

*Je tiens particulièrement à remercier le responsable de la station expérimentale
d'ENSSMAL M. HANICHE HASSANE.*

Nous remercions également tous ceux qui ont participé à l'élaboration de ce modeste travail.

Merci à toutes et à tous.

Dédicaces

Que ce travail témoigne de mes respects

A mes parents ET mes vrais parents

Grâce à leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études.

Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers eux,

*Je prie le bon Dieu de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de
Moi.*

A mes chères sœurs : S, N, N, B, C, et à mes frères : T, I, F, B, A.

Et : W, R, Dj, F, S, A, H, T, K, M,

A tous mes professeurs

Leur générosité et leur soutien m'oblige de leurs témoigner mon profond respect et ma loyale considération.

A tous mes amis

Et

A tous mes collègues

Ils vont trouver ici le témoignage d'une fidélité et d'une amitié infinie.

ALIANE Adel

Liste des figures

Figure 1. Vision de la spiruline sous microscopie électronique	13
Figure 2. Morphologies typiques de la Spiruline.....	14
Figure 3. Zone de croissance naturelle de la Spiruline dans le monde	15
Figure 4. Cycle biologique de la Spiruline	20
Figure 5. Souche de spiruline <i>Spirulina HTam</i> trop concentrée.....	30
Figure 6. Culture de la spiruline à petite échelle (dans le milieu Zarrouk) au niveau de station expérimentale ENSSMAL	32
Figure 7. Les produits utilisés.....	33
Figure 8. Pesage des produits chimique	33
Figure 9. culture de la spiruline à petite échelle (dans le milieu LMK) au niveau de station expérimentale ENSSMAL.....	34
Figure 10. Cellule de numération Nageotte - réseau double - sans pinces	36
Figure 11. Schéma présentant la déposition de la lame et lamelle	36
Figure 12. Evolution de la température de l'eau, dans les deux milieux	41
Figure 13. Evolution du pH de l'eau, dans les deux milieux	41
Figure 14. Evolution de la Salinité de l'eau, dans les deux milieux	42
Figure 15. Evolution de la biomasse dans les deux milieux.....	43
Figure 16. Technique de récolte (tamisage)	44
Figure 17. Obtention de la poudre de spiruline a prés séchage	44
Figure 18. Observation microscopique de la spiruline.....	45

Liste des tableaux

Tableau 1. Zones potentiellement riches en spiruline.....	16
Tableau 2. Composition biochimique moyenne globale de la spiruline	20
Tableau 3. Pourcentage moyen des acides aminés de <i>Spirulina platensis</i> selon différents auteurs et de <i>Spirulina mexicana</i>	21
Tableau 4. Composition de la spiruline en Acides gras polyinsaturés	22
Tableau 5. Composition de la spiruline en minéraux	22
Tableau 6. Composition de la spiruline en vitamines	23
Tableau 7. Composition de la spiruline en pigments.....	23
Tableau 8. Composition chimique du milieu de culture de Zarrouk	31
Tableau 9. Composition de la solution A5	31
Tableau 10. Composition de la solution B6	31
Tableau 11. Composition chimique du milieu de culture LMK.....	32
Tableau 12. Paramètres initiaux	35
Tableau 13. Résultats obtenus pendant le contrôle des trois paramètres (milieu de Zarrouk).....	39
Tableau 14. Résultats obtenus pendant le contrôle des trois paramètres (milieu LMK à base d'eau douce).....	40
Tableau 15. Résultats obtenus pendant le Contrôle du développement algal dans les deux milieux	42

Sommaire

Introduction	9
I. Généralité	10
Spiruline	11
1. Historique	11
1.1 Dans le monde.....	11
1.2. En Algérie	11
2. Systématique	12
3. Morphologie	13
3.1. Morphologie typiques	14
4. Ecologie	15
4.1. Distribution géographique naturelle	15
4.2. Zones potentiellement riches en spiruline	16
5. Tolérance aux facteurs du milieu	18
5.1. Température	18
5.2. Lumière.....	18
5.3. pH	18
5.4. Salinité	19
6. Reproduction	19
6.1. Mode de reproduction.....	19
6.2. Cycle biologique	19
7. Composition biochimique	20
7.1. Acides Aminés	21
7.2. Acides gras essentiels	22
7.3. Glucides	22
7.4. Minéraux	22
7.5. Vitamines	23
7.6. Pigments	23
8. Utilisation	24
9. Toxicologie	25
10. Technique de culture	25
10.1. Ensemencement.....	25
10.2. Agitation	25
10.3. Ombrage.....	26
10.4. Récolte	26
10.5. Séchage.	26
11. Le maintien de la culture	26

11.1. Compensation minérale	26
11.2. Compensation hydrique	26
12. Conditions de culture	27
12.1. Lumière	27
12.2. Température	27
12.3. pH	27
12.4. Milieu de culture	27
12.5. Eau	28
12.6. Eléments nutritifs.....	28
I. Matériels et Méthodes.....	29
1. Souche utilisée	30
2. Milieux de culture utilisés	30
2.1. Milieu de Zarrouk	30
2.2. Milieu de culture LMK à base d'eau	32
2.3. Rôle de chaque élément composant les milieux de culture utilisés	33
3. Système de culture	34
4. Méthodes de culture	34
4.1. Ensemencement.....	34
4.2. Conditions de culture	35
4.3. Contrôle du développement algal	35
4.3.1. Description de la cellule de Nageotte	35
4.3.2. Manipulations qui précèdent le comptage	36
4.3.3. Méthode de calcul.....	37
III. Résultats et discussions.....	38
1. Conditions de culture	39
1.1. Température	41
1.2. pH	41
1.3. Salinité	42
2. Contrôle du développement algal	42
2.1. Contrôle du développement algal dans les de milieu	42
2.2. Evolution de la biomasse dans les deux milieux.....	43
• Discussions	43
3. Récolte	44
4. Séchage	44
• Discussions	45
5. Modification morphologique et changement de coloration	45
Conclusion	48
Références bibliographique.....	49

Introduction

Dans le monde, plus de 800 millions de personnes souffrent de sous alimentation dont 200 millions d'enfants de moins de 5 ans par ailleurs des milliers d'enfants meurent chaque année emportés par des maladies infectieuses sévèrement aggravées par la malnutrition.

On connaît actuellement quelques 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**).

Des centaines d'études publiées au cours des trente dernières années ont démontré que c'est la source d'aliments la plus riche de la nature (**AFAA, 1982**).

Cette micro-algue est considérée comme une ressources alimentaires non conventionnelles qui offre jusqu'à 70 % de protéines, des sels minéraux, des oligo-aliments et de nombreuses vitamines (**Salle M, et al. 1999**).

On peut Introduire la spiruline, soit directement dans les habitudes alimentaires du citoyen, soit indirectement, à travers l'amélioration du régime nutritionnel des poissons en aquaculture.

Les entreprises exploitant la spiruline dans le monde sont : en USA (Biogenics, Cyanotech, Earthrise Farms, Microalgae, International Inc) en Japon (Dainippon Ink +, Chemicals InC) en Inde (Ballapur Industries Ltd) et en Mexique (Texcoco) (**Isabelle, et al., 2002**).

Le développement de la culture de la spiruline passe obligatoirement par la connaissance de sa biologie et la maîtrise des techniques de production.

L'objectif de notre travail est d'étudier l'espèce *Spirulina Htam*, de mettre au point un système de culture de spiruline à base de produits locaux à bas prix et facilement réalisable par les agriculteurs et les investisseurs dans la culture de spiruline.

Notre mémoire est divisé en trois parties, la première partie présent les données bibliographiques sur la Spiruline.

La deuxième partie traite du matériel et des méthodes utilisés à culture de la Spiruline.

La troisième partie présente les résultats obtenus et leurs discussions.

Le document se terminera par une conclusion.

Chapitre I

Généralités

Spiruline

C'est un petit être aquatique (0,3 mm de long), vieux comme le monde dont le nom scientifique est "cyanobactérie *Arthrospira platensis*" (ne pas confondre avec la cyanobactérie marine dénommée scientifiquement "*Spirulina Htam*"), qui vit de photosynthèse comme les plantes et prospère naturellement dans les lacs salés et alcalins des régions chaudes du globe (**Jourdan, J P. 2014**).

1. Historique de la spiruline

1.1. Dans le monde

Les spirulines peuvent être considérées, comme de vrais fossiles vivants, âgés de plus de trois milliards d'années puisque les empreintes qu'elles ont laissées dans des terrains, remontant à cette époque, montrent qu'elles sont bien restées identiques jusqu'à aujourd'hui.

Depuis des temps immémoriaux, les Aztèques du Mexique précolombien en consommaient abondamment, mélangée à du maïs sous forme d'un plat : le "Tecuiûad", et en faisaient l'aliment de choix pour leur élite intellectuelle et sportive. La petite histoire raconte que ces Aztèques, qui ne connaissaient pas encore le cheval (introduit seulement au Mexique lors de la conquête espagnole en 1518), avaient des coureurs à pied qui se relayaient du golfe du Mexique jusqu'à Mexico afin d'apporter du poisson frais à leur empereur Montezuma. Afin que ces athlètes soient les plus performants possibles - car sans glace sous ce climat tropical, il fallait arriver vite pour que le poisson soit encore consommable à l'arrivée, on leur donnait une ration alimentaire composée principalement d'algues de spirulines.

Commencées au Mexique dans les années 60, les études sur la culture industrielle de *Spirulina maxima* se sont vues couronnées de succès à la fin des années 70. Le procédé découvert s'est alors développé dans de nombreux autres pays: USA (Californie et Arizona), Japon, Thaïlande, Taiwan, Antilles (Martinique) ; etc. ... (**Hiri, A. 2004**).

1.2. En Algérie

Aussi loin qu'on peut remonter dans le temps, les traditions culinaires en Algérie ne font à aucun moment allusion à la consommation ou l'utilisation de la spiruline.

En plus, son existence dans les eaux continentales de notre pays n'a été signalée qu'à travers des études de prospection réalisées au cours de ces 20 dernières années. En effet, seules quelques espèces ont été identifiées dans le lac El Goléa

Bien que sa présence ait été détectée dans d'autres régions du sud Algérien exactement à Tamanrasset. Il a fallu attendre cette dernière décennie pour que de modestes initiatives soient sérieusement entreprises. En effet, on rapporte quelques essais sur la culture et la production de la spiruline en tant qu'aliment nutritionnel appréciable en particulier dans la région de Tamanrasset.

Cette culture est aujourd'hui accompagnée d'un véritable programme de recherche concernant sa composition biochimique, ses conditions de culture optimale et sa production industrielle ; d'où l'intérêt d'entreprendre l'étude que nous présentons dans ce mémoire. **(Hiri, A. 2004).**

2. Systématique de la spiruline

D'un point de vue taxonomique, selon la classification dans le Manuel de Bergey de Bactériologie Déterminative", la spiruline (*Arthrospira*) appartient au groupe des cyanobactéries (Castenholz and Waterbury, 1989; Whitton, 1992), qui ont la classe selon **(Ripley, D, Fox, R. 1999)** dans:

Règne	<i>Monera</i>
Sous-règne	<i>Procaryota</i>
Phylum	<i>Cyanobacteria</i>
Classe	<i>Cyanophyceae</i>
Ordre	<i>Nostocales</i>
Famille	<i>Oscillatoriaceae</i>
Genre	<i>Arthrospira</i>
Espèce	<i>platensis</i>

3. Morphologie de la spiruline

En effet, elle est classée parmi les « algues bleu-vert », ce pour plusieurs raisons (CRUCHOT, H. 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).

Les cellules de cyanobactéries n'ayant pas de plastes individualisés.

La microscopie électronique a permis de mieux connaître la structure et le fonctionnement de ces cellules, capsule, paroi cellulaire pluristratifiées, le chromoplasma apparaît comme un système membranaire comprenant des thylakoïdes ; la spiruline ne renfermant pas de chloroplastes, ce sont ces thylakoïdes qui constituent les sites de photosynthèse, les ribosomes et des fibrilles de la région de l'ADN et de nombreuses inclusions

(Fig. 1) (Ciferri, O. 1983).

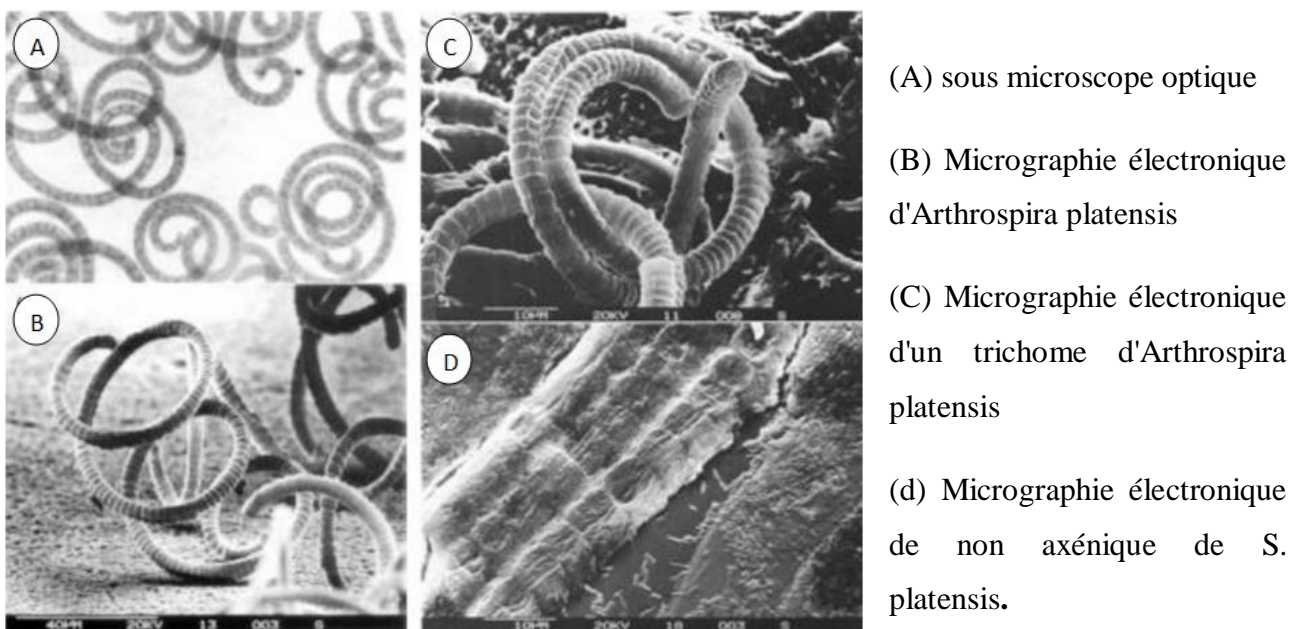


Figure 1. Vision de la spiruline sous microscopie électronique (Ciferri, O. 1983)

3.1. Morphologie typiques

Cette micro algue change de forme en fonction des caractéristiques physiques et chimiques du milieu dans lequel on la trouve. Mais on remarque aussi que dans un même milieu on trouve des variétés des formes (**Rich, F. 1931**). C'est peut-être l'origine de la confusion entre les termes Spirulina et Arthrospira.

La Spiruline a une longueur moyenne de 250 μm quand elle possède 7 spires. Elle est composée de filaments mobiles (de 10 à 12 μm de diamètre) non ramifiés et enroulés en spirales, qui ressemble à un minuscule ressort à boudin, d'où le nom de «Spiruline» (**Ciferri, O. 1983**).

On trouve cependant des Spirulines ondulées et parfois droites (Figure 2).

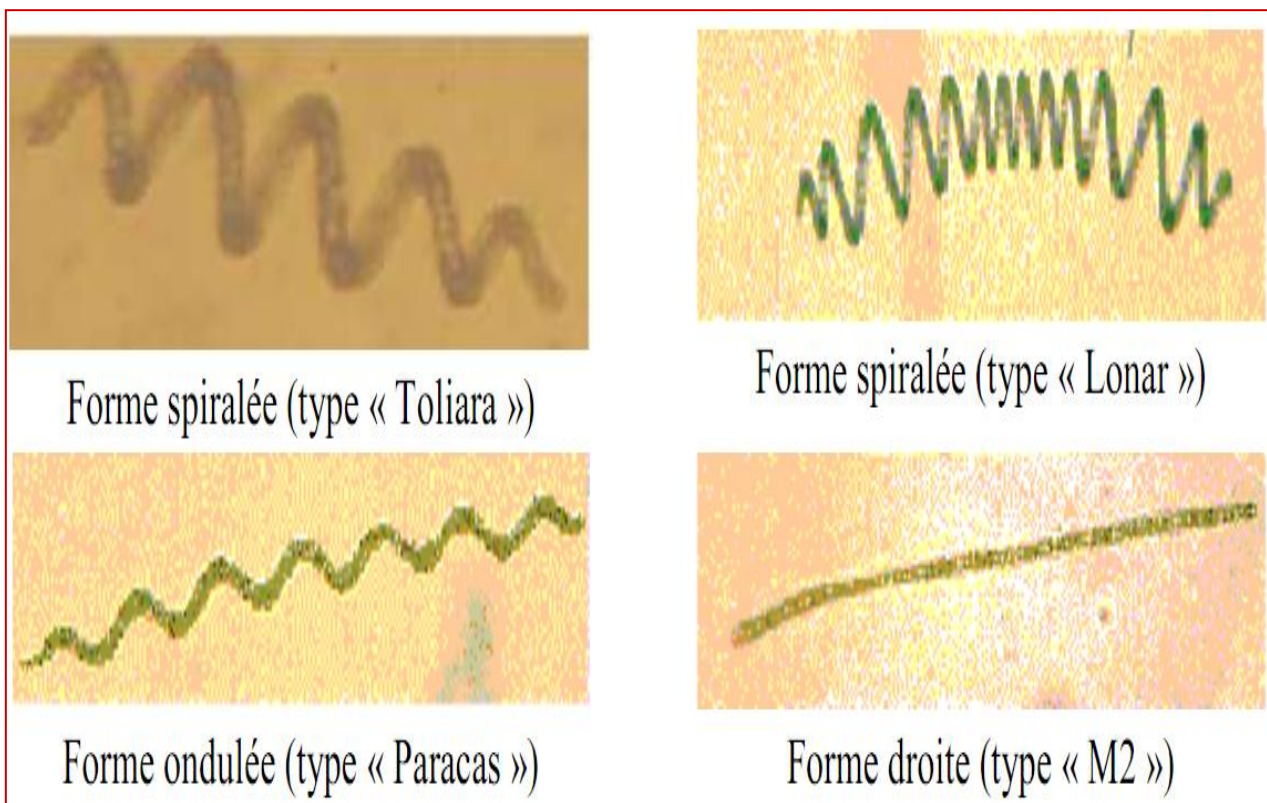


Figure 2. Morphologies typiques de la Spiruline.

Source : (Antenna Technologie).

4. Ecologie

4.1. Distribution géographique naturelle

La Spiruline se développe préférentiellement dans des eaux chaudes, alcalines et riches en nutriments azotés et phosphorés. Plus communément, elle s'observe dans les eaux saumâtres, ainsi que dans les lacs salins de régions tropicales et semi-tropicales (**Castenholz, RW. et al., 2001**).

Son caractère thermophile et ses besoins importants en lumière limitent son aire de répartition à une bande intertropicale située environ entre 35° de latitude Nord et 35° de latitude Sud.

Sa forte plasticité écologique permet de la retrouver à l'état naturel à la fois dans les lacs alcalins en Afrique (Tchad, Ethiopie, Tunisie, Madagascar), en Amérique latine (Mexique, Pérou), en Asie du Sud (Inde, Sri Lanka, Thaïlande).

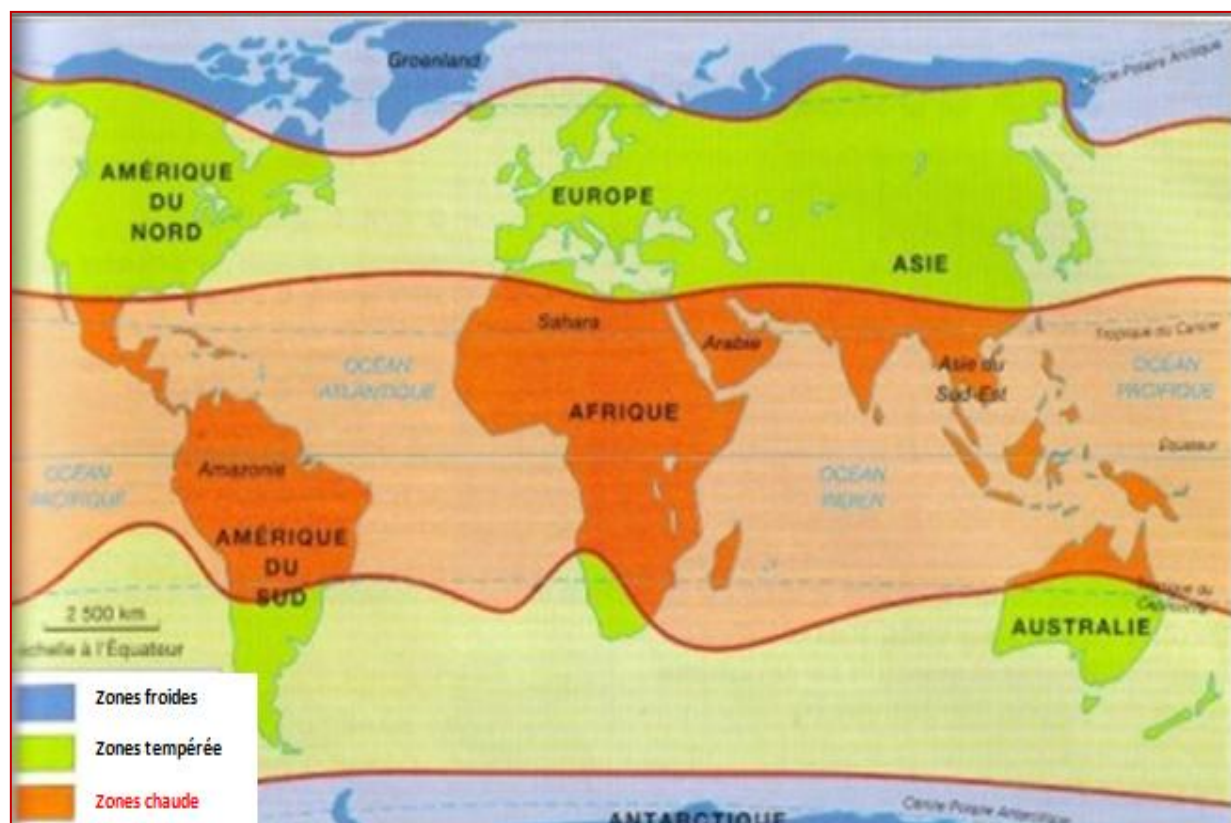


Figure 3. Zone de croissance naturelle de la Spiruline dans le monde (**Fox, R.Ripley, D. 1999**)

Les eaux les plus adaptées à la prolifération de la spiruline sont celle des lacs et des sebkhas où le taux de sel est assez élevé, ce qui donne des zones très alcalines (riche notamment en bicarbonates de sodium).

4.2. Zones potentiellement riches en spiruline

Tableau 1. Zones potentiellement riches en spiruline (Fox,R. Ripley, D. 1999)

AFRIQUE	
Algérie	Tamanrasset
Tchad	Région du Kanem : Lacs Latir, Ouna, Borkou, Katam, Yoan, Leyla, Bodou, Rombou, Moro, Mombolo, Liwa, Iseirom, Ouniangakebir
Soudan	Cratère de Djebel Marra
Djibouti	Lac Abber
Ethiopie	Lacs Aranguadi, Lesougouta, Nakourou, Chiltu, Navasha, Rodolphe
Congo	Mougounga
Kenya	Lacs Nakuru, Elmenteita, Cratère, Natron
Tanzanie	Lac Natron
Tunisie	Lac Tunis; Chott el Jerid
Zambie	Lac Bangweoulou
Madagascar	Beaucoup de petits lacs près de Toliara
ASIE	
Inde	Lacs Lonar et Nagpur
Myanmar	Lacs TwynTaung, Twyn Ma et TaungPyank
Sri Lanka	Lac Beira
Pakistan	Mares près de Lahore
Thaïlande	Lacs d'effluents d'une usine de tapioca, province de Radburi, 80 km au S.O. de Bangkok
Azerbaïdjan	(Woronichin ;1924)
AMERIQUE DU SUD	
Pérou	Réservoir d'eau près de Paracas Près de l'île d'Amantani dans le lac Titicaca
Mexique	Lac Texcoco ; lac Cratère
Uruguay	Montevideo
Equateur	Lac Quiliotoa : cratère de 1km de diamètre

AMERIQUE DU NORD	
Californie	Oakland ; Del Mar Beach
Haïti	Lac Gonâve
République Dominicaine	Lac Enriquillo
EUROPE	
Hongrie	
France	Camargue
AUTRES SITES POSSIBLES	
Partout où vivent et se reproduisent le flamant nain, <i>Phoenicoparus minor</i> , en Afrique et en Asie, et le flamant de James, <i>Phoenicoparus jamesi</i> , en Amérique du Sud (Ogilvie M. & C., 1986)	
Ethiopie	Lac Abiata
Kenya	Lac Rodolphe ; lac Hannington
Tanzanie	Lac Manyara ; lac Rukua
Zambie	Lac Mweru
Botswana	Makgadigka Salt Pans
Namibie	Etosha Salt Pan
Afrique du Sud	Etat libre d'Orange, près de Vaaldam
Bolivie	Lacs Colorado, Poopo, Chalviri, Salar de Uyuni
Chili	Aguas Calientes, Lagunas Brava, lac Vilama, Salar de Surire
Mauritanie	Côte sud
Inde	Rann of Kutch ; Gujarat
Madagascar	Côte Ouest

Comme nous pouvons le voir sur ce tableau, la spiruline peut même pousser dans des lacs volcaniques (lac Quiliotoa, en Equateur). Plus généralement, elle croît dès que l'eau est riche en carbonate ou bicarbonate de sodium, d'autres minéraux et une source d'azoté fixé.

C'est pourquoi on peut en trouver aussi dans certains déserts, à l'endroit de ramassage de l'eau provenant occasionnellement des montagnes (Fox, R. Ripley, D. 1999).

5. Tolérance aux facteurs du milieu

5.1. Température

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

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

5.2. Lumière

La lumière est la source d'énergie primaire des organismes réalisant la photosynthèse. Celle-ci est indispensable. Pour les micro-algues les durées et les périodes d'ensoleillement seront déterminantes. Les régions les plus ensoleillées seront les plus favorisées pour la culture de micro-algues y compris la spiruline.

Une très forte lumière (plein soleil) peut être dangereuse dans les cas suivants:

- Sur une culture froide (moins de 14-15°C), surtout si brusque illumination
- Sur une culture très chaude, car échauffement supplémentaire
- Sur une culture très diluée (Secchi de plus de 6 cm)

Par contre, une culture en bonnes conditions de concentration et de température pourra être exposée avec profit à un maximum de lumière naturelle. On réduit volontairement la luminosité par ombrage si l'on désire freiner la croissance de la spiruline, ou si on se trouve dans l'un des trois cas précédents (**Jourdan, J P. 2006**).

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

5.3. PH

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

S'il doit être inséminé pour démarrer une nouvelle culture, son pH doit être d'au moins 9 : s'il est trop bas la culture risque de mal démarrer, avec formation de grumeaux ou précipitation de la spiruline au fond. Le natron ou le mélange carbonate + bicarbonate, ou l'eau de cendre carbonatée sont donc bien adaptés à ce cas (**Fox, R. Ripley, D. 1999**).

Par contre si le milieu neuf doit servir d'appoint à une culture existante son pH peut être avantageusement voisin de 8, ce qui contribue à maintenir le pH de la culture suffisamment bas par rapport au milieu riche en bicarbonate. (**Jourdan, J P. 2006**).

5.4. Salinité

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

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

6. Reproduction

6.1. Mode de reproduction

Son mode de reproduction est la bipartition par scission simple. C'est une reproduction asexuée, par segmentation des filaments ; ce processus ne doit pas être confondu avec la mitose, laquelle n'existe que chez les eucaryotes. Sa vitesse de multiplication est particulièrement rapide dès que la température dépasse 30°C à l'ombre ; lorsque ces conditions sont réunies et que le milieu est favorable, le temps de génération est très court (7 heures). (**Jourdan, J P. 2006**).

Les filaments microscopiques se développent simultanément et ils constituent des "fleurs d'eau" également appelés "blooms" (**Fox, R . Ripley, D. 1999**).

6.2. Cycle biologique

Le cycle biologique de la Spiruline selon (**Cefferri, O.1983**) est le suivant (Fig.4) : un filament en maturité forme des cellules spéciales appelées nécridies, au niveau de ces cellules le trichome se fragmente pour donner naissance à de nouveaux individus de courtes chaînes (2 à 4 cellules) appelées hormogonies. Par division binaire des cellules, les hormogonies croissent en longueur et prennent la forme typiquement hélicoïdale.

Dans les conditions expérimentales, le temps de génération maximal de la Spiruline est voisin de 7 heures (**Jourdan, J P. 2006**).

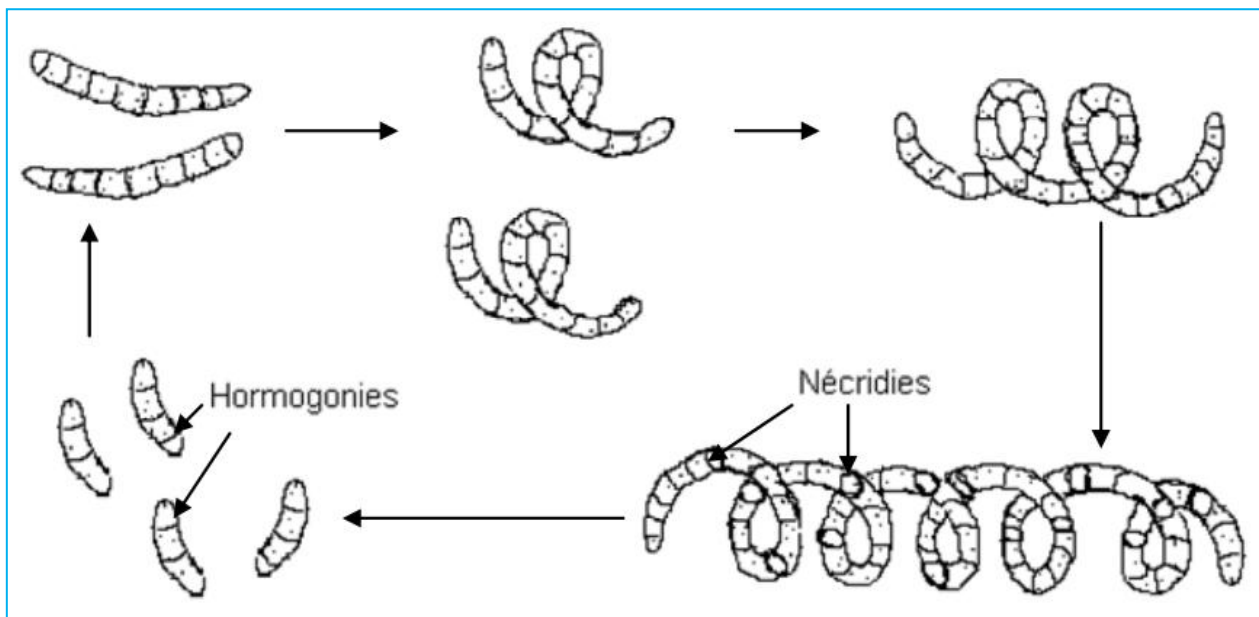


Figure 4. Cycle biologique de la Spiruline selon (Balloni, W. *et al.*, 1980)

7. Composition biochimique de la spiruline

Selon les différentes études réalisées afin de déterminer de façon précise les teneurs en nutriments et micronutriments de la spiruline, il apparaît des écarts assez conséquents. En premier lieu, cela vient du fait qu'il existe différentes souches de spirulines, les différentes méthodes de culture, récolte, séchage et conservation des échantillons influencent davantage les écarts de composition biochimique (Falquet, J. *et al.*, 2006).

C'est pourquoi toutes les spirulines proposées sur le marché mondial ne sont pas exactement identiques sur le plan de leur composition nutritionnelle. Les teneurs évoquées dans le (Tableau 3) sont donc des valeurs moyennes.

Tableau 2. Composition biochimique moyenne globale de la spiruline (Jourdan, J P. 2006)

Protéines	65%
Glucides	15%
Lipides	6%
Minéraux	7%
Fibres	2%
Eau	5%

7.1. Acides Aminés

Tableau 3. Pourcentage moyen des acides aminés de *Spirulina platensis* selon différents auteurs et de *Spirulina mexicana* d'après (Charpy, L. 2008)

Acides Aminés	Jacquet 1974	Clément 1975b	Ripley D. Fox, 1999	Borowitzka, 1988 in Charpy, 2008
Acides aminés essentiels (%)				
Isoleucine	5,60	6,40	5,98	5,70
Leucine	8,00	9,00	8,71	8,70
Lysine	4,20	4,80	5,28	5,10
Méthionine	2,25	2,60	2,85	2,60
Phénylalanine	4,40	4,60	5,09	5,00
Thréonine	4,70	5,50	5,58	5,40
Tryptophane	1,00	1,60	1,48	1,50
Valine	5,70	6,90	7,72	7,50
Acides aminés non essentiels (%)				
Alanine	7,25	7,90	8,24	7,90
Arginine	6,60	6,70	7,92	7,60
Acide aspartique	9,30	9,20	9,50	9,10
Cystéine	0,95	0,90	0,93	0,90
Acide Glutamique	NC	12,90	13,20	12,70
Glycine	4,80	5,00	5,07	4,80
Histidine	1,60	1,60	1,50	1,50
Proline	3,60	3,90	4,32	4,10
Sérine	5,00	5,60	5,46	5,30
Tyrosine	4,30	4,90	NC	4,60

7.2. Acides gras essentiels

Tableau 4. Composition de la spiruline en Acides gras polyinsaturés (Isabelle, T. *et al.*, 2002)

	Minimum	Maximum
Lipides totaux	6,0 %	7,0 %
Acides gras insaturés		
Palmitoleique (C16)	1490 mg/kg	2035 mg/kg
Palmitolinoléique (C16)	1750	2565
Heptadécanoïque (C17)	90	142
Oléique (C18)	1970	3009
Linoléique (essentiel) C18	10920	13784
γLinoléique (ess.) C18	8750	11970
α Linoléique (C16)	699	7000

7.3. 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%) (Ciferri, O, 1983).

7.4. Minéraux

Tableau 5. Composition de la spiruline en minéraux. (Charpy, L, 2008)

Minéral	Teneur en g/kg de matière sèche
Potassium (K)	13.6
Phosphore (P)	8.09
Calcium (Ca)	5.35
Sodium (Na)	4.1
Magnésium (Mg)	3.0
Chlore (Cl)	1.53
Fer (Fe)	0.86
Manganèse (Mn)	0.03
Zinc (Zn)	0.02
Cuivre (Cu)	0.004
Chrome (Cr)	0.002
Bore (B)	0.01
Sélénium (Se)	0.002
Germanium (Ge)	0.0006
Molybdène (Mo)	0.001

7.5. Vitamines

Tableau 6. Composition de la spiruline en vitamines (Isabelle, T. *et al.*, 2002)

Vitamines	Teneur (mg/Kg de matière sèche)	Besoin/jour (mg pour un adulte)
β Carotène (pro-A)	1 700	
Thiamine (B1)	55	1.5
Riboflavine (B2)	40	1.8
Pyridoxine (B6)	3	2
Cyanocobalamine (B12)	0.4	0.003
Acide ascorbique (C)	90	15-30
Tocophérol (E)	190	/
Acide nicotinique (PP)	118	/
Acide folique	0.5	0.4
Inositol	350	
δ-Ca-Panthoténate	11	6-10
Biotine (H)	0.4	0.1-0.3

7.6. Pigments

Tableau 7. Composition de la spiruline en pigments (Charpy, L. 2008)

PIGMENT	Minimum	Maximum
Xanthophylles	1,4 g/kg	1,8g/kg
P-carotenc	1,5 g/kg	1,9 g/kg
Chlorophylle-a	6,1g/kg	7,6g/kg

8. Utilisation

Aujourd'hui, la spiruline a été commercialisée et consommée comme aliment humain et a été approuvée 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, Belarus, 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 (**Vonshak, A. et al., 1997**).

La spiruline est utilisée (**Charpy, L. 2008**):

- Pour la santé, une alimentation équilibrée, et pour renforcer le système immunitaire
- Dans l'agroalimentaire, comme colorant naturel dans les chewinggums, 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 aquaculture pour favoriser la croissance et la fertilité, et augmenter les performances des animaux
- En aquariophilie pour améliorer la coloration des poissons exotique
- En élevage larvaire, elle est utilisée à hauteur de 1 à 10% de l'alimentation pour augmenter la résistance immunologique des larves (**Henrikson, R. 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'Artémia et les daphnies.

9. 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 virtuel de *Arthrospira platensis*, ainsi qu'aucun cas avéré d'intoxication par la Spiruline n'a été rapporté (**Belay, A. 2007**).

Des tests d'alimentation indépendants en France, au Mexique et au Japon n'ont pas montré des résultats d'intoxication par la Spiruline sur les humains, les rats, les porcs, les poulets, les poissons et les huîtres (**Chamorro, G. et al., 1996**).

10. Technique de culture

10.1. Ensemencement

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

10.2. 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 (**Jourdan, J P. 1999**).

10.3. 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 (**Jourdan, J P. 1999**).

Si le climat chaud, il est nécessaire de laisser le réservoir sans ombrage pour refroidissement la culture à partir de l'évaporation.

10.4. 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 croit 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 (**Jourdan, J P. 1999**).

10.5. Séchage

Si on a aucune intention de consommer la spiruline fraîche ou on veut la conserver, il va falloir la sécher, ce qui est une bonne façon de conserver la spiruline sur une longue période (**Jourdan, J P. 1999**).

11. Le maintien de la culture

11.1. Compensation minérale

Chaque fois qu'on récolte de la spiruline, il faut remettre dans la culture une quantité d'intrants en rapport avec ce qui vient de sortir sous forme de biomasse en spiruline sans attendre l'épuisement du milieu. Il est facile de calculer les besoins en nutriment minéral de la spiruline en comparant leur composition élémentaire avec les produits dont on dispose (**Jourdan, J P. 1999**).

11.2. Compensation hydrique

La teneur en eau du milieu doit impérativement être constante. Il doit être mesuré le niveau de l'eau de culture régulièrement, en ajoutant la quantité nécessaire d'eau qui ne dépasse pas plus de 10 % de volume de réservoir de la culture par jour (**Jourdan, J P. 1999**).

12. Condition de culture

Il existe trois facteurs déterminants pour la culture de microalgues : la température, la lumière et le pH. Les microalgues sont sensibles à toute variation brutale des paramètres de culture. D'autres facteurs moins importants seront aussi à prendre en compte comme l'agitation du milieu par exemple.

12.1. Lumière

La lumière est la source d'énergie primaire des organismes réalisant la photosynthèse. Celle-ci est indispensable. Pour les microalgues les durées et les périodes d'ensoleillement seront déterminantes. La spiruline possède un optimum d'irradiance, au-delà, un excès de lumière peut être nuisible. A partir d'un certain seuil, il y aura photoinhibition et destruction des cellules par la lumière (**Jourdan, J P. 1999**).

12.2. Température

La température est le paramètre qui va contrôler la vitesse des réactions. Celle-ci a tendance à fortement augmenter sous serre ou en plein soleil et crée des problèmes d'évaporation du milieu de culture. Il faudra penser à réguler ce paramètre La température optimale de croissance de la spiruline, est situé dans l'intervalle 35-38 °C, tandis que la le minimum est situé de 15-20°C (**Belay, A. 2007**).

12.3. pH

La culture de la spiruline le pH sera entre 8.5 et 10.5 (Jourdan, J P, 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⁻ (**Danesi E.D.G. et al., 2004**).

12.4. Milieu de culture

Généralement, le milieu utilisé est basé sur le milieu original de Zarrouk (1966) et qui est typiquement composé d'eau, le carbonate/bicarbonate de sodium, une source d'azote, le phosphore, le fer et d'autres minéraux de trace (**Belay, A. 2007**).

12.5. Eau

L'un des paramètres les plus importants pour une culture de spiruline, est la qualité de l'eau utilisée, de façon de leur composition chimique.

Les limites de salinité d'eau, est généralement assez larges, mais on se place souvent vers les minima, cela pour des raisons d'économie et de productivité, avec une salinité totale de 13 g/l, avec zone optimale de développement qui se situe entre 22 et 62 (**Jourdan, J P. 1999**).

A démontré que la Spiruline exposée à haute concentration en Na-Cl non seulement entre immédiatement en cessation de croissance, mais sa biomasse diminue pendant au moins 24 h après cette exposition, car l'activité photosynthétique de la Spiruline diminue sous le stress de la salinité, même si elle croît continuellement dans l'environnement salin et s'adapte à ce milieu. Cette diminution est associée à une modification de la demande cellulaire en énergie lumineuse, c'est à dire qu'elle a besoin de moins de lumière pour saturer la photosynthèse.

12.6. Eléments nutritifs

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

- **bicarbonate de sodium (NaHCO₃)**: est la source d'alcalinité, qui peut aussi apporté 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** : 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...

Chapitre II

Matériel et méthodes

1. Souche utilisée

Nous avons choisi de travailler sur la spiruline du Hoggar. C'est une espèce localement isolée et purifiée par HIRI, Abdelkader en 1998. géophysicien de la région de Tamanrasset. Nous identifions pour l'étude en cours, cette souche sous le code *Spirulina HTam* (HIRI ,2004).

Le prélèvement de la souche mère s'est fait dans un site dénommé Guelta du palmier (Tamanrasset) situé à 1824 m d'altitude à 23°N et 5°E



Figure 5. Souche de spiruline *Spirulina HTam* trop concentrée

2. Milieux de culture utilisés

Deux milieux de culture ont été utilisés :

2.1. Milieu de Zarrouk

Ce milieu est la référence. Il est économique et s'adapte à presque toutes les souches de spiruline, ce qui simplifie considérablement le travail de l'algoculteur. Toutefois, ses constituants sont chers et ne sont pas toujours faciles à trouver. Le tableau ci-dessous donne sa composition (JOURDAN, JP ,1997).

Tableau 8. Composition chimique du milieu de culture de Zarrouk (JOURDAN, JP, 1997)

Composition du milieu de base	Quantité (en g/l de solution aqueuse)
NaHCO ₃	16.8
K ₂ HPO ₄	0.5
NaNO ₃	2.5
K ₂ SO ₄	1.0
Na Cl	1.0
MgSO ₄ , 7 H ₂ O	0.2
CaCl ₂	0.04
FeSO ₄ , 7 H ₂ O	0.01
EDTA (acide éthylène diaminotétracétique)	0.08
1ml de la solution A5	1 ml /1L de solution aqueuse
1ml de la solution B6	1 ml /1L de solution aqueuse

Tableau 9. Composition de la solution A5

Composition de la solution A5	Quantité (en g/l)
H ₃ BO ₃	2.86
MnCl ₂ , 4 H ₂ O	1.81
ZnSO ₄ , 7 H ₂ O	0.22
CuSO ₄ , 5 H ₂ O	0.08
MoO ₃	0.015

Tableau 10. Composition de la solution B6

Composition de la solution B6	Quantité (en g/l)
NH ₄ VO ₃	9.22
K ₂ Cr ₂ (SO ₄) ₄ , 24 H ₂ O	0.96
NiSO ₄ , 7 H ₂ O	8.47
Na ₂ WO ₄ , 2 H ₂ O	9.17
Ti ₂ (SO ₄) ₃	0.40
Co(NO ₃) ₂ , 6 H ₂ O	0.44

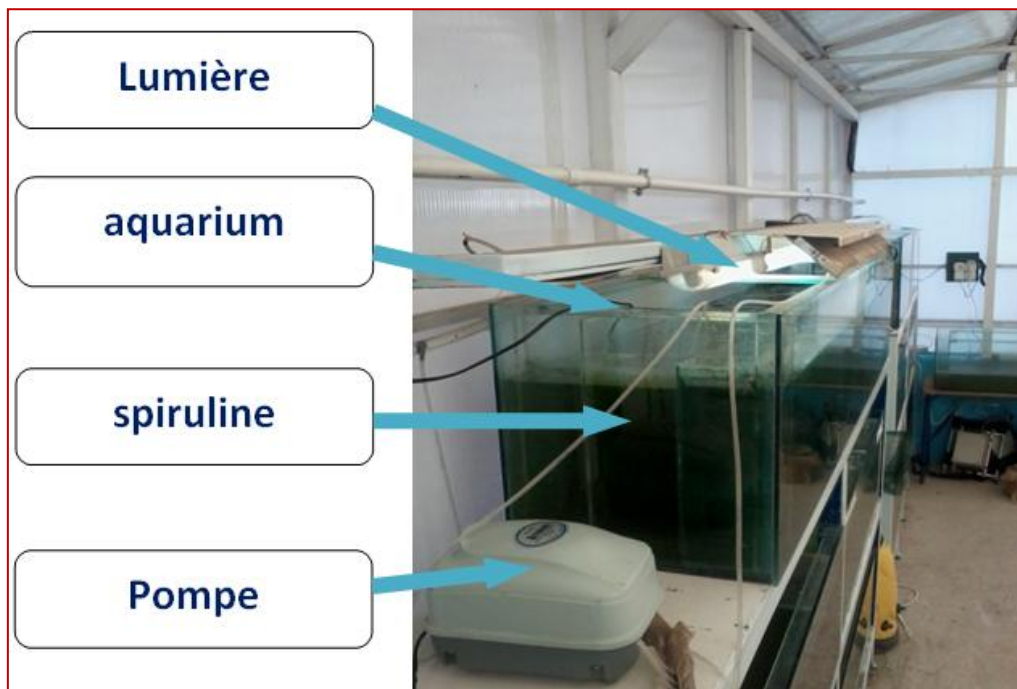


Figure 6. Culture de la spiruline à petite échelle dans le milieu Zarrouk
(Station expérimentale ENSSMAL)

2.2. Milieu de culture LMK à base d'eau douce (milieu d'ENSSMAL)

Milieu proposé au niveau de Laboratoire d'ENSSMAL

Tableau 11. Composition chimique du milieu de culture LMK à base d'eau douce

Produits	Quantités g/l
Chlorure de sodium	13
Eau douce dénazifiée	1 L
Carbonate de sodium	2
Engrais N.P.K	2
Urée	0,5
Phosphate d'ammonium	0,1
Sulfate de magnésium	0,1
Sulfate de potassium	0,5
Sulfate de fer	0,01
Chlorure de calcium	0,1

Préparation de milieu de culture LMK



Figure 7. Les produits utilisés



Figure 8. Pesage des produits chimique

2.3. Rôle de chaque élément composant les milieux de culture utilisés

✓ Potassium et le sodium

Ils interviennent dans la régulation de la pression osmotique (passage des liquides à travers les membranes et parois des cellules).

✓ Phosphore

C'est un composant de la molécule NADP^+ et un accepteur d'énergie dans la photosynthèse.

✓ Fer

Se trouve dans le groupe « heme » de protéines à pigments appelées cytochromes qui transfèrent les électrons dans la chaîne photosynthétique de formation des molécules organiques.

✓ Calcium

Il intervient dans la synthèse des protéines à partir des nitrates.

✓ Manganèse

C'est un donneur d'électrons à la base de l'échelle d'énergie dans la photosynthèse.

✓ Cuivre, zinc, molybdène, cobalt et d'autres oligo-éléments

Ils sont inclus dans les vitamines et les enzymes qui, comme chez l'être humain, permettent l'édification et l'entretien de molécules essentielles, leur incorporation dans des structures spécialisées de cellules et leur interfonctionnement.

Sans un équilibre correct de ces éléments, on ne peut pas cultiver les algues,

3. Système de culture

Pour la culture de la spiruline au niveau de la station expérimentale on a utilisé des aquariums de 200L équipé d'une résistance chauffante pour le maintien de la température supérieure de 30°C, d'un système d'aération pour éviter la sédimentation de la spiruline, et de deux néon pour l'éclairage permanent pour favoriser la photosynthèse.

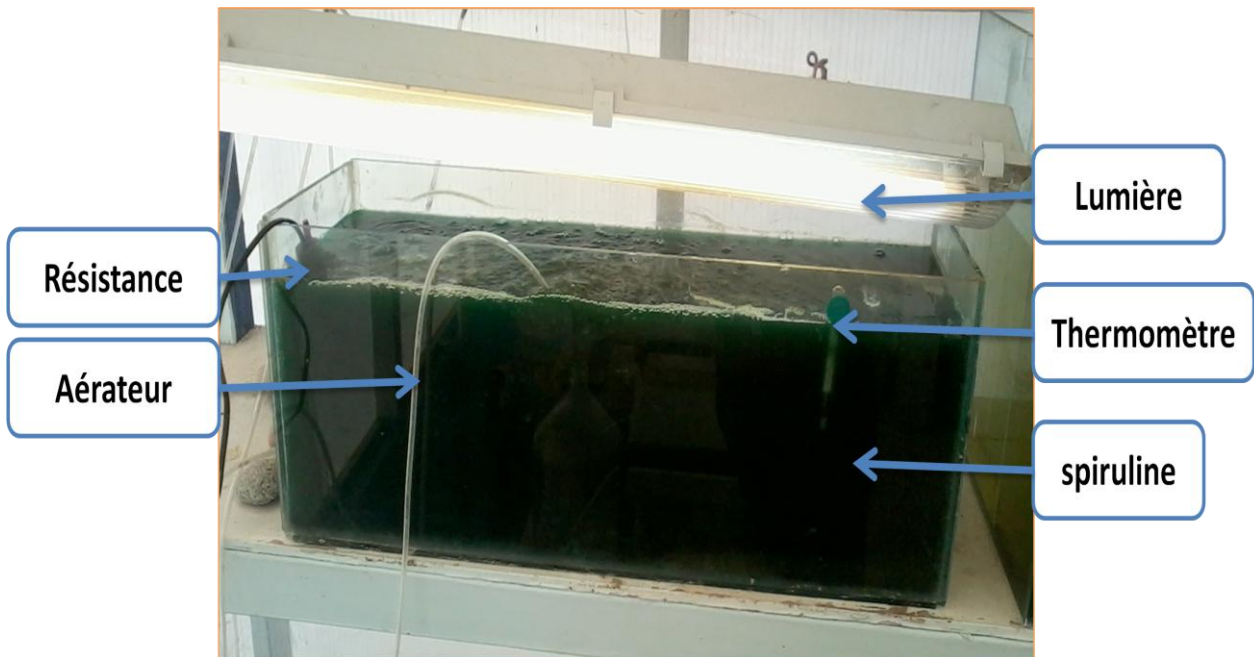


Figure 9. Culture de la spiruline à petite échelle dans le milieu LMK

(Station expérimentale ENSSMAL)

4. Méthodes de culture

À petite échelle :

4.1. Ensemencement

La culture à petite échelle a été réalisée dans un aquarium de 200 litres (figures 6, 9). Au démarrage de la culture le volume de milieu utilisé est de 50 L dans 200 L à testé, Le dédoublement du volume de culture se fait en fonction du développement de la biomasse.

4.2. Conditions de culture

Tableau 12. Paramètres initiaux (démarrage de la culture)

Paramètres	valeur	Equipements utilisés
Température	28°C	Thermomètre
pH	9,5	pH mètre
Salinité	13‰	Salinomètre
Lumière	Permanant	/

4.3. Contrôle du développement algal

Le contrôle du développement algal a été réalisé à l'aide d'une cellule de Nageotte. La cellule de Nageotte Est un hématimètre qui permet de compter le nombre de cellules en suspension dans une solution. Classiquement, elle est utilisée en urinaire ou pour l'examen du liquide céphalo-rachidien. Elle est prévue pour le dénombrement de liquides pauvres en éléments. Le quadrillage est constitué de larges et longues colonnes. Les mesures du volume élémentaire que représente une colonne permettent de déterminer alors la concentration cellulaire du liquide. Ces mesures sont la profondeur entre lame et lamelle (0,5 mm), la largeur de la colonne (0,25 mm) et la longueur de cette colonne (10 mm). Ainsi le volume de chaque colonne est de 1,25 µl. Les protocoles de comptage indiquent de choisir dès le départ la règle de comptage : les cellules chevauchant uniquement les bords gauche et bas seront prises en comptes. Plus de colonnes sont comptées, meilleure est la représentativité du comptage.

4.3.1. Description de la cellule de Nageotte

Caractéristiques de la cellule de Nageotte

- Quadrillage total constitué de 40 bandes
- Les dimensions d'une bande : L : 10 mm l : 0,25 mm H : 0,50 mm
- Chaque bande a un volume de 1,25 µl

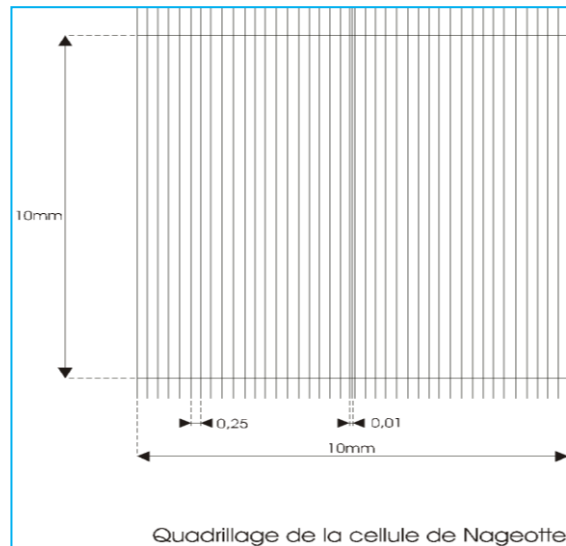


Figure 10. Cellule de numération Nageotte - réseau double - sans pinces

4.3.2. Manipulations qui précèdent le comptage

Avant de charger la cellule

De la même façon que l'on procède avec un hématimètre (Thoma ou Malassez), les bords de la cellule (là où reposeront les bords de la lamelle) doivent être humectés avec un tout petit peu de liquide afin d'assurer une bonne adhésion de la lamelle :

La manière la plus efficace et la plus pratique consiste à le faire à l'aide d'un doigt dont l'extrémité a été très légèrement humidifiée avec de l'eau ou de la salive.

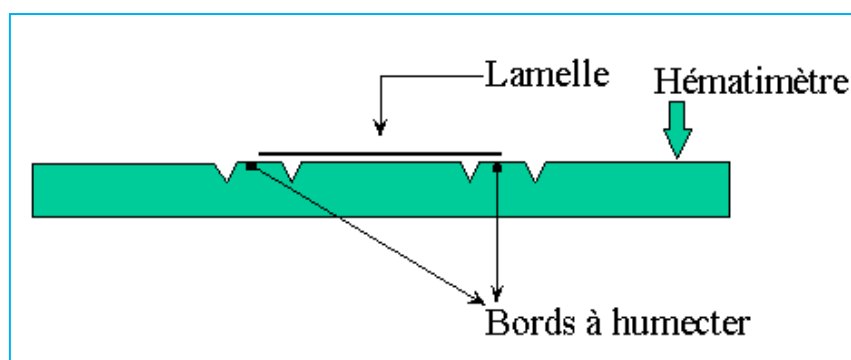


Figure 11. Schéma présentant la déposition de la lame et lamelle

- Placer une lamelle plane sur la cellule puis appuyer légèrement pour assurer sa bonne adhésion entre la lamelle et les bords de la cellule
- Poser la cellule sur une surface bien horizontale (par exemple la platine du microscope).

Comptage par la cellule de Nageotte

4.3.3. Méthode de calcul

La moyenne des cellules comptées a l'aide d'une cellule de Nageotte X facteur de dilution(F.D) :
(100 ml)

La moyenne des cellules comptée pare la cellule de Nageotte X F.D \longrightarrow 1.25 mm³
 Nombre cellule / ml \longrightarrow 1000 mm³

Donc :

$$\text{Nombre cellule / L} = \frac{(\text{La moyenne des cellules comptée X F.D X } 1000 \text{ mm}^3)}{1.25 \text{ mm}^3} \times 1000$$

Chapitre III

Résultats et discussion

1. Conditions de culture

Tableau 13. Résultats obtenus pendant le contrôle des trois paramètres (milieu de Zarrouk)

Jours	Température C°	pH	Salinité g/l
Le 09/06/2014	32,6	8,72	19,7
Le 10/06/2014	32,8	10,10	19,3
Le 11/06/2014	33,1	10,49	15,9
Le 12/06/2014	33,2	10,14	16
Le 13/06/2014	33,1	10,25	16,6
Le 014/06/2014	33,2	10,05	16,9
Le 15/06/2014	33,3	10,03	17,6
Le 16/06/2014	33,2	10,16	19,4
Le 17/06/2014	33,5	9,72	17
Le 18/06/2014	33,6	9,73	17,7
Le 19/06/2014	34,2	9,71	18,1
Le 22/06/2014	34,7	9,71	18,4
Le 23/06/2014	34,8	9,83	18,9
Le 24/06/2014	34,9	9,84	19,4
Le 25/06/2014	34,8	9,88	19,6
Le 26/06/2014	34,7	9,90	19,9
Le 27/06/2014	34,9	9,89	20,1
Le 28/06/2014	35	9,98	20,7
Le 29/06/2014	34,7	10,4	20,7
Le30/06/2014	34,8	9,99	21,4

Tableau 14. Résultats obtenus pendant le contrôle des trois paramètres (milieu LMK à base d'eau douce)

Jours	Température C°	pH	Salinité g/l
Le 09/06/2014	34,7	9,69	16,4
Le 10/06/2014	34,4	9,87	17,4
Le 11/06/2014	34,5	10	19,2
Le 12/06/2014	35	10,2	19
Le 13/06/2014	35,4	10,6	19,5
Le 014/06/2014	35,3	10,9	19,8
Le 15/06/2014	35,4	10,89	20,1
Le 16/06/2014	35,2	10,96	21,6
Le 17/06/2014	34,8	11,01	21,5
Le 18/06/2014	34,9	11,02	21,5
Le 19/06/2014	35	11,04	21,6
Le 22/06/2014	34,8	11 ,03	21,5
Le 23/06/2014	34,9	11,02	21,6
Le 24/06/2014	35,2	11,03	21,7
Le 25/06/2014	35,3	11,04	21,7
Le 26/06/2014	35,4	11,05	21,8
Le 27/06/2014	35,3	11,01	21,9
Le 28/06/2014	35,2	11,05	21,8
Le 29/06/2014	35,2	11,06	21,9
Le30/06/2014	35,3	11,04	21,9

1.1. Température

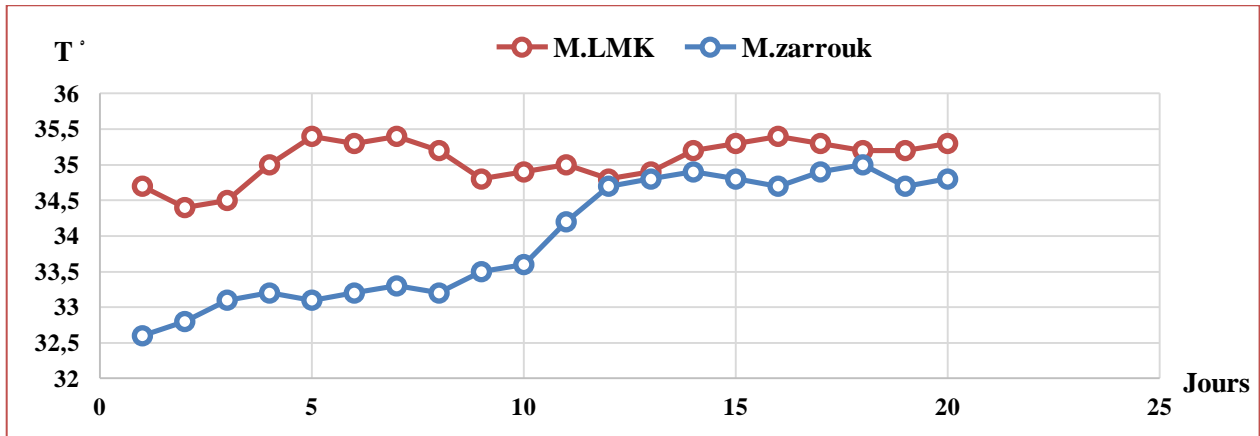


Figure 12. Evolution de la température de l'eau, dans les deux milieux

La température a varié de 32.6 à 35°C pour les deux milieux, La température reste favorable pour le développement de la spiruline dont l'optimum se situe à 35°C (Jourdan J P, 2006).

La température minimale pour le développement de la spiruline est de 20°C (FOX, Ripley D. 1999).

1.2. pH

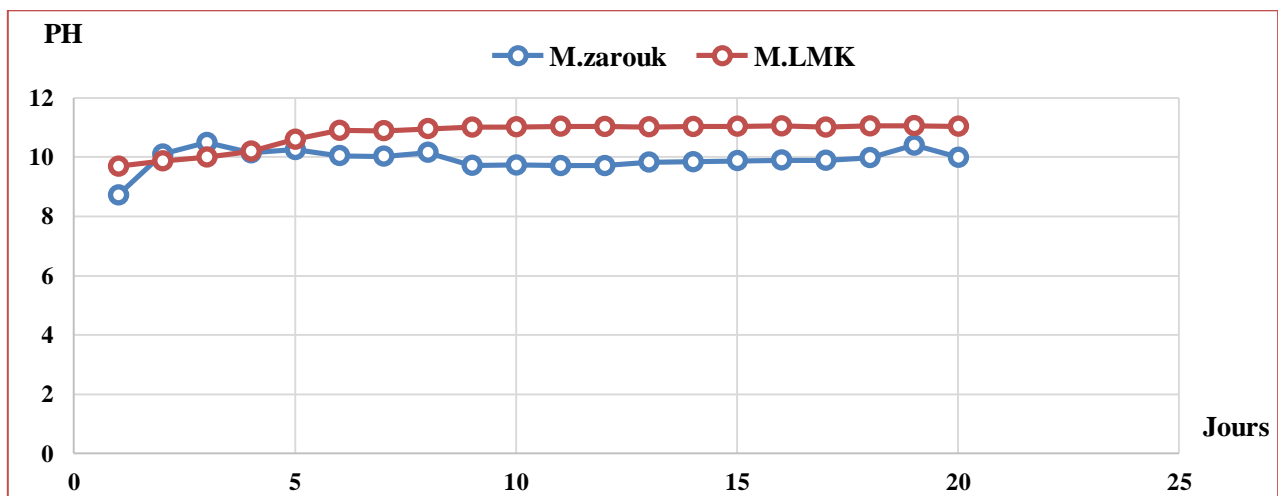


Figure 13. Evolution du pH de l'eau, dans les deux milieux

Le pH varie pour les deux milieux de 8,72 à 11,6. Il augmente dans le milieu LMK à cause de l'évaporation de l'eau et par la précipitation des filaments au fond d'aquarium, le CO₂ dégagé la nuit est utilisé le matin par les filaments de spiruline. La croissance est faible cela est dû à la forte température et l'éclairage qui cause la photolyse des filaments.

1.3.Salinité

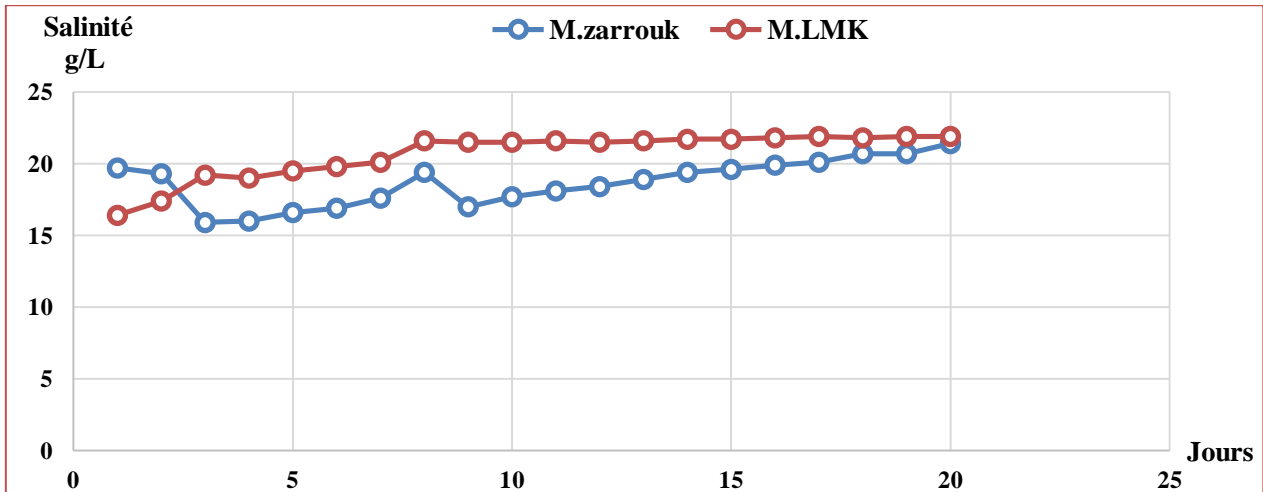


Figure 14. Evolution de la Salinité de l'eau, dans les deux milieux

La salinité varie de 16 à 21g/L, On remarque une augmentation progressive de la salinité pour les deux milieux cela est dû à la multiplication de la spiruline qui consomme le CO₂ dans le milieu ce dernier rend le milieu acide et à cause de l'évaporation de l'eau.

2. Contrôle du développement algal

2.1. Contrôle du développement algal dans les deux milieux

Tableau 15. Résultats obtenus pendant le Contrôle du développement algal dans les deux milieux

Jours	Nombre (cell /ml) M. Zarrouk	Nombre (cell /ml) M.LMK
09/06/2014	49500	55000
12/06/2014	96100	89200
14/06/2014	980000	651040
16/06/2014	2654000	1675060
18/06/2014	3032000	1865600
21/06/2014	3210000	2008644
24/06/2014	3192000	2031500
26/06/2014	3191000	1981600
28/06/2014	3045100	1814900
30/06/2014	2281000	905500

2.2. Evolution de la biomasse dans les deux milieux

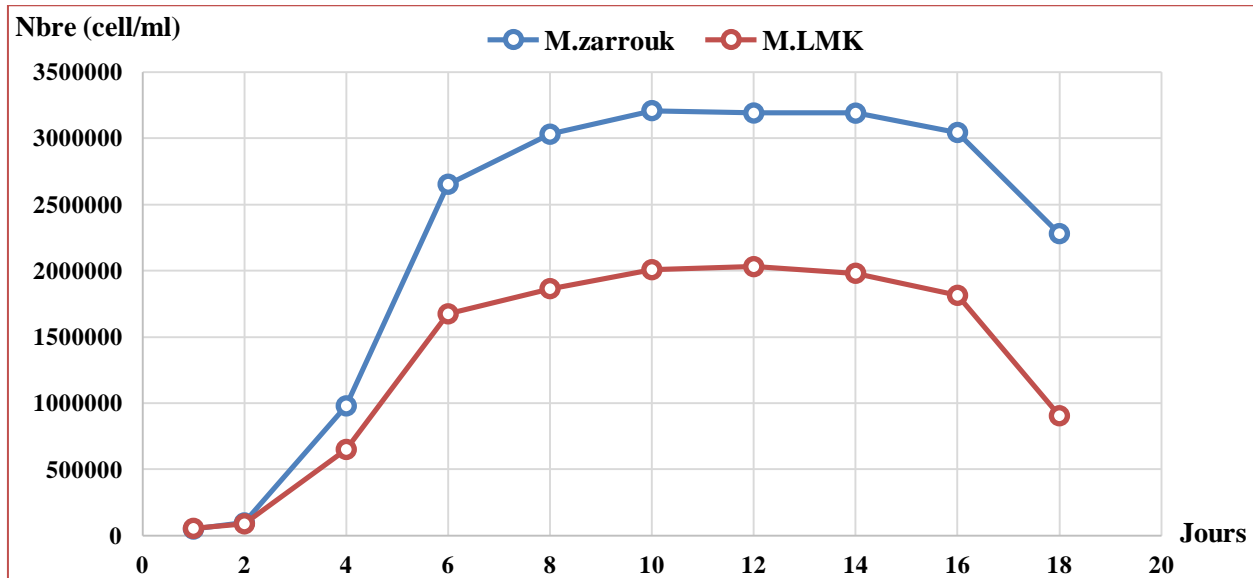


Figure 15. Evolution de la biomasse dans les deux milieux

- **Discussion**

La cinétique de croissance de *Spirulina htam* fait ressortir quatre phases :

- ✓ **Phase de latence** est de courte durée qui est environ trois jours.
- ✓ **Phase de croissance exponentielle** est qui durée quatre jours.
- ✓ **Phase de stationnaire** qui s'étala sur une période de six jours.
- ✓ **Phase déclin** est observée à partir du 13^{ème} jour de démarrage de culture.

Notons que nous avons observé la présence de la phase latence pour les deux milieux cette phase correspond au temps d'adaptation de la souche au milieu de culture.

La croissance de la spiruline dans le milieu Zarrouk est meilleure à celle obtenue dans le milieu LMK. Elle s'explique :

- Par la précipitation de la spiruline et les produits chimique dans le milieu LMK malgré l'amélioration de l'agitation par l'augmentation du débit d'air.
- Par la richesse du milieu de Zarrouk en éléments nutritifs. La croissance maximale obtenu dans ce milieu est de $3,2 \times 10^6$ cellules /ml et celle du milieu de LMK la croissance maximale est de $2,03 \times 10^6$ cellules /ml.

Nous avons constatés que dans le milieu LMK que la croissance est faible par rapport au milieu Zarrouk qui est probablement dû au PH qui est plus levée dans le milieu LMK (11,05) que dans le milieu Zarrouk (10.4).

Pour ce qui est de l'observation macroscopique nous avons observé qu'après une semaine de culture, Ilya changement de la couleur du milieuensemencée : il est légèrement foncé (du vert clair au vert foncé).

Nous avons également observé la formation d'amas de spiruline à la fin de la culture : Ceci s'explique probablement par un piégeage des métabolites s'exsudés ; ce qui peut être un signe de stress osmotique ou de photolyse. (FOX, Ripley D. 1999).

3. Récolte: La technique de récolte utilisée est le tamisage. Un tamis de 40 µm de diamètre à est utilisé



Figure 16. Technique de récolte (tamisage)

4. Séchage : Le séchage se fait à l'aide d'une étuve à une température de 105°C pendant 24 h.



Figure 17. Obtention de la poudre de spiruline après séchage

- **Discussion**

Si on calcule les récoltes par litre dans l'aquarium, on obtient une récolte moyenne ou une productivité exprimée en poids sec de spiruline par litre et par jour.

Après le pesage de la spiruline en poudre (gramme par litre) nous avons obtenu les résultats suivants:

1. Milieu Zarrouk : 0.6g/l
2. Milieu LMK : 0.45g/l
3. Entre 0,3 et 0,7 g/l. (**Jourdan J P, 2006**).

Comparativement au (Jourdan, 2006) nous résultats considérés comme satisfaisants.

5. Modification morphologique et changement de coloration

La spiruline n'a révélée aucune différence observée au niveau de forme dans les deux différents milieux. L'observation microscopique a révélé une dominance de la forme droite et fragmentée par rapport à les formes spiralées qui sont rarement trouvées (Fig. 18).

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 des cultures tourné au vert à partir du bleu-vert qui est caractéristique pour les cyanobactéries après 4ème jour pour les deux milieux. Ce phénomène est dû à l'épuisement de l'azote dans le milieu de culture (et lorsqu'il y a un déficit d'azote dans le milieu, la phycocyanine est utilisé en tant que source de N, qui est responsable de la couleur caractéristique bleu-vert, et la couleur vire au vert, En plus de le déficit d'azote, la forte intensité lumineuse, ainsi la température élevée au début de semaine de l'expérimentation, est fort probablement conduire au changement de couleur.(**Goksan, et al., 2007**),

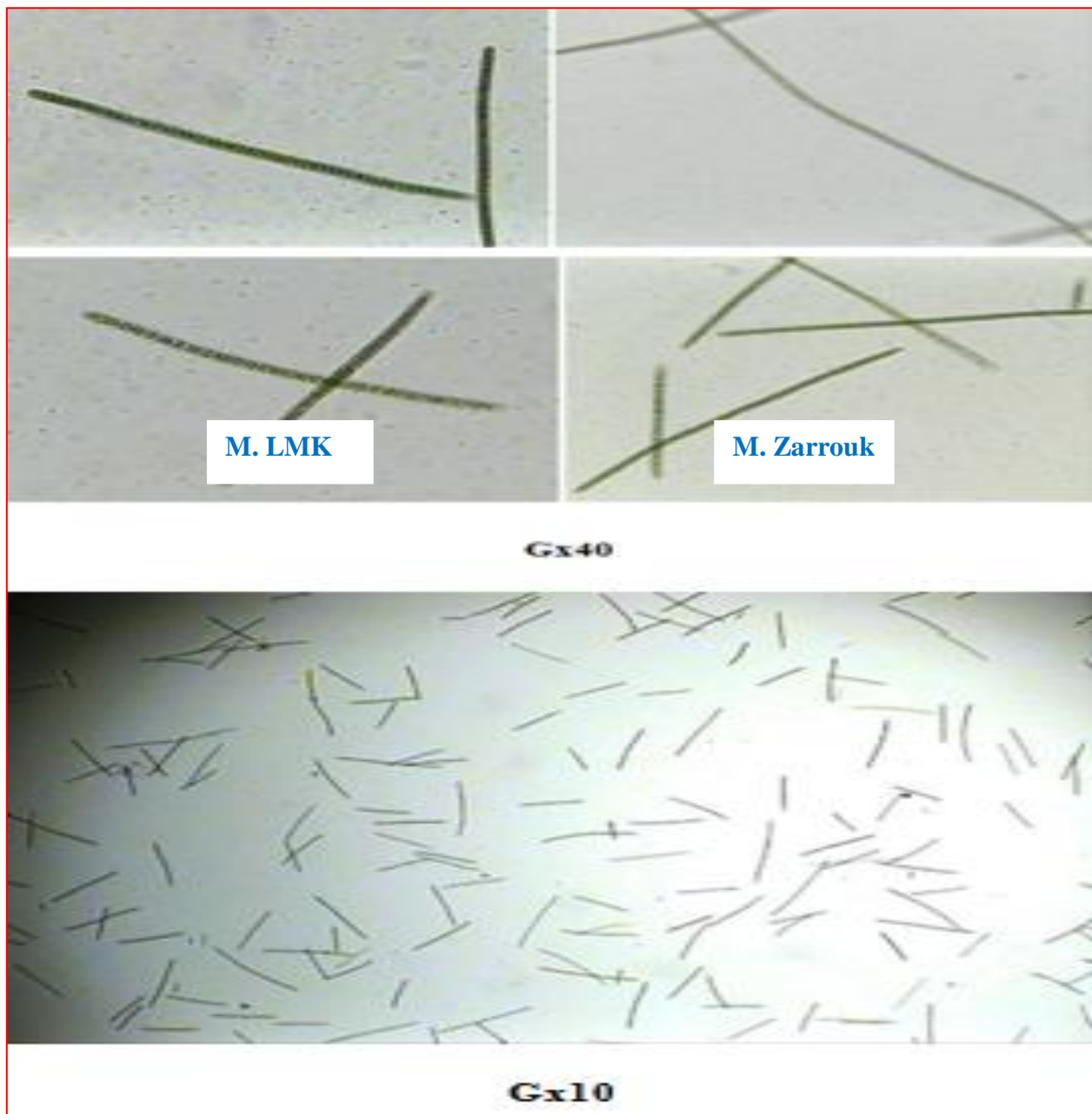


Figure 18. Observation microscopique de la spiruline

Conclusion

Globalement l'objectif de notre travail est atteint. L'essai de culture de la spiruline réalisée au niveau de la station d'expérimentation de L'ENSSMAL, nous a permis de maîtriser des techniques d'ensemencement de préparation de milieu de culture du contrôle du développement algal et de récolte.

La culture de la spiruline passe par quatre phases de croissance : de latence, exponentielle, stationnement et une phase de déclin.

Le milieu de Zarrouk a donné une meilleure croissance de la spiruline que le milieu LMK, il est souhaitable de reprendre ce travail en améliorant milieu LMK par l'élimination du problème de précipitation de la spiruline et les produits chimiques.

Les résultats obtenus sont considérés comme satisfaisants en comparaison aux résultats d'autres auteurs.

Compte tenu des résultats obtenus, notre travail reste préliminaire, il paraît d'une grande utilité de poursuivre la présente étude tout en touchant, dans le futur, à différents axes dans le but d'approfondir les recherches scientifiques et technologiques.

Alors nous envisageons entreprendre les différentes activités de recherche suivantes:

- Identification de la caractérisation biochimique de notre souche.
- Utilisation de spiruline cultivée en eaux non-conventionnelles dans l'aquaculture.
- Evaluation de spiruline en agriculture.

Références Bibliographiques

Bibliographie

- AFAA. (1982).** Symposium sur la spiruline *Spirulina Platensis* (Gom.) Geitler .Association Française pour l'Algologie Appliquée. Actes. L'AFAA. pp. 5 -16.
- BALLONI, W. *et al.*, (1980).** Biologia fondamentale del genere *Spirulina*. Tipografia Coppini. PP. 49-82.
- BEADLE, L. (1943).** An ecological survey of some inland saline waters. Algeria. p. 44.
- BELAY, A. (2007).** *Spirulina* (Arthrospira): production and quality assurance in *Spirulina*. Koru. pp.11-202.
- CASTENHOLZ, RW. *et al.*, (2001).** Form-genus I. *Arthrospira* Stizenberger . New York, USA : Springer. pp. 542-543.
- CHAMORRO, G. *et al.*, (1996).** Farmacología y toxicología del alga *Spirulina*. Invest Clin. pp.389-399.
- CHARPY, L. *et al.*, (2008).** La Spiruline peut-elle être un atout pour la santé et le développement en Afrique .UR 167 (CYROCO). pp.9-67.
- CHARPY, L. (2008).** Colloque International « la Spiruline et le développement », formation et transfert de technologie, en matière de culture de Spiruline. pp.8-134.
- CIFERRI, O. (1983).** *Spirulina*, the edible microorganism. Microbiol. pp.551-578.
- CRUCHOT, H. (2008).** La Spiruline, Bilan et Perspective. Thèse docteur en pharmacie. France-Comite. pp.8-25.
- DANESI, E.D.G. *et al.*, (2004).** Effect of reducing the light intensity on the growth and production of chlorophyll by *Spirulina platensis*. Biomass and Bioenergy. pp.329-335.
- FALQUET, J. *et al.*, (2006).** Spiruline, Aspects Nutritionnels. AspNutr. pp. 12-14.
- FOX, R, Ripley, D. (1999).** Spiruline Technique, pratique et promesse. Aix-en-Provence. p. 246.
- GOKSAN, T, A. *et al.*, (2007).** The Growth of *Spirulina platensis* in Different Culture Systems Under Greenhouse Condition. Turk J Biol. pp. 47-52.

- HIRI, A. (2004).** Mini-colloque sur la spiruline à Tamanrasset. Alegria : laborantine BP 167 Tamanrasset. P. 9.
- HENRIKSSON, R. (1999).** Biographical Summary as Spirulina Bioneer, covering the period.
- ILTIS, A. (1968).** Tolérance de salinité de *Spirulina platensis* (Gom.) Geitl., (Cyanophyta) dans les mares natronées du Kanem (Tchad). Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol. pp. 119-125.
- ISABELLE, T. et al., (2002).** La spiruline contre la malnutrition. pp.18-24.
- 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.
- JOURDAN, J-P. (2014).** Cultivez votre Spiruline. manuel de culture artisanale. pp. 3-233.
- JOURDAN, J-P. (1999).** Cultivez votre spiruline : manuel de culture artisanal .Publication Antenna Technologies. pp.12-15.
- JOURDAN, J-P. (2006).** Manuel de culture artisanale pour la production de spiruline.p.19.
- RICH, F. (1931)**-Notes on *Arthrospira platensis*. Algo. pp.75-79.
- SALLE, M. et al., (1999).** La spiruline: une source d'alimentation à promouvoir. Médecine d'Afrique Noire. pp.46-92.
- VONSHAK, A. et al., (1997).** *Spirulina platensis* (Arthrospira): Physiology, cell-biology and Biotechnology. Taylor & Francis, Negev, Israel : Avigad Vonshak. 233 p.