



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة الشهيد حمّة لخضر الوادي

Université Echahid Hamma Lakdhar- EL OUED

كلية العلوم الطبيعية والحياة

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

قسم البيولوجيا الخلوية والجزيئية

Département de Biologie Cellulaire et Moléculaire

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en Sciences biologiques

Spécialité : Biochimie Appliquée

THEME

Contribution à l'étude de la culture d' *Arthrospira platensis* à base de NPK 20-20-20 en vue d'améliorer sa composition biochimique

Présenté Par :

M^{elle} : DEGACHI Safa

M^{elle} : BEN AMOR Zineb

Devant le jury composé de :

Président : DJAHRA Ali Boutelilis

MCA Université d'El-Oued.

Examineur : ZAIME Sihem

MAA Université d'El-Oued.

Promoteur : KIRAM Abderrazak

MAA Université d'El Oued.

Année universitaire : 2020/2021



Remerciements

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

Nous tenons à exprimer notre gratitude à M. Abderrazak Kiram, pour avoir accepté de diriger ce mémoire tout en ayant l'obligeance de consacrer de son temps précieux pour donner des conseils très utiles qui nous ont permis d'enrichir et de mener à bien ce travail.

Nos remerciements vont également aux membres du jury, pour avoir acceptés de juger notre travail.

Nous remercions également nos parents qui n'ont pas cessé de nourrir notre motivation pour ce travail et qui nous ont assistés par leurs encouragements.

Finalement, nous remercions toutes celles et tous ceux qui nous ont aidés d'une manière ou d'une autre à la réalisation de ce travail.

DEDICACE

Je dédie Ce mémoire :

À mes chers parents

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

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

A mon encadreur Mr. Abderrazak Kiram

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

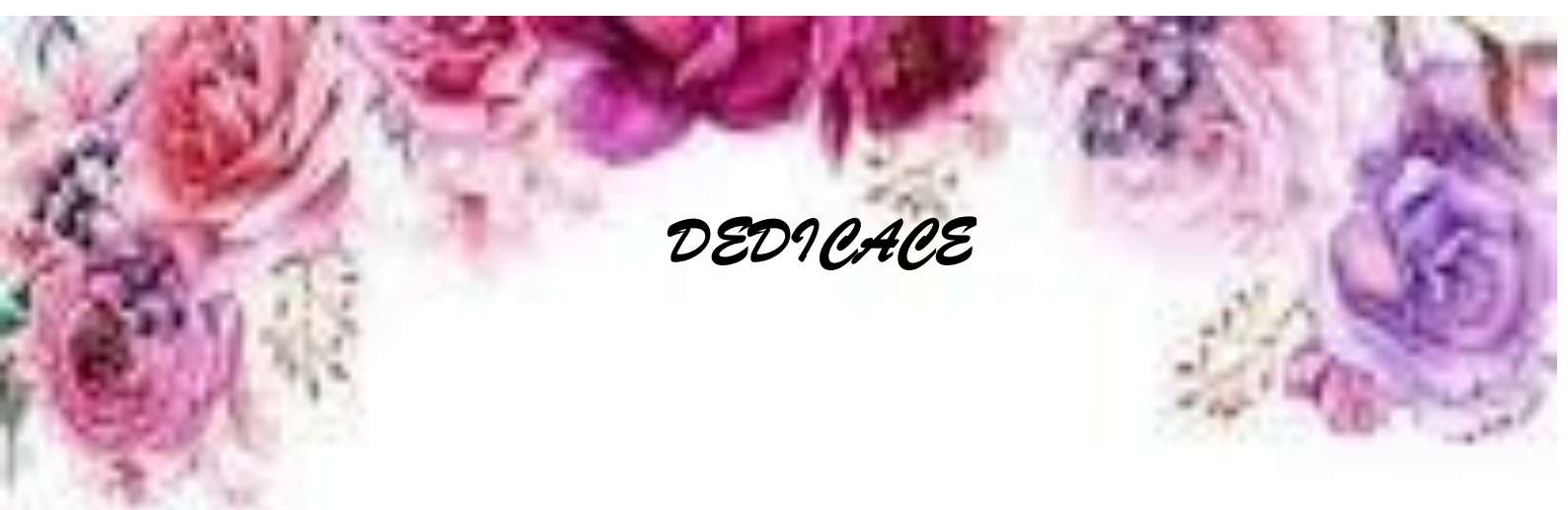
A mes chers et adorables frères

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

Ma cher binôme " Zineb "

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

Degachi safa



DEDICACE

Je dédie ce mémoire

A mes chers parents

Qui sont de source de force et d'inspiration et qui m'ont toujours soutenu et encouragé tout au long de mon parcours universitaire

Mon cher frère, Mes chères sœurs ...

Ma chère tante

Qui m'a soutenu tout au long de mon parcours universitaire

Ma cher binôme " safa "

Ben Amor Zineb



Résumé

Arthrospira platensis, plus couramment appelée spiruline, est une cyanobactérie filamenteuse ou algues bleuvertes qui prolifère facilement dans les lacs alcalins et eaux saumâtres du monde entier. Le but de ce travail est d'étudier la qualité biochimique de la souche *A. platensis* cultivé à partir de milieu de culture à base d'NPK. Tout d'abord, nous avons préparé le milieu de culture de " Zarrouk et NPK ". Nous avons également préparé le dispositif expérimental approprié pour réaliser une bonne croissance d'*A. platensis* et pour apprendre bien les différentes cultures de la souche. Le milieu de Zarrouk est considéré comme le meilleur milieu pour la croissance de l'*Arthrospira platensis* en fournissant toutes les conditions nécessaires à la croissance. Néanmoins, le milieu de NPK n'est pas moins important que le milieu de Zarrouk en termes de qualité biochimique. Là où nous étions en mesure d'obtenir une biomasse de 1.05 g au milieu de Zarrouk et de 0.83 g au milieu NPK. 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 d'autres éléments chimiques qui leur fournissent les conditions de sa croissance.

Mots clés :

Arthrospira platensis, spiruline, milieu de culture, cyanobactérie, croissance, extraction, souches.

Abstract

Arthrospira platensis, more commonly known as spirulina, is a filamentous cyanobacterium or blue-green algae that easily thrives in alkaline lakes and brackish waters around the world. The aim of this work is to study the biochemical quality of the strain *A. platensis* cultivated from culture medium based on NPK. First, we prepared the culture medium of "Zarrouk and NPK". We have also prepared the appropriate experimental to achieve good growth of *A. platensis* and to know the different cultures of the strain. Zarrouk's medium is considered to be the best medium for the growth of *Arthrospira platensis* by providing all the conditions necessary for growth. Nevertheless, the NPK medium is no less important than the Zarrouk medium in terms of biochemical quality. Where we were able to obtain a biomass of 1.05 g in the Zarrouk medium and 0.83 g in the NPK medium. Finally, we conclude that spirulina has the ability to grow despite different climatic factors if we provide them with the appropriate agricultural center and the base of sodium bicarbonate and other chemical elements that provide them with the conditions for its growth.

Keywords:

Arthrospira platensis, spirulina, culture medium, cyanobacteria, growth, extract, strains.

الملخص

Arthrospira platensis، المعروف أكثر باسم سبيروлина ، هو بكتيريا زرقاء خيطية أو طحالب خضراء مزدهرة تزدهر بسهولة في البحيرات القلوية والمياه المالحة حول العالم. الهدف من هذا العمل هو دراسة الجودة البيوكيميائية لسلالة *A. platensis* المزروعة من وسط استزراع يعتمد على NPK . أولاً، أعدنا وسط الاستزراع "زروق وNPK " وأعدنا أيضًا التركيب التجريبي المناسب لتحقيق نمو جيد لسلالة *A. platensis* ولمعرفة الأوساط المختلفة للسلالة. يعتبر وسط زروق أفضل وسيلة لنمو السبيروлина بتوفير جميع الظروف اللازمة للنمو. ومع ذلك ، فإن وسط NPK لا يقل أهمية عن وسط زروق من حيث الجودة البيوكيميائية. حيث تمكنا من الحصول على كتلة حيوية مقدارها 1.05 جم في وسط زروق و 0.83 جم في وسط NPK . أخيرًا ، نستنتج أن السبيروлина لديها القدرة على النمو على الرغم من العوامل المناخية المختلفة إذا زودناها بالمركز الزراعي المناسب وقاعدة بيكربونات الصوديوم والعناصر الكيميائية الأخرى التي توفر لها الظروف اللازمة لنموها.

الكلمات المفتاحية:

Arthrospira platensis ، سبيروлина ، وسط الاستزراع ، البكتيريا الزرقاء ، النمو، استخلاص، سلالات.

Liste des Figures

Figure 01 : les différents aspects de la spiruline. (A) spiralée, (B) ondulée, (C) droite (Goulamabasse, 2018).....	5
Figure 02 : 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> (Ciferri, 1983).....	6
Figure 03 : Cycle biologique de la spiruline modifié (Charpy et al., 2008).....	7
Figure 04 : Structures chimiques de la phycocyanine (Zheng et al., 2013).....	22
Figure 05 : Comparaison entre la molécule de la chlorophylle(A), et la structure d'hème 'b' l'hémoglobine (B) (Manet A, 2016).	23
Figure 06 : Les bienfaits thérapeutiques de la spiruline (Manet A, 2016).	24
Figure 07 : Evolution de la température du milieu de culture de l' <i>Arthrospira platensis</i>	34
Figure 08 : Evolution du PH dans le milieu de culture d' <i>Arthrospira platensis</i>	35
Figure 09 : Evolution de la biomasse en (mg/l) dans le milieu de culture d' <i>Arthrospira platensis</i>	36
Figure 10 : les pourcentages de concentration de protéine produite à partir d' <i>Arthrospira platensis</i> en milieu Zarrouk et NPK.	37
Figure 11 : les pourcentages de concentration de lipide produite à partir d' <i>Arthrospira platensis</i> en milieu Zarrouk et NPK.	39
Figure 12 : les pourcentages de concentration de carbohydrate produite à partir d' <i>Arthrospira platensis</i> en milieu Zarrouk et NPK.	40
Figure 13 : la masse en (mg) de phycocyanine produite à partir d' <i>Arthrospira platensis</i> en milieu Zarrouk et NPK.	41

Liste des tableaux

Tableau 01: la taxonomie d' <i>Arthrospira platensis</i> selon le center américain pour les informations biotechnologiques (Ahounou, 2018).....	8
Tableau 02 : Analyse d'un milieu de culture typique (Fox,1999).....	9
Tableau 03 : Milieu de culture de référence, le milieu Zarrouk (Fox, 1999).	10
Tableau 04 : Composition de la solution A5 (Fox, 1999).	10
Tableau 05 : Différentes productions de spiruline et leurs caractéristiques (Charpy et al., 2008).	12
Tableau 06 : Composition en acides amines de <i>Spirulina platensis</i> (Babadzhanov et al., 2004).	15
Tableau 07 : Vitamines hydrosolubles contenues dans la biomasse de <i>Spirulina platensis</i> en fonction des saisons (mg/100g de matière sèche) (Babadzhanov et al., 2004).	18
Tableau 08 : Vitamines liposolubles contenues dans la biomasse de <i>Spirulina platensis</i> (mg/100g de matière sèche) (Australian government, 2006; Babadzhanov et al., 2004).	18
Tableau 09 : Minéraux et oligoéléments contenus chez <i>Spirulina platensis</i> (Avino et al., 2000).	19
Tableau 10 : Niveaux des éléments traces chez <i>Spirulina platensis</i> (Avino et al., 2000).	20
Tableau 11 : Teneurs en pigment exprimé en mg pour 10g de matière sèche de <i>Platensis</i> (Charpy et al., 2008).....	21
Tableau 12: Compositions de milieu de culture (Zarrouk).	29
Tableau 13: Composition de la « solution A5 », en g/l.	29
Tableau 14: les éléments du milieu de culture (NPK)......	30

Liste des photos

Photo 01: La souche de spiruline <i>Arthrospira platensis</i>	28
Photo 02: Milieu de culture	30
Photo 03: Dispositif expérimentale.....	31
Photo 04: Filtration	31

Liste des annexes

Annexe 01 : Tableau de la distribution géographique naturelle de <i>Spirulina platensis</i>	51
Annexe 02: Bassin contenant de la spiruline en milieu de culture.....	52
Annexe 03: bassin en bâches plastique.....	52
Annexe 04: bassin en béton.	52
Annexe 05: bassin en argile.....	53
Annexe 06: bassin contenant de la spiruline	53
Annexe 07: montrant la carte de la région d'où la souche utilisée a été prélevé.	53
Annexe 08: les matériels non biologiques.....	54
Annexe 09: méthode de Kjeldahl.	54
Annexe 10: méthode de Soxhlet.....	54
Annexe 11: méthode de Dubois.	55
Annexe 12: extraction de phycocyanine.....	55

Sommaire

Remerciements	
DEDICACE	
DEDICACE	
Résumé	I
Liste des Figures.....	IV
Liste des tableaux.....	V
Liste des photos	VI
Liste des annexes	VII
Sommaire	VIII
Introduction générale	1

Première partie : Etude bibliographique

Chapitre I : Généralité sur l'Arthrospira platensis

1-Historique :	4
2- Etude biologique :.....	4
2-1- Définition :.....	4
2-2- Morphologie :	5
2-3- Reproduction et cycle biologique :.....	6
2-4- Taxonomie :.....	7
3- Etude écologique :	8
4- Répartition géographique :.....	8
5- Culture de la spiruline :.....	9
5-1- Milieu du culture :	9
5-2- Conditions du culture:	10
5-2-1- Conditions chimiques:.....	10
5-2-2- Conditions physiques :.....	11
6- Production de la spiruline :	12
6-1- Production artisanale :	12
6-2- Production semi-industrielle :.....	13
6-3- Production industrielle :	13
7- Bassins de culture:	13
7-1- Construction des bassins de culture:.....	13
7-2- Couverture du bassin de culture:	14

Chapitr II : La biochimie de l'Arthrospira platensis

1- Composition de la spiruline :	15
1-1-Protéines :	15
1-2- Lipides :	16
1-2-1- Lipides totaux :	16
1-2-2- Lipides saponifiables :	16
1-2-3- Lipides insaponifiables :	16
1-3- Glucides :	17
1-4- Acides nucléiques (ADN et ARN):	17
1-5- Vitamines :	17
1-5-1- Vitamines hydrosolubles:	17
1-5-2- Vitamines liposolubles :	18
1-6- Minéraux et Oligoéléments :	18
1-7- Métaux :	20
1-8- Pigments :	21
1-8-1- Phycocyanine :	21
1-8-2- Chlorophylle :	22
1-8-3- Caroténoïdes :	23
2- Bienfait de la spiruline :	23
2-1- Spiruline d'un point de vue thérapeutique :	23
2-1-1- Activité antioxydant :	24
2-1-2- Activité antibactérienne et antivirale :	24
2-1-3- Nouveau coronavirus Covid-19 :	25
2-1-4- Hépatite C:	25
2-1-5- Activité anticoagulante :	25
2-2- Spiruline d'un point de vue cosmétique :	25
2-3- Spiruline d'un point de vue économique et environnemental :	26
2-3-1- L'industrie alimentaire :	26
2-3-2- Traitement des eaux usées :	26
2-3-3- Production de bioplastique :	26
2-3-4- Aquaculture :	27
3- Toxicité :	27

Deuxieme partie Partie pratique

Chapitr I : Matériels et méthodes

1- Matériels d'étude :	28
1-1- Matériel biologique :	28
1-2- Matériels non biologique :	28
2- Méthodes d'étude :	29
2-1- Croissance d'Arthrospira Platensis :	29
2-1-1- Préparations des milieux de culture :	29
A/ Milieu de culture " Zarrouk " :	29
B/ Milieu de culture "NPK":	30
2-1-2- Le dispositif expérimental:	30
2-1-3- Conditions de culture:	31
A/ Agitation:	31
B/ Éclairement :	32
C/ Température:	32
2-2- Suivi de croissance d'Arthrospira platensis:	32
2-3- Analyse biochimique de la biomasse d'Arthrospira platensis :	32
2-3-1- Protéine :	32
2-3-2- Lipide:	32
2-3-3- Carbohydate:	33
2-3-4- Phycocyanine:	33

Chapitr II Résultats et Discussion

1- Suivi de croissance d'Arthrospira platensis :	34
1-1- Température :	34
1-2- PH :	35
1-3- La biomasse :	36
1-4- Récolte :	37
2- Analyse biochimique :	37
2-1- La protéine :	37
2-2- Le lipide:	39
2-3- Le carbohydate :	40
2-4- La phycocyanine :	41
Conclusion.....	42
Références bibliographiques	43

Annexes	51
Perspective :	56

Introduction générale

Introduction

Le groupe des cyanobactéries, anciennement appelées algues bleues, compte parmi l'une des plus anciennes formes de vie sur Terre et constitue l'essentiel des bactéries capables de photosynthèse avec production d'oxygène. Parmi elles existent le genre *Spirulina* ou *Arthrospira*, des cyanobactéries filamenteuses dont fait partie une bactérie particulièrement intéressante dénommée *Spirulina platensis* (ou *Arthrospira platensis*) plus connue sous le nom d'algue Spiruline (**Chorus I, 2006 ; Bartram J, 2006**).

Arthrospira est riche en protéines (70%) et rentre dans l'alimentation de certaines populations d'Afrique, au Tchad et au Niger, sous forme de galettes séchées (**Palmont, 1992**). Sa récolte et son utilisation alimentaire ont aussi été signalées dans plusieurs pays à travers le monde (Kenya, Zambie, Ethiopie, Inde, Thaïlande, Mexique et Pérou) (**Ilitis, 1970**).

Arthrospira recèle aussi d'autres substances plus complexes et dont le rôle thérapeutique, à la fois curatif et préventif, n'a été démontré que depuis le début des années 90. Il s'agit essentiellement de la phycocyanine et de certains polysaccharides (**Doke, 2005**).

Le genre *Arthrospira* se développe naturellement dans les eaux alcalines de certains lacs en zones chaudes. Ces eaux sont généralement riches en carbonate de sodium (Na_2CO_3) ou en bicarbonate de sodium (NaHCO_3) ce qui leur confère des valeurs de pH comprises entre 9 et 10 (**Fox, 1999**).

La principale source d'énergie d'*Arthrospira*, est la lumière solaire, et l'élément de base du milieu de culture est le natron. Les régions à climat désertique (Sahara algérien) sont riches en natron et sont donc bien placées pour cultiver à grande échelle *Arthrospira* (**Salès, 2004**).

Compte tenu de ses caractéristiques, la culture de la spiruline pourrait être une solution pour améliorer la sante humaine, la nutrition notamment dans les pays du tiers-monde et également pour développer des cultures industrielles. Cette cyanobactérie semble actuellement l'une des meilleures solutions pour la production simple d'un complément alimentaire de haute qualité et, du fait, de grandes entreprises se sont lancées dans la culture de cet organisme à une échelle industrielle (**Chorus I, 2006 ; Bartram J, 2006**).

La Spiruline a été largement étudié 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 certains pathologie (**Khan et al., 2005; Karkos et al., 2008; Kulshreshtha et al., 2008**).

Outre des propriétés nutritionnelles avérées, la spiruline connaît aujourd'hui un regain d'intérêt de la part de la communauté scientifique internationale du fait de sa possible utilisation comme source de produits à vertus thérapeutiques. En effet, le potentiel de cette micro-algue semble être important et ceci principalement grâce a son principal pigment, la phycocyanine, donnant a cet organisme sa couleur bleu-vert caractéristique (**Chorus I, 2006 ; Bartram J, 2006**).

La Spiruline fait l'objet d'un développement de cultures dans les régions où elle vie 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**).

Donc, est ce que peut-on trouver une bonne formulation de milieu de culture à base de NPK pour produire de la spiruline de bon qualité et de bon prix ?

Cette étude a pour objectif d'étudier la qualité biochimique de la souche *d'Arthrospira platensis* à partir de milieu de culture à base d' NPK.

***Première partie : Etude
bibliographique***

***Chapitre I : Généralité sur
l'Arthrospira platensis***

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- Etude biologique :

2-1- Définition :

La spiruline, faisant partie des cyanobactéries, un micro-organisme procaryote de couleur bleu-vert. Comme les plantes, elle est capable d'utiliser l'énergie de la lumière pour la photosynthèse et pour la production d'oxygène (**Jung et al., 2019**).

Elle est reconnue comme l'un des aliments les plus nutritifs de la planète (**Jung et al., 2019**), elle est donc tout naturellement que la spiruline utilisée comme un complément alimentaire, mais parfois comme un repas complet. Sa richesse en nutriment elle a permis d'attirer l'attention des chercheurs. Actuellement, ses utilisations sont nombreuses, Ce n'est plus seulement d'une question de valeur nutritive, Elle est entrée dans le domaine pharmaceutique, cosmétique et l'industrie alimentaire.

La plupart des spirulines se développent dans les régions tropicales et subtropicales, des plans d'eau chaude, alcalines, fortement minéralisés, à haute teneur en carbonate et bicarbonate, et à pH et salinité relativement élevés (**Scheldeman et al., 1999**).

Beaucoup la considèrent parmi les algues à cause de sa forme et sa couleur, En vérité, elle appartient à l'embranchement des procaryotes, car elle n'a pas de noyau bien individualisé.

2-2- Morphologie :

La spiruline a une morphologie très variable, selon la souche et les conditions de milieu de culture. Elle se compose de cellules végétatives présentent des parois facilement visibles, empilées bout à bout, appelées filaments ou trichomes.

La principale caractéristique morphologique du genre est l'arrangement de ces trichomes. Ces derniers enveloppés d'une gaine très fine, présentent des réductions plus ou moins prononcées aux parois, non ramifier, avec un diamètre d'environ 10 à 12 μm et une longueur moyenne de 250 μm quand elle possède sept spires, flottent librement et présentent une motilité glissante (**Charpy, 2008**). Les facteurs environnementaux, principalement la température, les conditions physiques et le milieu de culture, peuvent affecter la géométrie de l'hélice, par conséquence, cette cyanobactérie montre une grande variété morphologique :

Spiralées : désigne les souches dont les filaments on la forme du ressort.

Ondulées : désigne les souches dont les filaments sont en spirale étirée.

Droites : désigne les souches dont les filaments sont tellement étirés qu'il donne l'impression d'être presque rectiligne.

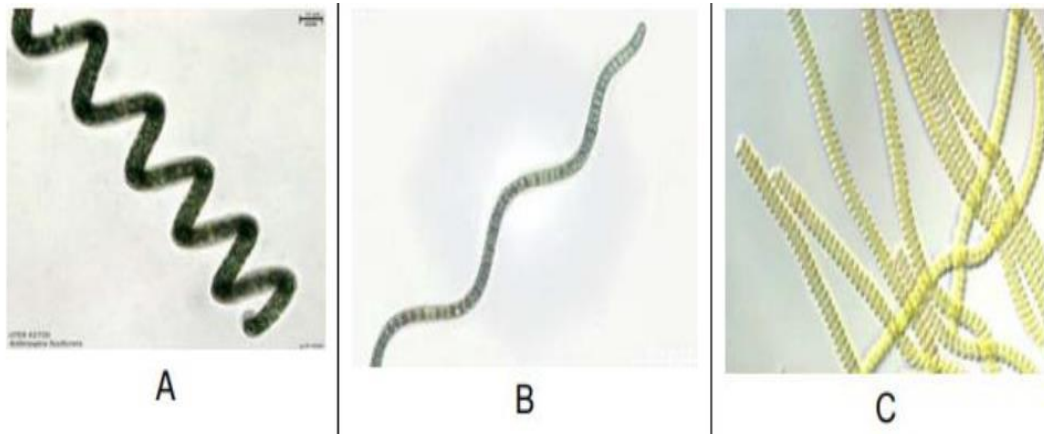


Figure 01 : les différents aspects de la spiruline. (A) spiralée, (B) ondulée, (C) droite (**Goulamabasse, 2018**).

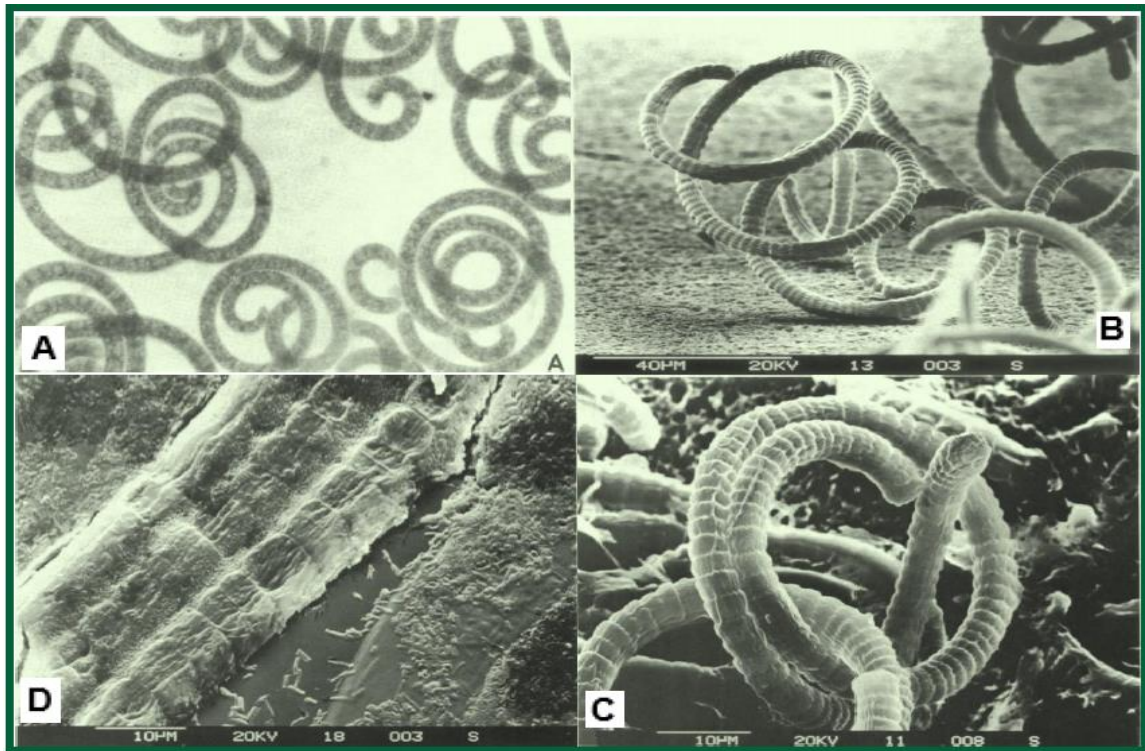


Figure 02 : morphologie de la spiruline: (a)- sous microscope optique (b) Micrographie électronique d'*Arthrospira platensis* (c)- Micrographie électronique d'un trichome d'*Arthrospira platensis*(d) Micrographie électronique de non axénique de *S. platensis* (Ciferri, 1983).

Les filaments prennent une forme hélicoïdale uniquement quand l'environnement est favorable, sachant que certaines souches initialement spiralées peuvent devenir ondulées ou droites (Cruchot, 2008).

Une fois qu'une souche est convertie en forme droite, à la fois naturellement ou après des traitements physiques ou chimiques, tels que le rayonnement UV ou des produits chimiques, elle ne revient pas à la forme hélicoïdale, Jeeji Bai (Jeeji bai, 1985) propose que cela était dû à une mutation affectant certains trichomes pendant certaines conditions de croissance.

La structure cellulaire de la spiruline est similaire à celle des bactéries, car elle n'a pas de paroi cellulaire végétale (Usharani et al., 2012). Caractérisée en particulier par l'absence de noyau et d'organites intracellulaires. Elle partage également les caractéristiques du règne animal car elle contient sur leur membrane cellulaire des sucres complexes similaires au glycogène (Théodore, 2017).

2-3- Reproduction et cycle biologique :

La spiruline se reproduit suivant un mode végétatif, une multiplication asexuée qui suit le principe de la bipartition.

C'est donc une scission simple par segmentation des filaments qui s'effectue en plusieurs étapes.

- Une fois la maturité atteinte, les filaments de la spiruline forment des nécridies, des cellules ayant un aspect concave.
- Il s'ensuit une fragmentation du trichome à partir des nécridies aboutissant à de nouveaux filaments constitués de 2 à 4 cellules appelées hormogonies.

Ces derniers croissent par division binaire et prennent la forme typique hélicoïdale, chacune des cellules donne deux cellules par scissiparité (**Charpy et al., 2008**).

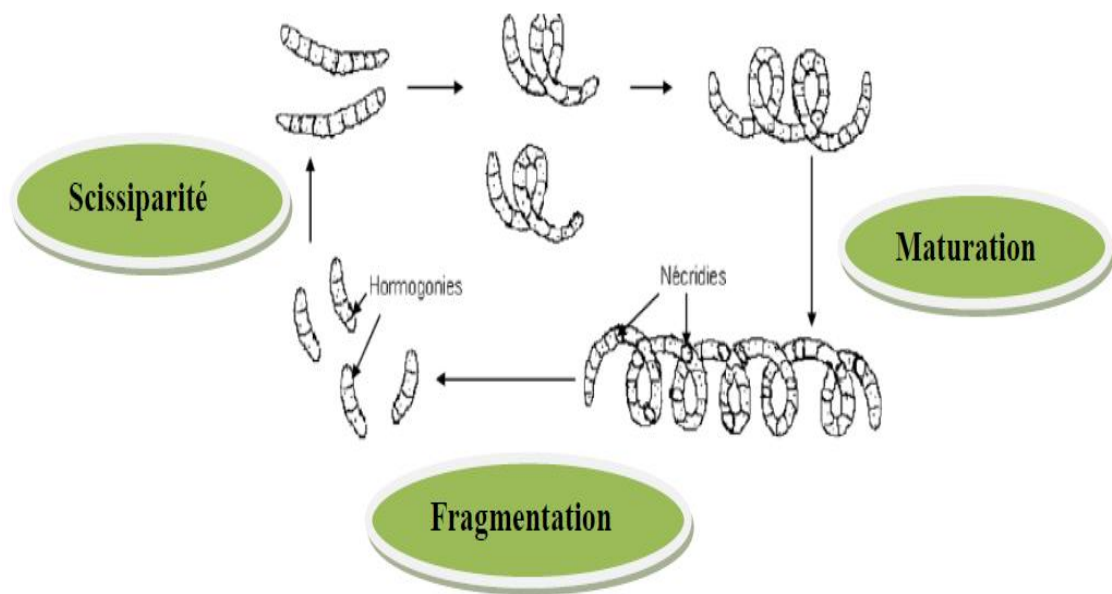


Figure 03: Cycle biologique de la spiruline modifié (**Charpy et al., 2008**).

2-4- 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, 1962**) constataient que cette algue bleu-verte était dépourvue de compartiments cellulaires, et donc faisait partie des procaryotes, ils proposaient de désigner ce microorganisme de «Cyanobactérie».

Cette nouvelle désignation est finalement acceptée et figure pour la première fois au « Bergey's Manual of Determinative Bacteriology » en 1974 (**Stanier 1974**) in **Durand-Chastel (1993)**.

Tableau 01: la taxonomie d'*Arthrospira platensis* selon le center américain pour les informations biotechnologiques (Ahounou, 2018).

Empire	Prokaryota
Règne	Eubacteria
Division	Cyanobacteria
Classe	Cyanophyceae
Ordre	Oscillatoriales
Famille	Microcoleaceae
Genre	<i>Arthrospira</i>
Espèce	<i>Arthrospira platensis</i>

3- Etude 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 croît 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.

4- Répartition géographique :

On distingue le genre *Arthrospira* des autres cyanobactéries par le milieu naturel dans lequel il se développe. En effet, la spiruline se développe préférentiellement dans des eaux douces et chaudes, alcalines (pH 8 - 11,5) et minéralisées (nitrate, phosphates, fer) riches en

carbonate de sodium (Na_2CO_3) ou bicarbonate de sodium (NaHCO_3) excluant ainsi la plupart des autres microorganismes. Plus communément, on la retrouve dans les eaux saumâtres, ainsi que dans les lacs salins de régions tropicales et semi-tropicales.

Son caractère thermophile et ses besoins importants en lumière limitent son aire de répartition à une bande intertropicale située entre 35° de latitude Nord et 35° de latitude Sud. On la retrouve ainsi dans les lacs alcalins en Afrique, en Amérique latine, et en Asie du sud. Il s'agit certes d'un organisme cosmopolite mais il est beaucoup moins abondant en Amérique du Nord et en Europe (**Charpy et al., 2008**). (L'**annexe 01** regroupe quelques sites où la spiruline est retrouvée naturellement).

5- 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 Cubia, 2000**).

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.

5-1- Milieu du 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°02 donne la composition chimique d'un milieu de culture typique (**Fox, 1999**). (**Annexe 02**)

Tableau 02 : 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

Tableau 03 : Milieu de culture de référence, le milieu Zarrouk (Fox, 1999).

COMPOSITION DU MILIEU DE BASE (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
NaCl	1
MgSO ₄ , 7 H ₂ O	0,2
CaCl ₂	0,04
FeSO ₄ , 7 H ₂ O	0,01
EDTA (acide éthylène diamino tétracétique)	0,08
1ml de A5 + 1ml de B6 pour chaque litre de milieu de base	

Tableau 04 : Composition de la solution A5 (Fox, 1999).

COMPOSITION DE LA SOLUTION A5 (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	0,02

5-2- Conditions du culture:

Les conditions de croissance répondent aux recommandations de Paul Jourdan le spécialiste français de la culture de la spiruline. Il a publié un livre sur la culture de la spiruline accessible en ligne. Elle fait l'objet d'une révision régulière (Jourdan, 2014).

5-2-1- Conditions chimiques:

Eau : elle doit être potable ou au moins filtrée, parfois stérilisée aux UV, avec une dureté faible. Il est nécessaire de s'assurer de l'élimination des algues étrangères (Jourdan, 2014). L'eau du bassin de la ferme Hyes est une eau potable qui est ensuite filtrée par l'intermédiaire d'un filtre à charbons actifs et par un système de dynamisation de l'eau.

Alcalinité et salinité : Pour des raisons d'économie on se place au niveau minimal d'alcalinité 0,1 g/L et de salinité totale de 13g/L (ces valeurs peuvent être doublées sans inconvénients) (Jourdan, 2014).

L'alcalinité peut être apportée par le bicarbonate de sodium, la soude caustique, le carbonate de sodium (le natron).

À la ferme Hyes, le pH du bassin est obtenu par l'ajout de du bicarbonate de sodium. Son introduction dans le milieu de culture permet d'avoir une valeur du pH avoisinant 8.5. La consommation de ce carbonate par la spiruline entraîne une augmentation progressive du pH à hauteur de 10.

La salinité est apportée par des fertilisants et du sel (chlorure de sodium).

Le sel de cuisine peut être utilisé mais il contient souvent 2% de magnésie insoluble pouvant être à l'origine d'excès de boues minérales (**Jourdan, 2014**).

Les fertilisants autorisés dans l'agriculture biologique (AB) sont des composés minéraux ayant une origine organique. Ils proviennent par exemple du compostage de fumier.

❖ **Autres composants : les fertilisants**

En plus du bicarbonate de sodium et du chlorure de sodium, on retrouve des fertilisants qui assurent la croissance de la spiruline.

-Trois éléments indispensables : l'azote (N), le phosphore(P), le potassium(K).

-D'autres minéraux : le soufre (S), le magnésium (Mg), le calcium (Ca), et le fer (Fe). On s'assurera que ces éléments ne soient pas en excès dans le milieu de culture puisqu'ils peuvent être apportés en quantité suffisante par l'eau, le sel et les engrais.

Les sources d'azote préférées des spirulines sont l'ammoniac et l'urée, mais on leur préfère le nitrate en raison de leurs toxicités au-delà de la concentration limite (**Jourdan, 2014**).

5-2-2- Conditions physiques :

- 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.

❖ **La température :**

La température du liquide de culture influence directement la vitesse de croissance de la spiruline. Bien qu'assez résistante au froid (jusqu'à 3-5°C), la spiruline ne commence à croître d'une manière appréciable qu'au-dessus de 20°C. La vitesse de croissance est maximale vers 35-37°C. Au-delà de cette température, on risque rapidement une destruction de la culture. La chaleur nécessaire à la culture est obtenue par des unités de méthanisation. Cela s'inscrit dans une logique de valorisation des déchets prônée par la ferme Hyes.

❖ **La lumière :**

Une très forte lumière (plein soleil) peut être dangereuse si le milieu de culture est:

- Froid (moins de 14-15°C), surtout en cas d'illumination brutale
- Très chaud, ce facteur serait à l'origine d'un échauffement supplémentaire

- Très diluée (disque de Secchi 10 de plus de 6 cm)
- En difficulté (suite à un accident)

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 l'on se trouve dans l'un des quatre cas précédents.

6- Production de la spiruline :

La production de la spiruline se fait à plusieurs échelles : artisanale, semi-industrielle et industrielle. Elles se différencient par l'ordre de grandeur de l'investissement (moyens et matériaux utilisés), la surface des bassins de culture et d'exploitation, le tonnage de ces productions et la sophistication des techniques de production. Quel que soit le mode de production, il se base sur les mêmes étapes (Charpy et al., 2008).

Tableau 05 : Différentes productions de spiruline et leurs caractéristiques (Charpy et al., 2008).

Production Caractéristiques	Artisanale	Semi industrielle	Industrielle
Taille de bassins	< 100 m ²	200-1000 m ²	1000 m ² - 5000 m ²
Surface totale exploitée	< 3000 m ²	3000 m ² - 1 hectare	plusieurs hectares
Capacité de production	< 200 kg	10-50 tonnes	50 - >500 tonnes

6-1- Production artisanale :

Historiquement, ce mode de culture a été initié par Ripley FOX pour lutter contre la malnutrition dans les pays en voie de développement. Durant ces dernières années ce mode de production n'a cessé de croître, soutenu par de nombreuses ONG.

Ce sont des systèmes nécessitant de faibles apports en énergie. Les moyens mis en œuvre peuvent être rustiques, faisant appel au bon sens de l'ingénierie. Néanmoins, certaines fermes artisanales peuvent présenter des caractéristiques de ferme semi-industrielle. La qualité de la production est contrôlée tout au long de la production. Elles sont destinées à l'humanitaire ou en partie à la commercialisation (Charpy et al., 2008).

6-2- Production semi-industrielle :

Dans les pays en voie de développement, les fermes semi-industrielles utilisent les mêmes technologies que les fermes artisanales. Elles sont destinées à l'humanitaire et à la commercialisation. Leur objectif est d'être pérenne et autonome grâce à la vente de leur produit (Charpy et al., 2008).

6-3- Production industrielle :

Représentée depuis plus de vingt ans par de grosses compagnies telles que Earthrise ou Cyanotech, elles se distinguent des précédentes par l'importance des moyens mis en œuvre, leur capacité de production et leur objectif clairement commercial. La qualité est contrôlée de manière automatique par des systèmes informatisés (Charpy et al., 2008).

7- Bassins de culture:**7-1- 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). (Annexe 03)

❖ 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). (Annexe 04)

❖ 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**). (**Annexe 05**)

7-2- 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 aussi être en plastique translucide : film de polyéthylène traité anti-U.V. utilisé pour la construction des serres horticoles, ou plaques en polycarbonate ou fibre de verre-polyester gel-coatée (pour éviter que les fibres sortent). Si le toit est opaque, il faut le mettre suffisamment haut pour que le bassin reçoive assez de lumière par les bords. Le toit est parfois complété par une moustiquaire sur les bords et/ou les côtés. Si la pluie est tolérable, le toit peut être remplacé par un simple ombrage (filet ombrière, canisse, feuilles de palmier tressées). Le toit peut être flottant si le bassin est trop large pour qu'on puisse construire une structure fixe pour le supporter. (**Jourdan ,2006**). (**Annexe 06**)

***Chapitr II : La biochimie de
l'Arthrospira platensis***

1- Composition de la spiruline :

Il est bien établi que les variations de conditions de culture provoquent facilement de forts changements dans la composition biochimique des spirulines. Cependant en moyenne, la spiruline contient en poids sec jusqu'à 70 % de protéines, 15 à 25 % de glucides, jusqu'à 11 % de lipides ainsi que des vitamines, des minéraux (principalement des oligoéléments), de la chlorophylle et des phycobiliprotéines.

1-1-Protéines :

Selon les souches et les conditions de culture, la quantité de protéines d'*Arthrospira platensis* varie de 55 à 70 % du poids sec (**Australian government, 2006**).

Tableau 06 : Composition en acides aminés de *Spirulina platensis* (**Babadzhanov et al., 2004**).

<i>Acides aminés</i>	%	<i>Acides aminés</i>	%
Asp	0,9	Met*	0,8
Thr*	0,5	Ile*	1,3
Ser	0,6	Leu*	0,8
Glu	1	Tyr	3,3
Pro	0,3	Phe*	2,5
Gly	0,6	His	4,7
Ala	1	Lys*	1,9
Val*	1,3	Arg	2,1

Non inclus Trp* and Cys

* Acide aminé essentiel

Par sa composition protéique, la spiruline est un aliment très riche. Ainsi, comme l'indique le tableau ci-dessus (**Tableau 06**), la spiruline contient la plupart des acides aminés et notamment tous les acides aminés essentiels constituant près de 60% du poids total des protéines.

On peut noter que parmi ces acides aminés essentiels les plus faiblement représentés sont les acides aminés soufre : méthionine et cystéine (absente ici mais évoquée dans d'autres publications (**Girardin-Andreani C, 2005**)).

Ce spectre d'acides aminés montre que la valeur biologique des protéines de la spiruline est élevée et pourrait sûrement être optimisée par les procédés de culture. Par exemple, il a été noté une variation du contenu en protéines de 10 à 15 % selon le moment de la récolte par

rapport a la photopériode, ainsi les valeurs les plus fortes étant obtenues au début de la période lumineuse (AFAA, 1982).

1-2- Lipides :

1-2-1- Lipides totaux :

Selon les publications la valeur du poids sec en lipides totaux varient de 5,6 a 11 % en poids (Ross et al., 1990; Xue et al., 2002; Harriman et al., 1989; Girardin-Andreani C, 2005) et même 14,3 % au maximum (Babadzhanov et al., 2004). Ces variations quantitatives mais aussi qualitatives sur la composition de ces lipides peuvent provenir de la méthode d'extraction et du moyen d'analyse utilise ou simplement de la variété d'*Arthrospira platensis*.

Cette fraction lipidique se caractérise par un bon équilibre acides gras satures/acides gras polyinsaturés (Charpy et al., 2004).

Les lipides peuvent être séparés en une fraction saponifiable (83 %) et une fraction insaponifiable (17 %) contenant essentiellement une paraffine, des pigments, des alcools terpéniques et des stérols (Ross et al., 1990).

1-2-2- Lipides saponifiables :

La fraction saponifiable est surtout composée de monogalactosyl diacylglycérol (MGDG), 10,3%, de digalactosyldiacylglycérol (DGDG), 6,44 % et de sulfoquinovosyldiacylglycérol (SQDG), 11,4 % (Xue et al., 2002) et de phosphatidylglycérol, 25,9 % (Falquet et al., 2008). On ne trouve ni phosphatidylcholine (lécithine), ni phosphatidyléthanolamine (céphaline), ni phosphatidylinositol, des lipides membranaires, en quantités appréciables.

Les 3 glycolipides MGDG, DGDG et SQDG représentent près de 28 % des lipides totaux. Les glycolipides sont les composants lipidiques majeurs de toutes les membranes des chloroplastes et des membranes photosynthétiques des cyanobactéries. Le MGDG et le DGDG occupent principalement les membranes thylacoïdes des plantes et le SQDG est l'un des principaux lipides atteignant parfois jusqu'à 40 % des lipides totaux pour certaines souches de *Spirulina* (Charpy et al., 2004).

1-2-3- Lipides insaponifiables :

Il semble que les stérols représentent 1,5 % de la fraction non polaire des lipides chez l'espèce *Spirulina maxima*. La fraction stérolique est principalement composée de clionastérol (épimère en C-24 du β -sitostérol) et pauvre en cholestérol (Charpy et al., 2004). Chez *Spirulina*

platensis, on trouve aussi de faibles quantités de campestérol et de stigmastérol (**Falquet et al., 2008**).

Les paraffines (hydrocarbures saturés à longues chaînes) représentent 25 % de la fraction insaponifiable chez *Spirulina platensis* soit entre 0,1 à 0,3 % d'hydrocarbures saturés dans la matière sèche des spirulines (**Falquet et al., 2008**).

1-3- Glucides :

Les glucides constituent 15 à 25 % de la matière sèche des spirulines (**Fox, 1999; Falquet et al., 2008**).

Ces hydrates de carbone composent notamment sa membrane cellulaire. Les parois cellulaires des spirulines s'apparentent à celles des bactéries Gram-positives puisqu'elles sont formées de glucosamines et d'acide muramique associées à des peptides. Les formes primaires des hydrates de carbone sont le rhamnose et le glycogène, deux polysaccharides facilement absorbés par l'organisme (**Babadzhanov et al., 2004**). D'autres polysaccharides comme le calcium-spirulan (Ca-SP) sont composés de rhamnose, ribose, mannose, fructose, galactose, xylose, glucose, acide glucuronique, acide galacturonique, sulfate et calcium (**Hayashi et al., 1996**). Cependant les glucides simples ne sont présents qu'en très faibles quantités.

1-4- Acides nucléiques (ADN et ARN):

On rapporte des valeurs de 4,2 à 6 % d'acides nucléiques totaux dans la matière sèche chez *Spirulina platensis* (**AFAA, 1982; Ross et al., 1990**).

1-5- Vitamines :

Il existe 13 vitamines, 4 liposolubles (A, D, E, K) et 9 hydrosolubles (B1, B2, B5, B6, B12, C, PP). La spiruline contient de nombreuses d'entre elles et spécialement des vitamines B dans des proportions optimales.

1-5-1- Vitamines hydrosolubles:

Les vitamines constituent le principal facteur impliqué dans les propriétés biologiques des spirulines. Les vitamines identifiées en majorité chez *Spirulina platensis* sont (pour 100g de biomasse) : la vitamine C (42,0-195,3 mg), la vitamine B3 (0,6-5,3 mg), la vitamine B1 (0,8-15,4 mg), la vitamine B2 (0,2-0,9 mg), la vitamine B6 (0,3-4,0 mg), la vitamine B9 (0,2-0,6 mg) et la vitamine B12 (0,3-0,8 mg).

Il faut noter que la biomasse poussant en printemps-été montre une proportion en vitamines plus élevée. Ceci dépendant essentiellement des conditions d'ensoleillement (**Tableau 07**).

Tableau 07 : Vitamines hydrosolubles contenues dans la biomasse de *Spirulina platensis* en fonction des saisons (mg/100g de matière sèche) (**Babadzhanov et al., 2004**).

<i>Vitamines hydrosolubles</i>	<i>Échantillon recueilli en hiver</i>	<i>Échantillon recueilli en automne</i>	<i>Échantillon recueilli en été</i>	<i>Échantillon recueilli au printemps</i>
Acide ascorbique (Vit C)	42,8	42	106,2	195,3
Nicotinamide (Vit B3 ou PP)	5,3	0,6	0,4	0,9
Pyridoxine (Vit B6)	4	0,6	0,3	0,5
Riboflavine (Vit B2)	0,8	0,7	0,9	0,2
Thiamine (Vit B1)	11,6	15,4	0,8	0,8
Cyanocobalamine (Vit B12)	0,4	0,8	0,3	0,3
Acide folique (Vit B9)	0,6	0,4	0,2	0,6

Concernant la vitamine B9, **Sall. et al. (1999)** indiquent une valeur allant jusqu'à 100 mg d'acide folique mais ne précisent pas s'il s'agit d'une valeur mesurée chez l'espèce *platensis* ou maxima (**Sall et al., 1999**).

1-5-2- Vitamines liposolubles :

Les trois vitamines liposolubles trouvées chez la spiruline sont le β -carotène, précurseur de la vitamine A, la vitamine E et la vitamine D (**Tableau 08**).

Tableau 08 : Vitamines liposolubles contenues dans la biomasse de *Spirulina platensis* (mg/100g de matière sèche) (**Australian government, 2006; Babadzhanov et al., 2004**).

Vitamines	Quantités
β -carotène (provitamine A)	64 à 200 mg/100g
Tocophérol (Vitamine E)	10 à 19 mg/100g
Vitamine D	12000 U soit 0,3 mg/100g

1-6- 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 besoins en macroéléments sont de l'ordre du gramme (g) ou du dixième de gramme par jour tandis que ceux en oligoéléments sont de l'ordre du milligramme (mg) ou du centième de milligramme (μ g).

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 (**Tableau 09**).

Tableau 09 : Minéraux et oligoéléments contenus chez *Spirulina platensis* (Avino et al., 2000).

Éléments	Quantités (mg/kg de biomasse sèche) ¹
Cr	11,3 à 14,2
Fe	900 à 1176
Mn	554 à 592
Zn	21 à 375
Ca	4320
Cl	4890
K	9000
Mg	670 à 2700 ²
Na	4500 à 235000 ³
P	6700 à 9000 ⁴

1/ Dosages effectués par 2 méthodes analytiques : INAA = instrumental neutron activation analysis (technique non destructive) et ICP-AES = inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry (technique destructive). La méthode ICP-AES donne naturellement des valeurs plus basses que la méthode INAA mais l'utilisation de 2 techniques différentes est utile pour quantifier un large spectre de minéraux. 2/ Avino et al., 2000 ; Li et al., 2007. 3/ Avino et al., 2000 ; Falquet et Hurni, 2006. 4/ Falquet et Hurni, 2006.

A noter la très forte concentration en sodium (235 g/kg) qui selon Avino et al. (2000) dépend de la haute salinité du milieu de culture (**Avino et al., 2000**). Néanmoins, cette concentration est au minimum de 4,5 g/kg ce qui est tout de même élevé pour un aliment.

Cependant d'autres publications donnent des chiffres différents pour ces oligoéléments mais elles ne précisent pas s'il s'agit de dosages réalisés chez *Spirulina platensis* ou maxima. Ainsi pour 1 kg de spiruline, des valeurs de 10 g de calcium, 1600 mg de potassium, 4600 mg de manganèse, 28 % de sélénium et 880 à 1500 mg de fer hautement assimilable ont été trouvées (**Sall et al., 1999**).

1-7- Métaux :

La recherche des métaux chez les spirulines est réalisée pour l'étude de la toxicité potentielle plus que pour la mesure quantitative en éléments fonctionnels. Cependant, certains métaux comme le sélénium et le chrome sont nécessaires dans l'alimentation à des doses faibles.

Bien que certains métaux soient aussi cités comme des oligoéléments, ils ont tout de même été répertoriés dans le tableau ci-après (**Tableau 10**) :

Tableau 10 : Niveaux des éléments traces chez *Spirulina platensis* (**Avino et al., 2000**).

Elément	Quantité dans échantillon de spiruline (mg/kg de matière sèche)
As	0.002*
Br	17.9
Cd	< l.d
Co	0.720
Cr	14.2
Cs	0.021
Cu	37.5
Eu	0.023
Hg	0.120
La	0.514
Mn	27.88* a 554
Ni	< l.d
Pb	12.9
Sb	0.064
Sc	0.075
Se	0.198
V	< l.d
Zn	21* a 375

n.m : non mesuré

< l.d : inférieur à la limite de détection

* Al-Homaidan et al, 2006

Le manganèse et le zinc montrent des valeurs maximales élevées avec respectivement 554 et 375 mg/kg provenant de l'étude d'Avino et al. (2000) (**Avino et al., 2000**). Concernant le zinc, cette valeur élevée pourrait, selon l'auteur, provenir d'une pollution environnementale. La spiruline cultivée sans apport intentionnel de zinc au milieu de culture n'en contient

généralement que des traces (21-40 µg/g) (**Campanella et al., 1999**). Pour le manganèse, cette valeur haute n'a été trouvée que dans un échantillon d'origine naturel de *Spirulina platensis* alors que dans les échantillons d'origine commerciale, la valeur est en général plus basse d'un facteur dix.

1-8- Pigments :

La spiruline, dite algue bleue, c'est dû à l'existence de la phycocyanine, qui est le pigment le plus précieux de la spiruline, mais on voit du vert et parfois d'orange, sûrement, de nombreux autres pigments se trouvent dans la spiruline, tels que la chlorophylle et les caroténoïdes.

Tableau 11 : Teneurs en pigment exprimé en mg pour 10g de matière sèche de *Platensis* (**Charpy et al., 2008**).

Pigment	Teneur en mg/10g
Phycocyanine (bleu)	1500-2000
Phycocyanine (bleu)	2900-10000
Chlorophylle a (vert)	61-75
Caroténoïdes (orange)	37

La spiruline contient des quantités considérables des pigments, mais au cours des techniques de transformation en comprimés, granulés ou poudres, et dans les processus de séchage, la spiruline perd au moins 45% de pigment, de plus, le pourcentage augmente si l'on prend en considération les pertes associées à l'emballage, au moulage et au stockage.

1-8-1- Phycocyanine :

Joyau de couleur bleue, l'or bleu de la spiruline, la phycocyanine est le seul colorant bleu alimentaire naturel et le pigment le plus abondant de la spiruline qui représente de 12.6 à 20 % du poids sec (**Patel et al., 2013; Romay et al., 1998**).

Il est responsable avec la chlorophylle de la couleur bleue verte caractéristique de la spiruline. Ce pigment soluble dans les solvants polaires (**Hidayati et al., 2020**) participe à la photosynthèse, car il absorbe et capture les photons, puis convertit cette énergie lumineuse en énergie électrochimique (**Boudour A, 2008**).

A l'état naturel, la phycocyanine est emprisonnée dans une protéine complexe comprenant deux sous unités α et β qui sont composées de 162 et 172 acides aminés respectivement.

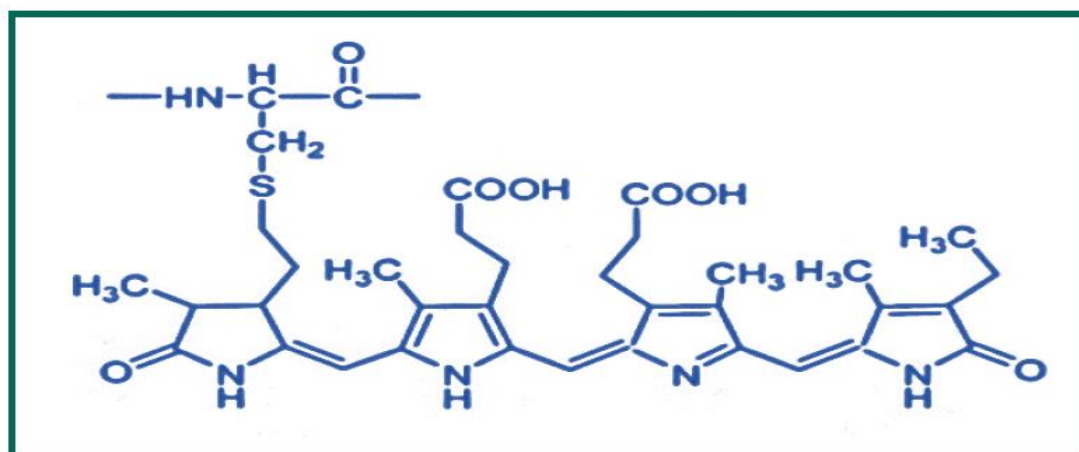


Figure 04 : Structures chimiques de la phycocyanine (**Zheng et al., 2013**).

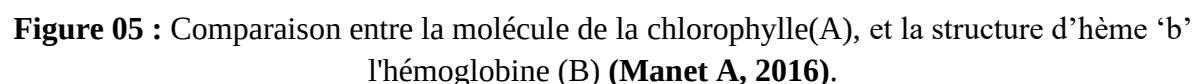
La phycocyanine pourrait être utilisée comme pigment naturel pour les industries pharmaceutiques, alimentaires (la coloration des bonbons, des glaces, des produits laitiers, des boissons gazeuses... etc.) et cosmétiques (le fard à paupières, eye-liner, rouge à lèvres... etc.) afin de remplacer les pigments synthétiques maintenant utilisés qui la plupart d'entre eux sont considérés comme cancérogènes.

1-8-2- Chlorophylle :

La chlorophylle est un pigment de couleur vert caractérise les photosynthétiques connue par leur effet laxatif, normalisation de la sécrétion gastro-intestinale et l'ajustement de la pepsine, de plus elle permet au corps humain de capter le magnésium organique (**Manet A, 2016**).

Contrairement à ce que nous savions, de nouvelles recherches ont prouvé que la spiruline contient les deux types de la chlorophylle, la chlorophylle de type a et la chlorophylle de type b, avec un taux très élevé, même par rapport à la chlorelle (**Rinawati et al., 2020**) une algue-vert a des propriétés nutritionnelles uniques et considérée comme l'une des sources les plus riches de chlorophylle.

La structure de la chlorophylle est similaire à l'hémoglobine humaine c'est pourquoi elle est appelée 'le sang vert'. Au lieu de l'ion de fer dans l'hémoglobine, nous trouvons du magnésium dans la chlorophylle (**Manet A, 2016**).



1-8-3- Caroténoïdes :

2- Bienfait de la spiruline :

2-1- Spiruline d'un point de vue thérapeutique :

23

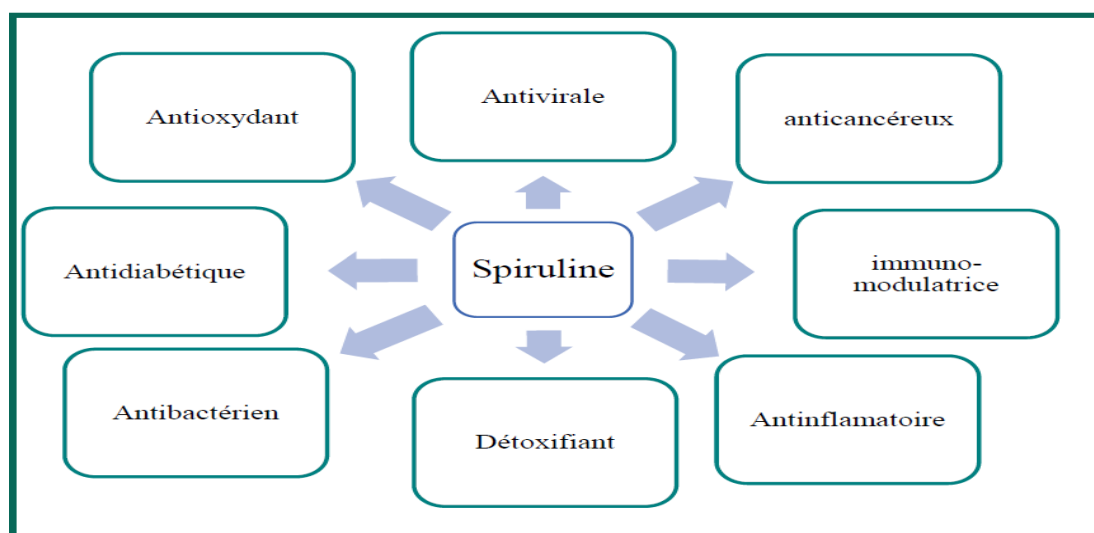


Figure 06: Les bienfaits thérapeutiques de la spiruline (Manet A, 2016).

2-1-1- Activité antioxydant :

La spiruline est une source exceptionnelle d'antioxydants ; Une tonne de fruits contient la quantité d'antioxydants contenus dans un kilogramme de spiruline ! (Manet A, 2016) elle est riche en phycocyanine, β -carotène, vitamine A, C, E, enzyme SOD, acide γ -linolénique, sélénium, méthionine ... etc. De plus, les activités de la plupart des antioxydants endogènes ont augmenté après l'administration de la spiruline (Moor et al., 2020).

2-1-2- Activité antibactérienne et antivirale :

La spiruline, comme de nombreuses autres espèces de cyanobactéries, présente de puissantes activités antibactériennes contre les bactéries pathogènes. L'administration de spiruline a entraîné une augmentation de la clairance bactérienne (*E. coli* et *Staphylococcus aureus*) 30 minutes après l'injection, et le nombre de bactéries dans le sang était presque négligeable. Les propriétés antivirales sont observées à de faibles concentrations ou la spiruline a réduit la réplication virale tout en bloquant la réplication à des concentrations élevées (Jung et al., 2019) L'extrait soluble dans l'eau de spiruline a conduit à l'isolement d'un polysaccharide sulfaté appelé calcium spirulan (Ca-SP) comme antiviral standard inhiber la réplication de plusieurs virus enveloppés, notamment le virus Herpès simplex de type 1, le cytomégalovirus humain, le virus de la rougeole, le virus des oreillons, le virus de la grippe A et le VIH-1 (Hayashi et al., 1996; Sansone et al., 2020). Ils présentent également un antifongique fructueux contre *S. candida albican* (Banakar et al., 2020).

2-1-3- Nouveau coronavirus Covid-19 :

Arthrospira a la capacité d'augmenter le pouvoir immunitaire pour lutter contre les infections virales, elle a aussi une activité potentielle contre les virus à ARN enveloppé, c'est pourquoi elle peut être utilisée comme stimulateur d'immunité pour les personnes non infectées afin de prévenir les infections du SARS-CoV-2. Elle peut donc être utilisée contre le nouveau coronavirus à titre préventif (**Elaya Perumal et al., 2020**). La dose quotidienne qui pourrait aider à contrôler le coronavirus a été suggéré de 15g de spiruline chaque jour (**McCarty et al., 2020**). Une autre recherche sur les composés bioactifs provenant de diverses sources alimentaires y compris le phycocyanobiline, pour prédire les inhibiteurs potentiels de covid-19, les résultats de l'amarrage ont révélé que la phycocyanobiline est prédites comme un composé bioactif potentiel pour traiter le COVID-19 (**Pendyala et al., 2020**).

2-1-4- Hépatite C:

Des essais cliniques avec 30 patients contre les infections virales sont effectué, parmi 30 cas, quatre ont atteint l'état d'ETR (End-of-Treatment Response) signifie qu'il n'y a pas de virus de l'hépatite C détectable dans le sang à la fin du traitement avec la spiruline. Le virus de l'hépatite C peut réapparaître dans le sang après la fin du traitement. Les chercheurs ont conclu que la spiruline avait un usage thérapeutique potentiel contre l'infection virale et ils ont également suggéré la nécessité de poursuivre les essais cliniques avec plus d'échantillons (**Yakoot et al., 2012**).

2-1-5- Activité anticoagulante :

Le Spirulane Calcique (Sp-Ca) agirait en activant le cofacteur II de l'héparine, molécule qui inhibe la thrombine, donc la coagulation. Le Spirulane Sodique (Sp-Na), autre polysaccharide sulfaté spécifique à la Spiruline, aurait aussi des effets anticoagulants (**Charpy et al., 2008**).

2-2- Spiruline d'un point de vue cosmétique :

En cosmétique, la Spiruline est utilisée sous plusieurs formes comme dans les masques cryogéniques et crèmes anti-âge, par son action sur le renouvellement cellulaire et la tonicité des tissus (**Spolaore et al., 2006**). Elle peut également être utilisée utilisée en synergie avec d'autres algues, comme agent cicatrisant et antiseptique.

La spiruline est conseillée pour la peau, c'est pour les nombreux antioxydants qu'elle contient. Dès lors que nous respirons, nos cellules subissent ce que l'on appelle un stress oxydatif : l'oxygène que nous absorbons entraîne la création de radicaux libres, responsables

du vieillissement de notre organisme. On observe alors une dégénérescence prématurée des cellules et les premiers signes de l'âge apparaissent, comme les rides, les ridules et un relâchement cutané. Si nos cellules produisent naturellement des antioxydants, un apport extérieur est toujours le bienvenu afin de lutter contre ce phénomène. La spiruline en masque pour la peau est un véritable soin anti-âge parce qu'il contient de nombreux antioxydants comme la phycocyanine et les vitamines E, A, C, le β -carotène, elle réduit considérablement l'action des radicaux libres et contribue à la protection cellulaire. Mais la spiruline contient aussi ces vitamines qui, ajoutées au sélénium, au manganèse, au cuivre, au zinc, ainsi qu'aux acides gras polyinsaturés, en font un concentré de nutriments requis pour prévenir le stress oxydant. La peau conserve ainsi toute sa jeunesse.

2-3- Spiruline d'un point de vue économique et environnemental :

2-3-1- L'industrie alimentaire :

En plus de la représenter comme complément alimentaire, la spiruline est utilisée comme la source du seul colorant bleu alimentaire naturel. Dans les bonbons, sorbets, tous type de sucreries, produits laitiers, boissons non alcoolisées. En Suisse et au Japon, il existe depuis longtemps du pain à la Spiruline (**Charpy et al., 2008**).

2-3-2- Traitement des eaux usées :

L'élimination des métaux lourds des effluents pollués est certainement un domaine prometteur pour l'utilisation de la biomasse microalgale et cyanobactérienne produite sur les eaux usées. Wilde et Benemann (1993) (**Wilde et al., 1993**) ont conclu que la biosorption des métaux lourds a le potentiel d'être plus efficace et moins chère que celle des procédés de traitement des eaux usées quaternaires.

2-3-3- Production de bioplastique :

Les déchets plastiques sont l'un des problèmes environnementaux les plus importants de la planète, Le besoin d'une solution innovante pour lutter contre cette pollution mondiale est inévitable d'autant plus que l'augmentation du recyclage des déchets plastiques n'est pas à elle seule une solution globale. Onen et Coll., (**Onen Cinar et al., 2020**) ont montrés - sur la base de leurs études -que les espèces *Chlorella* et *Arthrospira* étaient les plus couramment utilisées dans la production de biopolymères et de mélanges de plastiques. Des additifs tels que des plastifiants et divers produits chimiques ont été utilisés comme matériaux de mélange pour augmenter la qualité du produit final ce qui appelle à plus de recherche pour le rendre plus sain afin de l'utiliser dans les domaines liés à l'alimentation et à la santé, tels que les emballages

alimentaires et les soins de santé. Gozan et Noviasari (2018) (**Gozan et al., 2018**) ont expliqués la méthode de fabrication de films bioplastique à partir de spiruline. Il démontre aussi que l'ajout de glycérol comme plastifiant a entraîné une amélioration d'allongement du bioplastique fabriqués. Bien que le film bioplastique de *Spirulina platensis* ait une résistance à la traction plus élevée que le plastique commercial. Il est conclu que ce film bioplastique a montré des propriétés attirantes pour être utilisé dans vaste domine d'application et que la spiruline est l'un des matériaux prometteurs en raison de sa teneur élevée en protéines.

2-3-4- Aquaculture :

L'utilisation de la spiruline trois fois par jour dans l'alimentation des poissons (*Maylandia lombardoi*) augmenterait le taux de croissance et la production de graines par rapport à la consommation de spiruline une fois par jour.

3- Toxicité :

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 donnée 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.

Deuxieme partie

Partie pratique

Chapitr I : Matériels et méthodes

1- Matériels d'étude :

1-1- Matériel biologique :

La souche de la Spiruline utilisée dans notre travail est *Arthrospira platensis* type FOXBEHATAM. Cette souche a été isolée de la fourrière (23°06' 11", N5° 49' 01" E) dans la région de Tamanrasset (Algérie) (**annexe 07**) et c'était en été. Il a été conservé dans glacière (4 - 8°C) pour le transférer au laboratoire sans ajout aucun de conservateurs.



Photo 01: La souche de spiruline *Arthrospira platensis*

1-2- Matériels non biologique : (annexe 08)

- Pompe air aquarium
- Résistance aquarium
- Lampe
- Plastique pour la couverture
- Diffuseur d'air
- Minuteur
- Balance
- PH mètre
- Microscope optique
- Thermomètre Verrerie (Bécher, Flacons, tubes à essai...)
- Spectrométrie
- Agitateur

2- Méthodes d'étude :

2-1- Croissance d'*Arthrospira Platensis* :

2-1-1- Préparations des milieux de culture :

Le milieu de culture est le milieu nécessaire et convenable pour nourrir l'*Arthrospira platensis*.

A/ Milieu de culture " Zarrouk ":

Le milieu standard de Zarrouk, très souvent cité et servant de référence, mais pas très économique, est fabriqué à partir d'eau distillée et contient, en g/litre :

Tableau 12: Compositions de milieu de culture (Zarrouk).

Eléments	Quantité (g/l)
Na HCO ₃	16.8
K ₂ HPO ₄	0.5
Na NO ₃	2.5
K ₂ SO ₄	1
Fe SO ₄ , 7H ₂ O	0.01
Na Cl	1
Mg SO ₄ , 7H ₂ O	0.2
Ca Cl ₂	0.04
EDTA	0.08

Les éléments chimiques (mentionnés dans le tableau précédent) sont mélangés dans l'eau distillée et placés dans un flacon pour obtenir un litre de milieu de culture, puis tous les éléments sont mélangés avec un agitateur afin de les dissoudre. Après cela, nous ajoutons 1 ml de **solution A5** qui se compose des éléments (on les mélange de la même manière qu'avant) indiqués dans le tableau suivant:

Tableau 13: Composition de la « solution A5 », en g/l.

Eléments	Quantité (g/l)
CuSO ₄ , 5H ₂ O	0.079
H ₃ BO ₃	2.86
MnCl ₂ , 4H ₂ O	1.81
ZnSO ₄ , 7H ₂ O	0.222
MoO ₃	0.015

B/ Milieu de culture "NPK":

C'est le milieu qui contient principalement les éléments N, P et K, et le tableau montre leurs composants:

Tableau 14: les éléments du milieu de culture (NPK).

Eléments	Quantité (g/l)
NaHCO ₃	16
NPK	1
Sels	1

On obtient ce milieu en mélangeant tous les éléments chimiques mentionnés dans le tableau ci-dessus.

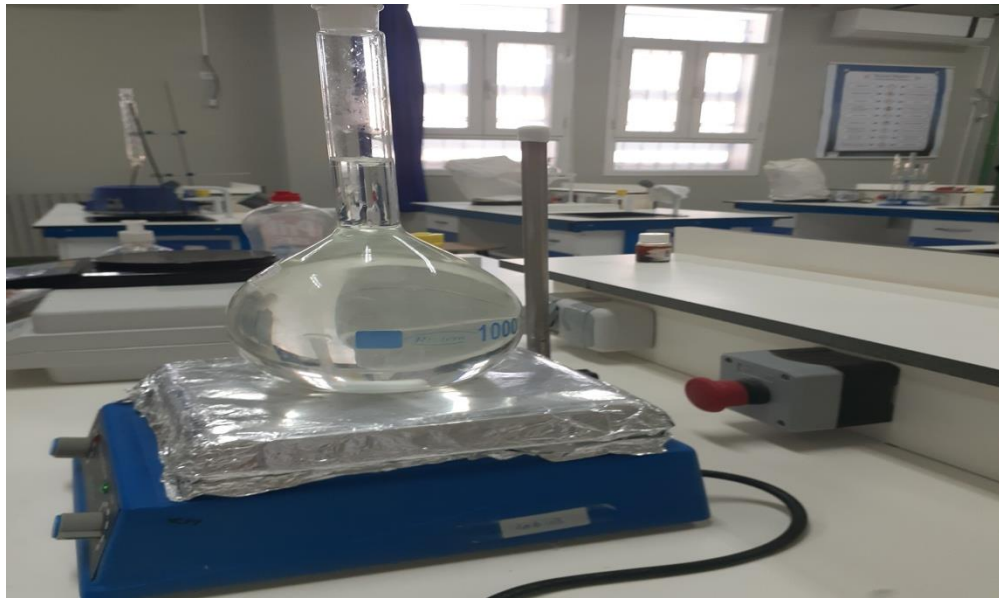


Photo 02: Milieu de culture

2-1-2- Le dispositif expérimental:

Le dispositif expérimental est installé sur une paillasse au laboratoire. Nous avons préparé 20 litres de milieu de culture dans de flacon de verre et ajouté 0,35 g de la souche (*Arthrospira platensis*) à chaque 1 litre de milieu de culture. Avec une température constante de 32°C et l'agitation assurée par une pompe à aquarium pour assurer une bonne aération.



Photo 03: Dispositif expérimentale



Photo 04: Filtration

2-1-3- Conditions de culture:

Le dispositif expérimental est installé sur une paillasse au laboratoire afin d'assurer la protection des cultures, et d'essayer de créer un système fermé avec une température constante.

A/ 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.

B/ Éclairement :

L'énergie lumineuse en nuit pour les cultures est fournie par une lampe.

C/ Température:

La température de la salle de culture est de l'ordre de 32°C à l'aide d'une résistance.

2-2- Suivi de croissance d'*Arthrospira platensis*:

La culture d'*Arthrospira platensis* est nécessitée de contrôler plusieurs paramètres à chaque jour :

- **Le pH** à l'aide d'un PH-mètre ;
- **La température** par Thermomètre ;
- **La Concentration** ; on va mesurer la densité optique à l'aide spectrophotomètre à longueur d'onde 625 nm, (Zerrouk, 1966).

2-3- Analyse biochimique de la biomasse d'*Arthrospira platensis* :**2-3-1- Protéine :**

La biomasse de protéine produite par la souche est déterminée par la méthode de Kjeldahl.

Cette méthode est construite sur le principe qu'un acide fort aide à la digestion des aliments afin qu'il libère de l'azote qui peut être déterminé par une technique de titrage appropriée. En observant la concentration en azote de l'aliment, la quantité de protéines présentes est alors calculée. Cette méthode est particulièrement idéale pour les protéines insolubles, les protéines dans les aliments et les protéines immobilisées de manière covalente sur des supports chromatographiques (Stoscheck, 1990; Whitaker et al., 1980; Harris et al., 1987; Smith et al., 1985). (Annexe 09)

2-3-2- Lipide:

La biomasse de lipide produite par la souche est déterminée par la méthode de Soxhlet. Cette méthode est basé sur l'échantillon à analyser est dans un premier temps acidifié, puis filtré. On récupère le filtre qui est placé dans une cartouche en cellulose. La cartouche est ensuite transférée dans le corps du Soxhlet dans lequel se fait l'extraction à l'hexane.

La cartouche est placée comme indiqué sur le montage. L'hexane, présent dans le ballon, va chauffer, s'évaporer et se condenser dans le réfrigérant. Il va ensuite retomber dans le ballon emportant avec lui les lipides se trouvant dans la cartouche. Une fois les cycles d'extraction terminés, on récupère le contenu du ballon à l'aide de l'évaporateur rotatif. Il ne reste ensuite dans le ballon que les lipides, on peut ainsi déterminer leur masse. L'appareil est constitué d'une unité de contrôle qui vérifie la température et qui automatise l'ajout de solvant. (Annexe 10)

2-3-3- Carbohydrate:

La biomasse de carbohydrate produite par la souche est déterminée par la méthode de Dubois. Dans cette méthode, La teneur en carbohydrates des échantillons de la souche a été déterminée. Brièvement, 10 ml d'échantillon de la souche ont été dilués à 100 ml dans de l'eau distillée.

À une aliquote (0,5 ml) de la solution, 0,5 ml d'une solution aqueuse à 5 % de phénol dans l'eau a été ajouté, puis 2,5 ml d'acide sulfurique concentré ont été directement ajoutés à la surface de la solution. Les réactifs ont été ajoutés en utilisant des distributeurs de banc Chempette (Cole Parmer, U.S.A.) de 2,0 et 10,0 ml, respectivement. Après 20 min, l'absorbance a été déterminée à 490 nm dans un spectrophotomètre Genesys 5 (ThermoSpectronic, U.S.A.). Un blanc a été préparé en utilisant de l'eau distillée au lieu de la solution de la souche.

La quantité de carbohydrates a été déterminée par référence à une courbe standard préparée avec des solutions contenant jusqu'à 12 µg/mL de D-glucose. Pour la reproductibilité, l'absorbance de l'échantillon d'*A.platensis* a été enregistrée sur un spectrophotomètre JASCO V-5380 (JASCO, Japon). (Annexe 11)

2-3-4- Phycocyanine:

Différentes méthodes d'extraction ont été proposées, y compris l'extraction par l'eau, par sonification, par solvant, congélation, par séparation aqueuse à double phase. **Pottecher (2015)** a proposé une méthode d'extraction moins chère et plus efficace basée sur la macération de la biomasse dans le glycérol ou dans un mélange eau/glycérol avec un rapport peut aller jusqu'à 60/40. Nous avons suivi un protocole similaire à celui de de Lafri et ses collaborateurs (**Lafri et al., 2017**), seul le rapport eau/glycérol qui a été modifié.

Dans ce travail on a mélangé 50 g de spiruline sèche avec un rapport de 50/50 eau/glycérol. L'étape suivante consiste à faire macérer le mélange pendant 15 jours à l'abri de la lumière et à température ambiante. Ensuite, le mélange a été filtré avec un papier filtre de 25 µm, Le pourcentage de phycocyanine est calculé selon la formule suivante (**Lafri et al., 2017**):

$$\text{Phycocyanine (mg/l)} = (\text{Ab}_{620} - 0.474 \times \text{Ab}_{650}) / 5.34$$

Après la macération, et la filtration, le filtrat obtenu a été centrifugé à 4000 tr/min pendant 5min, après avoir été dilué 100 fois l'absorption a ensuite été mesurée avec un spectrophotomètre de type photoLab® 6600 UV-VIS. (Annexe 12)

Chapitr II

Résultats et Discussion

1- Suivi de croissance d'*Arthrospira platensis* :

1-1- Température :

Dès que la culture d'*A. platensis* a été lancée, sa température a été mesurée avec un thermomètre. Les valeurs sont résumées dans le graphe suivant :

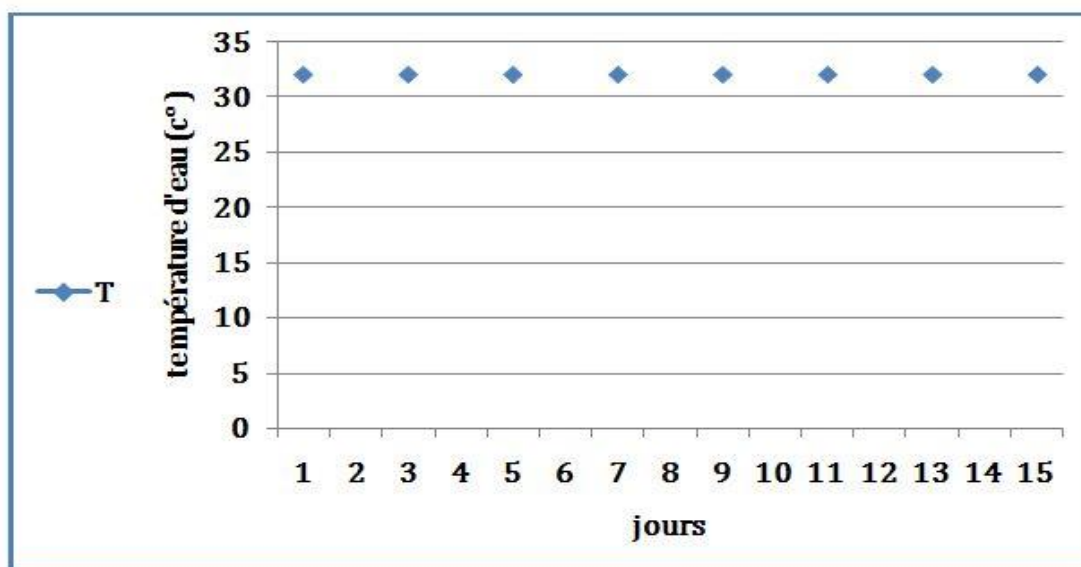


Figure 07: Evolution de la température du milieu de culture de l'*Arthrospira platensis*.

❖ Description :

Les résultats au niveau d'aquarium après ensemencement présentés sur la **figure 07**, qui représente les températures à chaque deux jours, on observe la stabilité de la température pendant la période expérimentale qui est estimée à 32°.

❖ Discussion :

La température du milieu de culture influence directement la vitesse de croissance d'*Arthrospira platensis* (**Falquet, 1996**). Une température inférieure à 20°C, limite la croissance, et ralentit la multiplication de la cyanobactérie. Pour des températures supérieures à 40°C, la culture dépérit par excès de chaleur (**Jourdan, 1999; Moheimani, 2005**).

Température entre 30 et 35°C, même si la température de 38°C était la mieux adaptée pour obtenir un rendement maximal. Parfois, Une température supérieure à 35°C conduit au blanchiment des cultures. Dans ce cas, un ombrage partiel doit être utilisé pour fournir une température de culture convenable (**Usharani et al., 2012**). Il doit également être utilisé lorsque la température de milieu est trop basse pour protéger la culture contre l'intensité lumineuse élevée, sinon la culture peut facilement mourir par photolyse.

Dans notre expérience, la température d'eau est restée constante (32°C) au long de la période expérimentale c'est le résultat d'un contrôle par une résistance aquarium pour assurer une bonne activité d'*A.platensis*.

1-2- PH :

Dès que la culture d'*A.platensis* a été lancée, son pH a été mesuré par un papier pH. Les valeurs sont résumées dans le graphe suivant :

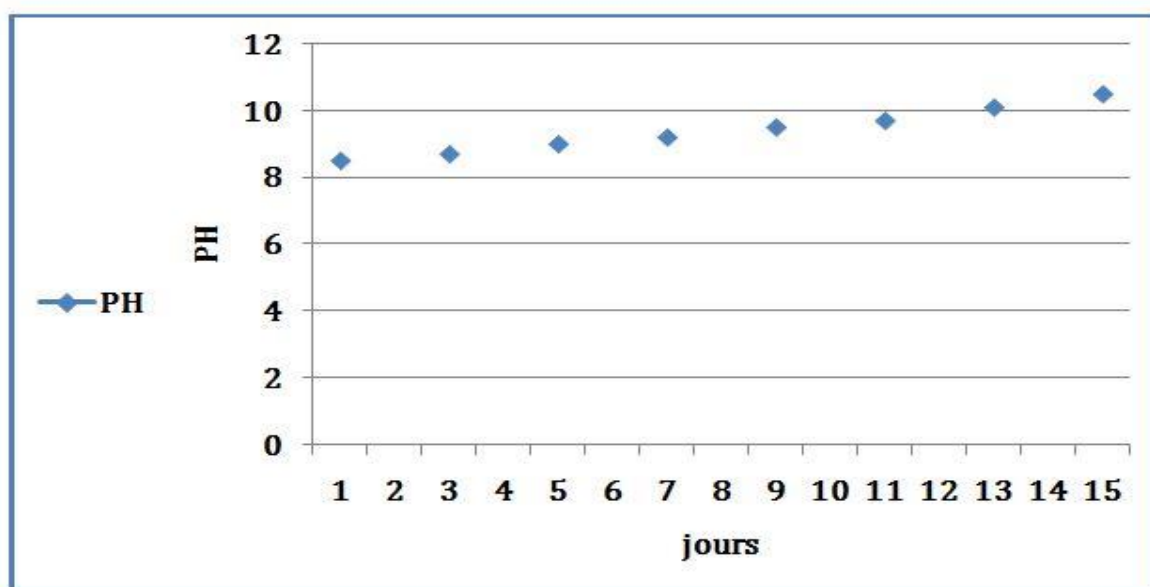


Figure 08: Evolution du PH dans le milieu de culture d'*Arthrospira platensis*.

❖ Description :

Les résultats au niveau d'aquarium après ensemencement présenté sur la **figure 08**, Ce qui représente les PH à chaque deux jours, on observe l'évolution du pH qui augmente progressivement pendant la période expérimentale qui est estimée de 8.5 à 10.5.

❖ Discussion :

Pour une bonne croissance de *Arthrospira platensis*, son milieu de culture doit présenter un degré d'alcalinité situé entre 8 et 11 (**Zarrouk, 1966; Jourdan, 2006; Laiche & Bessei, 2009**). Ce pH élevé ne permet pas à d'autres organismes (bactéries, virus, champignons) de proliférer dans son milieu de culture (**Loïc et al., 2008**). L'alcalinité est apportée par le bicarbonate de sodium (NaHCO_3), le sodium carbonaté (Na_2CO_3) ou par la soude caustique (**Zarrouk, 1966 ; Fox, 1999**). Cette cyanobactérie admet des variations lentes et progressives de pH, mais elle peut être détruite suite à des variations brutales (**Jourdan, 2012**).

Dans notre expérience, le PH initial de la culture au début de l'étude était de 8.5. Il a augmentée progressivement jusqu'à atteindre 10.5 après 15 jours qu'il est une valeur convenable pour la croissance d'*A.platensis*.

1-3- La biomasse :

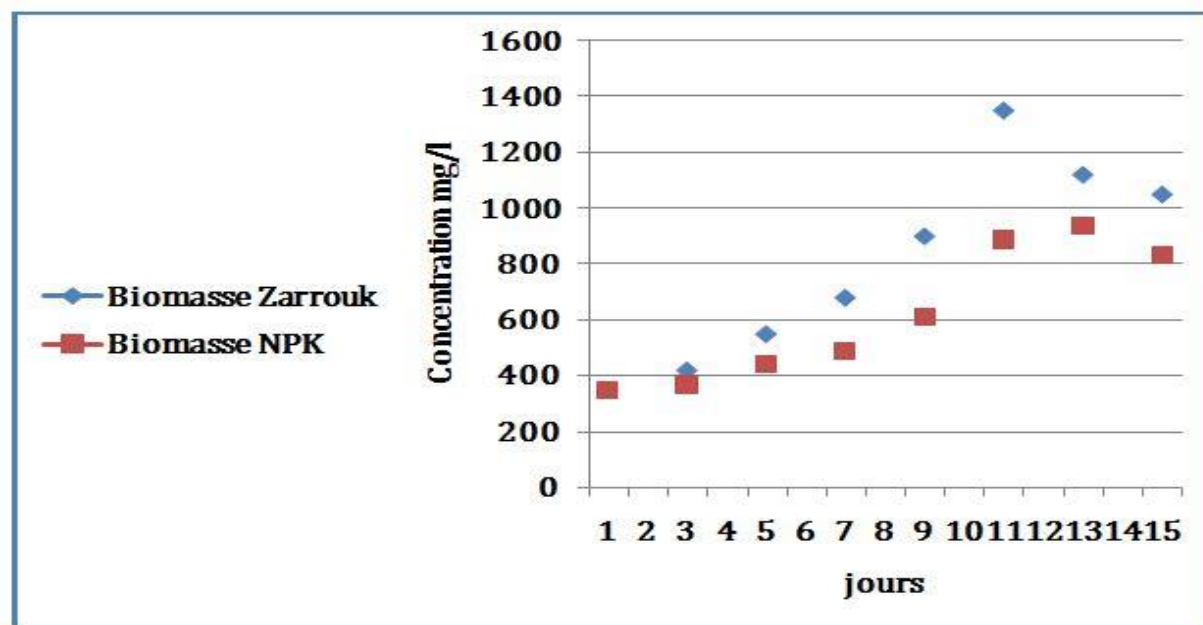


Figure 09: Evolution de la biomasse en (mg/l) dans le milieu de culture d'*Arthrospira platensis*.

❖ Description :

Les résultats au niveau d'aquarium après ensemencement présenté sur **la figure 09**, Ce qui représente la concentration de biomasse en (mg/l) d'*Arthrospira platensis* à chaque deux jours selon milieu Zarrouk et NPK, on observe dans chaque milieu l'évolution de la biomasse qui augmente progressivement pour atteindre le maximum (1350 mg/l dans milieu Zarrouk et 934 mg/l dans milieu NPK) puis diminue pour atteindre (1050 mg/l dans milieu Zarrouk et 830 mg/l dans milieu NPK) pendant la période expérimentale.

❖ Discussion :

On note que malgré le départ avec la même concentration de biomasse dans les deux milieux de culture (350 mg/l) la concentration de biomasse a augmenté jusqu'à atteindre son maximum; (1350 mg/l) au milieu de Zarrouk dans le 11 ème jour et (934 mg/l) au milieu de NPK dans le 13 ème jour.

Puis il diminue progressivement jusqu'à (1050 mg/l) au milieu de Zarrouk dans le 15^{ème} jour et (830 mg/l) au milieu de NPK dans le 15^{ème} jour. Où la concentration au milieu de Zarrouk était plus élevée tout au long de la période d'expérimentation qu'au milieu de NPK.

De là, on voit que le milieu de Zarrouk est meilleur que le milieu de NPK pour obtenir une biomasse plus élevée et donc une productivité plus élevée. Ainsi, le milieu de Zarrouk est le plus fiable pour la croissance de l'*A.platensis*.

En comparant les résultats de la présente étude avec des résultats antérieurs pour différents milieux de culture, les valeurs de biomasse sèche obtenues pour le milieu formulé (LCMA) sont plus élevées par rapport aux autres études, qui utilisaient des milieux commerciaux à base d'engrais pour la production de masse de spiruline, comme **Raouf et al. (2006)** en utilisant le milieu RM6, **Madkour et al. (2012)** qui ont remplacé les ingrédients de Zarrouk par des produits chimiques disponibles localement, et **Kumari et al. (2015)** en utilisant NPK10-26-26.

1-4- Récolte :

Une récolte a pu être réalisée à la fin de la période d'expérimentation c'est à dire après quatre mois de culture (durant les mois février et mai). Le poids de la biomasse obtenue est de 1.05 g au milieu Zarrouk et de 0.83 g au milieu NPK.

2- Analyse biochimique :

2-1- La protéine :

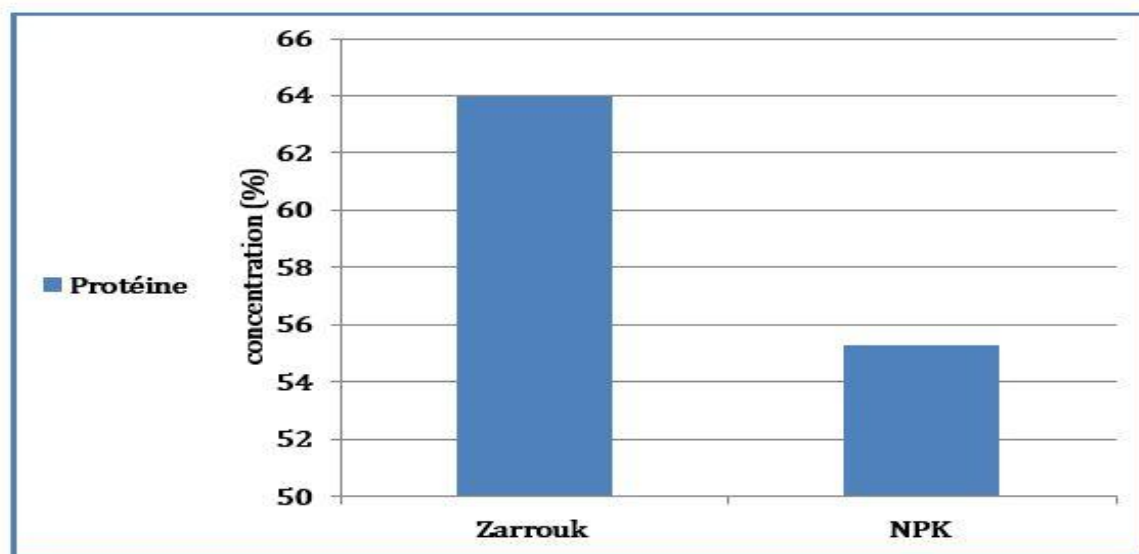


Figure 10: les pourcentages de concentration de protéine produite à partir d'*Arthrospira platensis* en milieu Zarrouk et NPK.

❖ Description :

La figure 10 représente les pourcentages de concentration de protéine produite à partir d'*Arthrospira platensis* en milieu Zarrouk et NPK.

Dans le milieu Zarrouk ; on observe une quantité importante de protéines est produite, estimée à 64 %.

Dans le milieu NPK; on observe aussi une quantité importante de protéines est produite mais moins que ce qui a été produit dans le milieu Zarrouk, qui est estimé à 55.3 %.

❖ Discussion :

On note les pourcentages de concentration de protéine produite à partir d'*Arthrospira platensis* en milieu Zarrouk et NPK.

Alors que le pourcentage de protéine produite dans le milieu de Zarrouk est 64 %, ce qui est supérieur à celui produit dans le milieu de NPK qui est 55.3 %.

De là, on voit que le milieu de Zarrouk est meilleur que le milieu de NPK pour obtenir une biomasse de protéine plus élevée.

En comparant les résultats de la présente étude avec des résultats antérieurs pour différents milieux de culture. La composition immédiate de la biomasse de spiruline était significativement affectée par le milieu de culture.

La protéine brute avait un pourcentage important du poids sec de la spiruline et il était plus élevé pour la spiruline cultivée dans le milieu de Zarrouk qui est estimée 65%. Cela signifie qu'il est très proche des résultats de notre étude qu'est estimée 64% dans le milieu Zarrouk et plus élevé que ce que nous avons trouvé dans le milieu de NPK qui est 55.3%.

La différence de teneur en protéines entre les milieux était peut-être due à la différence de composition en azote, puisque le milieu Zarrouk contenait plus d'azote provenant du nitrate de sodium (2,5 g/l) de l'engrais complexe NPK10-20-20. Ils sont rapportés par **Falquet (1997) et Hosseini et al. (2013)**.

2-2- Le lipide:

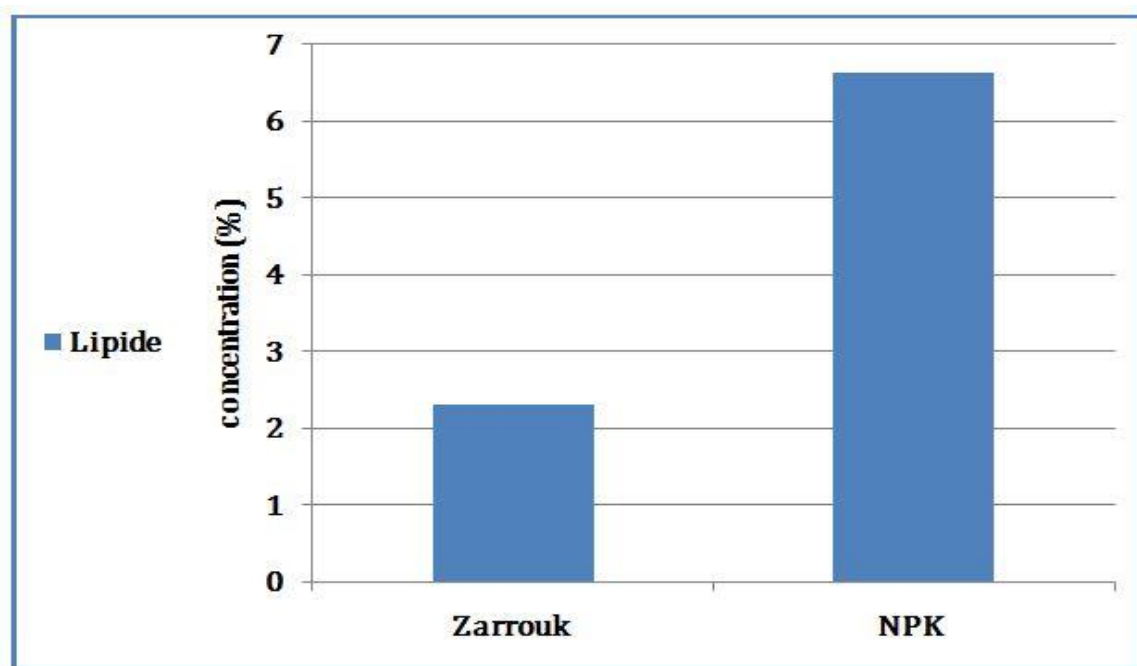


Figure 11: les pourcentages de concentration de lipide produite à partir d'*Arthrospira platensis* en milieu Zarrouk et NPK.

❖ Description :

La figure 11 représente les pourcentages de concentration de lipide produite à partir d'*Arthrospira platensis* en milieu Zarrouk et NPK.

Dans le milieu Zarrouk ; on observe une très petite quantité de lipide est produite, estimée à 2.3 %.

Dans le milieu NPK; on observe une petite quantité de lipide est produite mais plus que ce qui a été produit dans le milieu Zarrouk, qui est estimé à 6.64 %.

❖ Discussion :

On note les pourcentages de concentration de lipide produit à partir d'*Arthrospira platensis* en milieu Zarrouk et NPK.

Alors que le pourcentage de lipide produit dans le milieu de Zarrouk est 2.3 %, ce qui est inférieur à celui produit dans le milieu de NPK qui est 6.64 %.

De là, on voit que le milieu de NPK est meilleur que le milieu de Zarrouk pour obtenir une biomasse de lipide plus élevée mais avec une plus petite quantité dans chaque milieu de culture.

En comparant les résultats de la présente étude avec des résultats antérieurs pour différentes milieux de culture, les lipides totaux avaient un petit pourcentage du poids sec de la

spiruline et il était plus élevé pour la spiruline cultivée dans le milieu de Zarrouk qui est estimée 6.84%. Cela signifie qu'il est un peu plus élevé et très proches des résultats de notre étude qu'est estimée 6.64% dans le milieu NPK et plus élevé que ce que nous avons trouvé dans le milieu de Zarrouk qui est 2.3%. Ils sont rapportés par **Belay (2008)**, **Habib et al. (2008)**, **Kumari et al. (2015)**.

2-3- Le carbohydrate :

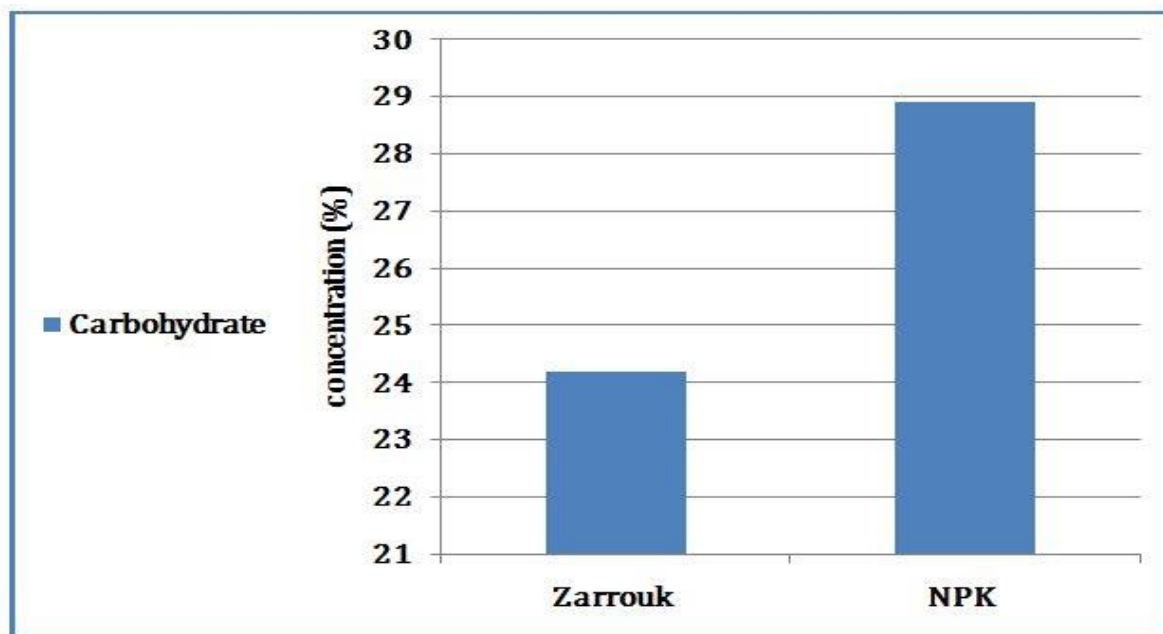


Figure 12 : les pourcentages de concentration de carbohydrate produite à partir d'*Arthrospira platensis* en milieu Zarrouk et NPK.

❖ Description :

La figure 12 représente les pourcentages de concentration de carbohydrate produite à partir d'*Arthrospira platensis* en milieu Zarrouk et NPK.

Dans le milieu Zarrouk; on observe une bonne quantité de carbohydrate est produite, estimée à 24.2 %.

Dans le milieu NPK; on observe aussi une bonne quantité de carbohydrate est produite mais plus que ce qui a été produit dans le milieu Zarrouk, qui est estimé à 28.9 %.

❖ Discussion :

On note les pourcentages de concentration de carbohydrate produite à partir d'*Arthrospira platensis* en milieu Zarrouk et NPK.

Alors que le pourcentage de carbohydrate produites dans le milieu de Zarrouk est 24.2 %, ce qui est inférieur à celui produit dans le milieu de NPK qui est 28.9 %.

De là, on voit que le milieu de NPK est meilleur que le milieu de Zarrouk pour obtenir une biomasse de carbohydrate plus élevée.

En comparant les résultats de la présente étude avec des résultats antérieurs pour différentes milieux de culture, la teneur en carbohydrate estimée dans le milieu LCMA était associée à une limitation des éléments majeurs, dont le LCMA avait une composition inférieure par rapport au milieu de Zarrouk où le pourcentage était de 13.62%. Cela signifie qu'il est moins élevé que des résultats de notre étude qu'est estimée 24.2% dans le milieu de Zarrouk et 28.9% dans le milieu de NPK.

Des études montrent que les microalgues sont capables d'alterner leurs stratégies métaboliques en accumulant plus de carbohydrates ou de lipides lorsque l'environnement est limitant en nutriments (Markou et al. 2012).

2-4- La phycocyanine :

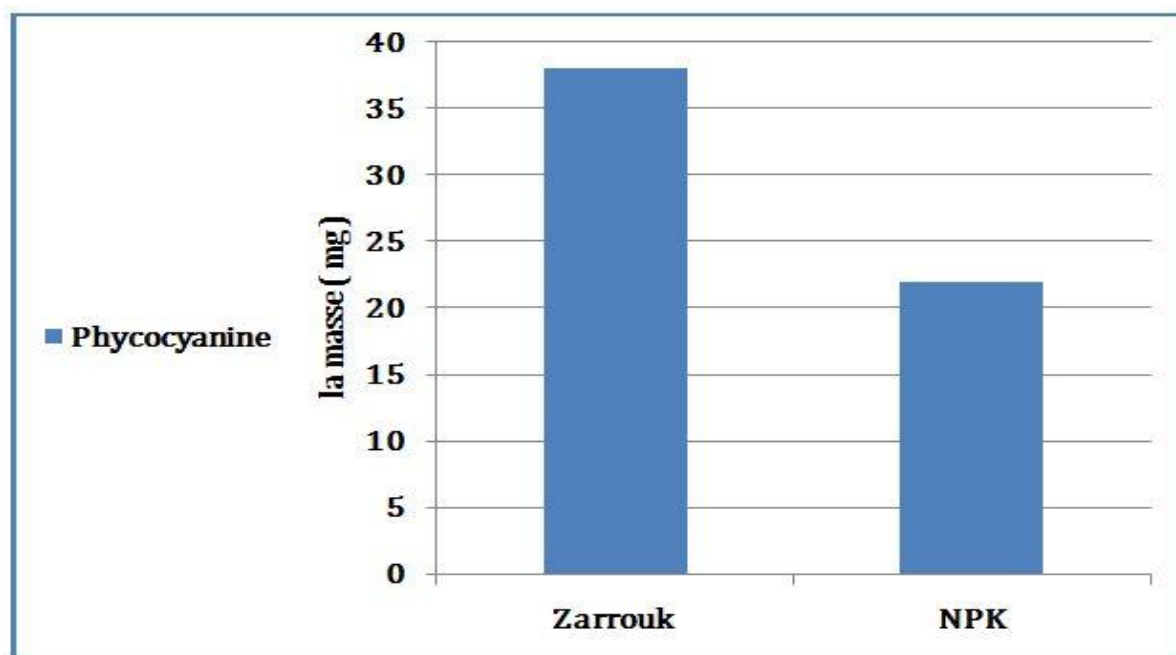


Figure 13: la masse en (mg) de phycocyanine produite à partir d'*Arthrospira platensis* en milieu Zarrouk et NPK.

❖ Description :

La figure 13 représente la masse en (mg) de phycocyanine produite à partir d'*Arthrospira platensis* en milieu Zarrouk et NPK.

Dans le milieu Zarrouk; on observe une petite quantité de phycocyanine est produite, estimée à 38 mg.

Dans le milieu NPK; on observe aussi une petite quantité de phycocyanine est produite mais moins que ce qui a été produit dans le milieu Zarrouk, qui est estimé à 22 mg.

❖ **Discussion :**

On note la masse de phycocyanine produite en mg à partir d'*Arthrospira platensis* en milieu Zarrouk et NPK.

Alors que la masse de phycocyanine produites dans le milieu de Zarrouk est 38 mg, ce qui est supérieur à celui produit dans le milieu de NPK qui est 22 mg.

De là, on voit que le milieu de Zarrouk est meilleur que le milieu de NPK pour obtenir une biomasse de phycocyanine plus élevée.

Nous avons comparé les résultats avec les travaux de **Lafri et Coll., (2017)**, dans lesquels 0,625 mg/ml de phycocyanine ont été obtenus. Cela signifie qu'il est moins élevé que les résultats de notre étude qu'est estimée 38 mg dans le milieu de Zarrouk et 22 mg dans le milieu de NPK.

Nous suggérons que cette différence est principalement due à la différence entre les deux souches utilisées dans les études. Aussi, cette différence peut également être due à la température ambiante moyenne et sans aucun doute, le milieu dans lequel pousse la spiruline affecte le rendement de sa phycocyanine.

Conclusion

La spiruline s'est imposée comme un super aliment après des siècles de consommation, en raison de ses nombreuses propriétés uniques, non seulement de sa haute valeur nutritionnelle mais même d'un point de vue thérapeutiques exceptionnelles. C'est ce qui a été démontré dans ce travail, nous sommes concentrés sur la description de tous les aspects biologiques d'*Arthrospira platensis* (morphologique, taxonomique, cycle biologique, écologique,).

Dans notre étude, Une température adéquate a été fournie (32%) avec une bonne aération pour obtenir de bons résultats. La croissance de l'*Arthrospira platensis* dans le milieu de Zarrouk et milieu de NPK est différente où il est la meilleure au milieu de Zarrouk parce que la valeur maximale de la concentration de biomasse produite par l'*Arthrospira platensis* (1350 mg/l) était au milieu de Zarrouk pendant la période d'expérimentation.

Les résultats obtenus concernant la biomasse produite pour chacune des protéines, lipides, carbohydate et phycocyanine diffère selon le milieu de culture. Où la production la plus élevée de protéine et de phycocyanine était dans le milieu de Zarrouk, qui est estimée à (64% de protéine et 38 mg de phycocyanine). Par contre, la production la plus élevée de lipide et de carbohydate était dans le milieu de NPK, qui est estimée à (6.64% de lipide et 28.9% de carbohydate).

Le milieu de Zarrouk est considéré comme le meilleur milieu pour la croissance de l'*Arthrospira platensis* en fournissant toutes les conditions nécessaires à la croissance, que sont les éléments chimiques, la lumière, la chaleur et le pH, ...etc. Néanmoins, le milieu de NPK n'est pas moins important que le milieu de Zarrouk en termes de qualité biochimique.

Nous invitons également la communauté scientifique de notre pays à lui accorder plus d'attention en raison de la possibilité de son utilisation dans de nombreux domaines et du fait qu'elle contient de nombreuses substances qui n'ont pas encore été découvertes.

Références bibliographiques

- AFAA, Association française pour l'algologie appliquée. *Actes du premier symposium sur la spiruline Spirulina Platensis* (Gom). Geitler de l'AFAA. 1982.
- Ahounou, M. N. (2018). La SPIRULINE : un complément alimentaire en conseil à l'officine. Enquête d'utilisation. (Doctoral dissertation, Université de Rouen).
- Australian government, Department of Health and Ageing Therapeutic. *Compositional guideline, Arthrospira platensis*. www.tga.gov.au/docs/html/compguid/platensis.htm, page consultée le 05 décembre 2006.
- 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.
- Babadzhanov A.S., Abdusamatova N., Yusupova F.M., Faizullaeva N., Mezhlumyan L.G. and Malikova M.Kh. *Chemical composition of Spirulina platensis cultivated in Uzbekistan*. Chemistry of Natural Compounds. 2004; **40** (3): p. 276-279.
- Banakar, V., Alam, Q., Rajendra, S. V., Pandit, A., Cladious, A., & Gnanaprakash, K. (2020). Spirulina, The Boon of Nature. International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences, 11(1), 57-62.
- Boudour, A. (2008). Recherche et essais de purification de spirulina sp. Dans différents habitats et culture d'*arthrospira* sp. PCC 8005 (Doctoral dissertation, Université Badji Mokhtar- Annaba).
- Campanella L., Crescentini G. and Avino P. *Chemical composition and nutritional evaluation of some natural and commercial food products based on Spirulina*. Analusis. 1999; **27**: p. 533-540.
- Charpy L., Langlade M.J. et Vicente N. CSSD : " Les Cyanobactéries pour la Santé, la Science et le Développement". Colloque international. 3-6 mai 2004. p. 1-6.
- Charpy L., Langlade M-J., Alliod R. La Spiruline peut-elle être un atout pour la santé et le développement en Afrique? Marseille: IRD; 2008.
- Charpy, L., Langlade, M. J., & Alliod, R. (2008). La Spiruline peut-elle être un atout pour la santé et le développement en Afrique. Rapport d'expertise pour le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche.
- Chorus I. and Bartram J. Toxic cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management. http://www.who.int/water_sanitation_health/
- Ciferri, O. (1983). Spirulina, the edible microorganism. Microbiological reviews, 47(4), 551.

- Cruchot, H. (2008). La spiruline, bilan et perspectives (Doctoral dissertation, Thèse de doctorat, faculté de médecine et de pharmacie de BESANCON, Université de Franche-Comte, France).
- 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.
- Doke, J.M. (2005). An Improved and Efficient Method for the Extraction of Phycocyanin from *Spirulina* sp. International Journal of Food Engineering. Vol. 1(2):1-11.
- Elaya Perumal, U., & Sundararaj, R. (2020). Algae: A Potential Source to Prevent and Cure the Novel Coronavirus. International Journal on Emerging Technologies 11(2): 479-483.
- Evoli Conseil (2015). Culture et vente de Spiruline : Etude de faisabilité économique. Disponible sur (dernier consultation septembre 2020)
- Falquet J. et Hurni J-P. *Spiruline : aspects nutritionnels*. www.antenna.ch/documents/AspNutr2006.pdf, page consultee le 20 janvier 2008.
- Falquet J., 1996. Un module d'apprentissage pour la production de la spiruline. Antenna Technology, Genève, 16 p.
- Fox R. D., 1999. La spiruline: Technique, pratique et promesse. Edisud, Aix-en-Provence, France, 246 p.
- 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.
- Fox R.D. *Spiruline, Technique pratique et promesse*. Aix en provence: Edisud; 1999.
- Fox, (1999); spiruline, Technologie pratique et promesse – France, 240p.
- Fox, R. D. (1999). La spiruline : technique, pratique et promesse. Edisud: 246. ISBN 2-7449-0100-8. p. 18-129.
- Girardin-Andreani C. Spiruline : système sanguin, système immunitaire et cancer. Phytothérapie. 2005; **4**: p. 158-161.
- Goulamabasse, T. R. (2018). Spiruline : Effets thérapeutiques et lutte contre la malnutrition à Madagascar - Thèse d'exercice, Faculté de Pharmacie de Lille.
- Gozan, M., & Noviasari, C. (2018). The effect of glycerol addition as plasticizer in *Spirulina platensis*-based bioplastic. In E3S Web of Conferences (Vol. 67, p. 03048). EDP Sciences.

- Harriman G.R., Smith P.D., Horne M.K., Fox C.H., Koenig S., Lack E.E., Lane H.C. *Vitamin B12 malabsorption in patients with acquired immunodeficiency syndrome*. Archives of Internal Medicine. 1989; **149** (9): p. 2039-2041.
- Harris, DA. CL, Bashford. (1987). Spectrophotometric assays. In, eds, Spectrophotometry and Spectrofluorimetry: a Practical Approach. IRL Press, Oxford, pp 59-61.
- Hayashi T. and Hayashi K. Calcium Spirulan, an Inhibitor of Enveloped Virus Replication, from Blue-Green Alga Spirulina platensis. Journal of Natural Products. 1996; **59**: p. 83-87.
- Hayashi, T., Hayashi, K., Maeda, M., & Kojima, I. (1996). Calcium spirulan, an inhibitor of enveloped virus replication, from a blue-green alga Spirulina platensis. Journal of natural products, 59(1), 83-87.
- Hidayati, J. R., Yudiati, E., Pringgienies, D., Oktaviyanti, D. T., & Kusuma, A. P. (2020). Comparative Study on Antioxidant Activities, Total Phenolic Compound and Pigment Contents of Tropical Spirulina platensis, Gracilaria arcuata and Ulva lactuca Extracted in Different Solvents Polarity. In E3S Web of Conferences (Vol. 147, p. 03012). EDP Sciences.
- Iltis, A. (1970). Phytoplancton des eaux natrantes du Kanem (Tchad) III. Variations annuelles du plancton d'une mare temporaire. Cah. O.R.S.T.O.M, sér. Hydrobiol. Vol. II : 63-59.
- Iltis, A. (1970). Phytoplancton des eaux natronnés du Kanem (Tchad) IV. Note sur les espèces du genre Oscillatoria, sous-genre Spirulina (Cyanophyta). Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol. Vol. IV : 130-134.
- Jeeji bai, n. (1985). competitive exclusion or morphological transformation? a case study with spirulina fusiformis, arch. hydrobiol., suppl. 71, algol. Stud., 38/39, 191.
- Jordan J P, (1999): Cultivez votre spiruline : manuel de culture artisanal. Publication Antenna Technologies.
- 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 J. Manuel de culture artisanale de la spiruline. 2014. Disponible sur <https://www.fichier-pdf.fr/2015/09/18/manuel-de-la-culture-artisanale-espiruline/manuel-de-la-culture-artisanale-de-spiruline.pdf> (dernière consultation janvier 2018)

- Jourdan J., 1999. Cultivez votre spiruline. Manuel de culture artisanale. Antenna technology. Genève, Suisse, 126 p.
- Jourdan J., 2006. Cultivez votre Spiruline. Manuel de culture artisanale, Antenna Technology. Genève, Suisse, 146 p.
- Jourdan J., 2012. Cultivez votre spiruline. Manuel de culture artisanale, Antenna Technology. Genève, Suisse, 226 p.
- Jourdan, (2006): Manuel de culture artisanale de spiruline. Edition 2006, Révision mars 2013.
- Jourdan, J. P. (2018). Manuel de culture artisanale pour la production de la spiruline. disponible sur : (dernière consultation septembre 2020) <http://spirulinefrance.free.fr/Ressources/Manuel%20du%202%20fevrier%202018.pdf>.
- Jung, F., Krüger-Genge, A., Waldeck, P., & Küpper, J. H. (2019). *Spirulina platensis*, a super food ? Journal of Cellular Biotechnology, 5(1), 43-54.
- K., Smith., R.I., Krohn., G.T., Hermanson et al. (1985). Measurement of protein using bicinchoninic acid. Anal Biochem;150(1):76-85.
- 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.
- Lafri, I., Jemni, M., Bensehaila, S., & Boutekrabt, L. (2017). Evaluation of methods of extracting phycocyanine and yield from *Spirulina platensis*. AgroBiologia, 7(2), 623-632.
- Laiche O., & Bessei A., 2009. Influence du stress salin sur la composition minérale de la spiruline (*Arthrospira platensis*). Diplôme d'Etudes Supérieures en Biologie. Université Kasdi Merbah-Ouagla, Algérie, 53 p.
- Li Z-Y., Guo S-Y., Li L., Cai M-Y. Effects of electromagnetic field on the batch cultivation and nutritional composition of *Spirulina platensis* in an air-lift photobioreactor. Bioresource Technology. 2007; **98**: p. 700-705.
- Loïc A., Sassolas A., Leca-Bouvier B. D. & Blum L. J., 2008. DNA biosensors and microarrays, Chemical reviews, 108 (1): 109-139.
- Manet, A. (2016) : La spiruline : Indications Thérapeutiques, Risques Sanitaires et Conseils à l'Officine, Thèse présentée pour l'obtention du titre de Docteur en pharmacie, Diplôme d'état, Université Grenoble Alpes, Faculté de Pharmacie de Grenoble.

- McCarty, M. F., & Dinicolantonio, J. J. (2020). Nutraceuticals have potential for boosting the type 1 interferon response to RNA viruses including influenza and coronavirus. *Progress in Cardiovascular Diseases*. 63(3), 383–385.
- Moheimani N., 2005. The culture of coccolithophorid algae for carbon dioxide bioremediation. Doctorat Thesis, Murdoch University, Australia, 225 p.
- Moor, V. J. A., Anatole, P. C., Nkeck, J. R., Nya, P. C. B., Mondinde, G. I., Kouanfack, C., ... & Ngogang, J. (2020). *Spirulina platensis* enhances immune status, inflammatory and oxidative markers of HIV patients on antiretroviral therapy in Cameroon. disponible sur : <https://assets.researchsquare.com/files/rs-12935/v1/manuscript.pdf> (dernière consultation septembre 2020) .
- Onen Cinar, S., Chong, Z. K., Kucuker, M. A., Wiecek, N., Cengiz, U., & Kuchta, K. (2020). Bioplastic Production from Microalgae: A Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11), 3842.
- 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 Juárezoropeza 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.
- Patel S, Goyal A. (2013) Current and prospective insights on food and pharmaceutical applications of spirulina. *Curr. Trends Biotechnol. Pharm.* p.681-95.
- Pelaez, F., 2006. The historical delivery of antibiotics from microbial natural products. Can history repeat?, *Biochem. Pharmacol*: 977-981.
- Pelmont, J. (1992). Bactéries et environnement, Adaptations physiologiques. Volume II. Publications Univ., Collection Grenoble Sciences. p. 467-469.
- Pendyala, B., & Patras, A. (2020). In silico Screening of Food Bioactive Compounds to Predict Potential Inhibitors of COVID-19 Main protease (Mpro) and RNA-dependent RNA polymerase (RdRp). *ChemRxiv*. Preprint. <https://doi.org/10.26434/chemrxiv.12051927.v2>
- Pottecher, F. (2015). Method for extraction and stabilizing phycocyanin and the uses thereof. U.S. Patent Application No. 14/429,475. [resourcesquality/toxycyanobacteria.pdf](https://resourcesquality.toxycyanobacteria.pdf), page consultée le 11 décembre 2006.

- Rinawati, M., Sari, L. A., & Pursetyo, K. T. (2020). Chlorophyll and carotenoids analysis spectrophotometer using method on microalgae. *Earth & Environmental Sciences journal*, 441(1), 012056.
- Romay, C. H., Armesto, J., Ramirez, D., Gonzalez, R., Ledon, N., & Garcia, I. (1998). Antioxidant and anti-inflammatory properties of C-phycoerythrin from blue-green algae. *Inflammation research*, 47(1), 36-41.
- Ross E., Dominy W. The nutritional value of dehydrated, blue-green algae (*Spirulina platensis*) for poultry . *Poultry Science*. May 1990; **69** (5): p. 794-800.
- Salés, S. (2004). Compte-rendu du Mini-colloque sur la spiruline à Tamanrasset. Association Targuinca.
- Sall M.G, Dankoko B., Badiane M., Ehua E. et Kuakuwin N. *Résultats d'un essai de réhabilitation nutritionnelle avec la Spiruline à Dakar (à propos de 59 cas)*. 1999; **46** (3): p.143-146.
- Sansone, C., Brunet, C., Noonan, D. M., & Albin, A. (2020). Marine Algal Antioxidants as Potential Vectors for Controlling Viral Diseases. *Antioxidants*, 9(5), 392.
- Sasson A, (1998): L'exploitation industrielle des micro algues. *Biofutur* n°179.
- Scheldeman, P., Baurain, D., Bouhy, R., Scott, M., Mühling, M., Whitton, B. A., ... & Wilmotte, A. (1999). *Arthrospira* ('*Spirulina*') strains from four continents are resolved into only two clusters, based on amplified ribosomal DNA restriction analysis of the internally transcribed spacer. *FEMS microbiology letters*, 172(2), 213-222.
- Sguera S. *Spirulina platensis* et ses constituants : intérêts nutritionnels et activités thérapeutiques. Thèse d'exercice. Université de Nancy I. UFR Sciences pharmaceutiques et biologiques, 2008
- Spolaore P, Joannis-Cassan C, Duran E, Isambert A (2006) Commercial Applications of Microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 101 : 87-96
- Stoscheck, CM. (1990). Quantitation of protein. *Methods Enzymol.* 182:50-68.
- Usharani, G., Saranraj, P., & Kanchana, D. (2012). *Spirulina* cultivation: a review. *Int J Pharm Biol Arch*, 3(6), 1327-1341.
- Whitaker, JR., Granum, PE. (1980). An absolute method for protein determination based on difference in absorbance at 235 and 280 nm. *Anal Biochem*; 109(1):156-9.
- Wilde, E. W., & Benemann, J. R. (1993). Bioremoval of heavy metals by the use of microalgae. *Biotechnology advances*, 11(4), 781-812.

- Xue C., Hu Y., Saito H., Zhang Z., Li Z., Cai Y., Ou C., Lin H., Imbs A. *Molecular species composition of glycolipids from Spirulina platensis*. Food Chemistry. 2002; **77**: p. 9-13.
- Yakoot, M., & Salem, A. (2012). Spirulina platensis versus silymarin in the treatment of chronic hepatitis C virus infection. A pilot randomized, comparative clinical trial. BMC gastroenterology, 12(1), 1-9.
- 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, Université des Sciences de Paris, France, 96 p.
- Zheng, J., Inoguchi, T., Sasaki, S., Maeda, Y., McCarty, M. F., Fujii, M., ... & Takayanagi, R. (2013). Phycocyanin and phycocyanobilin from Spirulina platensis protect against diabetic nephropathy by inhibiting oxidative stress. American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, 304(2), R110-R120.

Annexes

Annexes

Annexe 01 : Tableau de la distribution géographique naturelle de *Spirulina platensis* (Sguera et références citées, 2008).

AFRIQUE	
Algérie	Tamanrasset
Tchad	Région du Kanem : lacs Latir, Ouna, Borkou, Katam, Yoan, Leyla, Bodou, Rombou, Moro, Mombolo, Liwa, Iseïrom, Ounianga kebir
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 Twyn Taung, Twyn Ma et Taung Pyank
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	<i>non précisé</i>
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 Quilotoa : cratère de 1km de diamètre
AMERIQUE DU NORD	
Californie	Oakland ; Del Mar Beach
Haïti	Lac Gonâve
République Dominicaine	Lac Enriquillo
EUROPE	
Hongrie	<i>non précisé</i>
France	Camargue
AUTRES SITES POSSIBLES	
Partout où vivent le flamant nain, <i>Phoenicoparrus minor</i> (Afrique et Asie) et le flamant de James, <i>Phoenicoparrus jamesi</i> (Amérique du sud)	
Ethiopie	Lac Abiata
Kenya	Lac Rodolphe ; lac Hannington
Tanzanie	Lac Manyara ; lac Rukua
Zambie	Lac Mweru
Botswana	Makgadigka Salt Pans
Namibie	Etosha Salt Pan
Afrique du Sud	Etat libre d'Orange, près de Vaaldam
Bolivie	Lacs Colorado, Poopo, Chalviri, Salar de Uyuni
Chili	Agua Calientes, Lagunas Brava, lac Vilama, Salar de Surire
Mauritanie	Côte sud
Inde	Rann of Kutch ; Gujarat
Madagascar	Côte Ouest

Annexe 02: Bassin contenant de la spiruline en milieu de culture (Ahounou, 2017).



Annexe 03: bassin en bâches plastique (Jourdan, 2018).



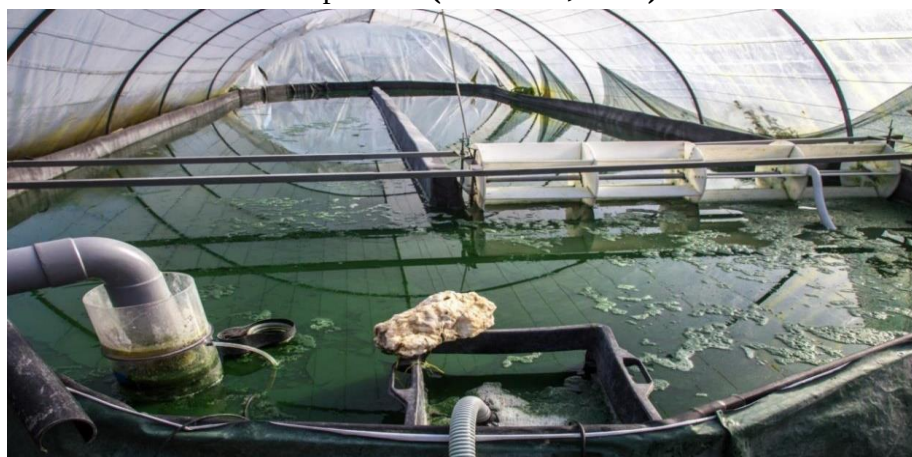
Annexe 04: bassin en béton (Jourdan, 2018).



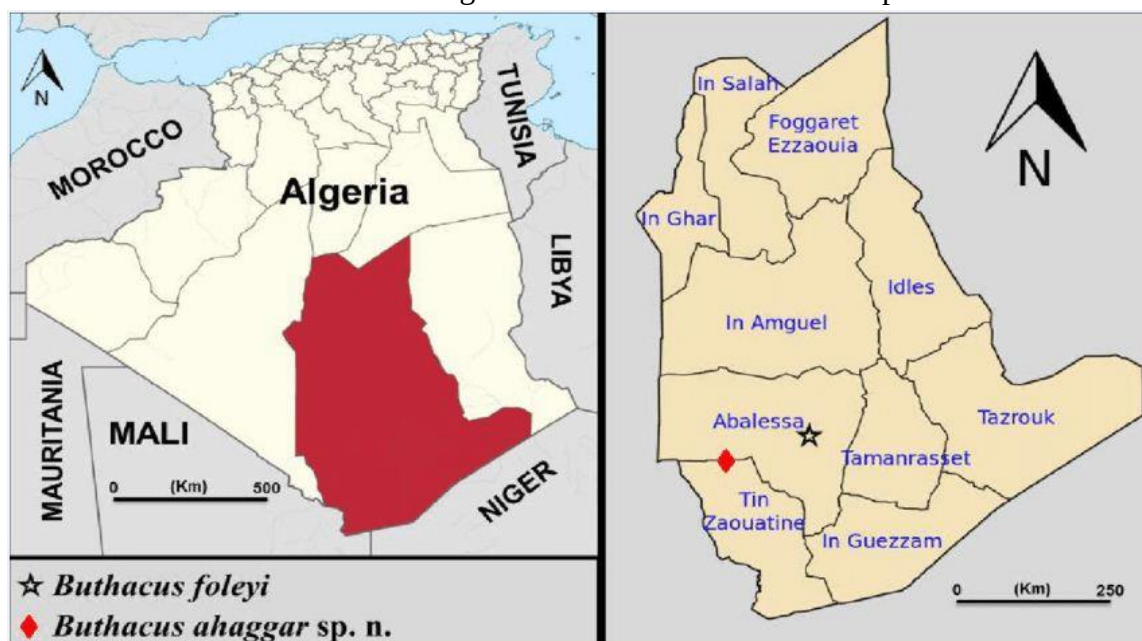
Annexe 05: bassin en argile (Jourdan, 2018).

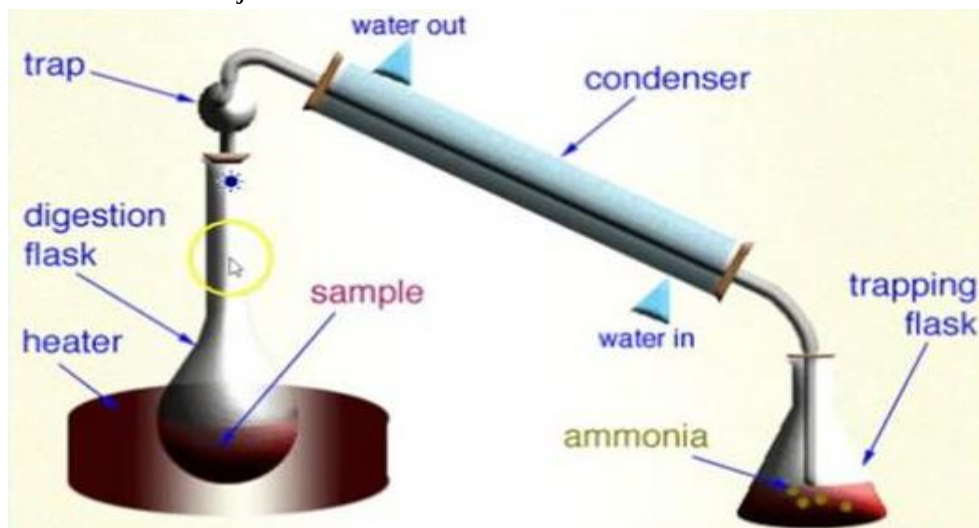


Annexe 06: bassin contenant de la spiruline (Ahounou, 2018).

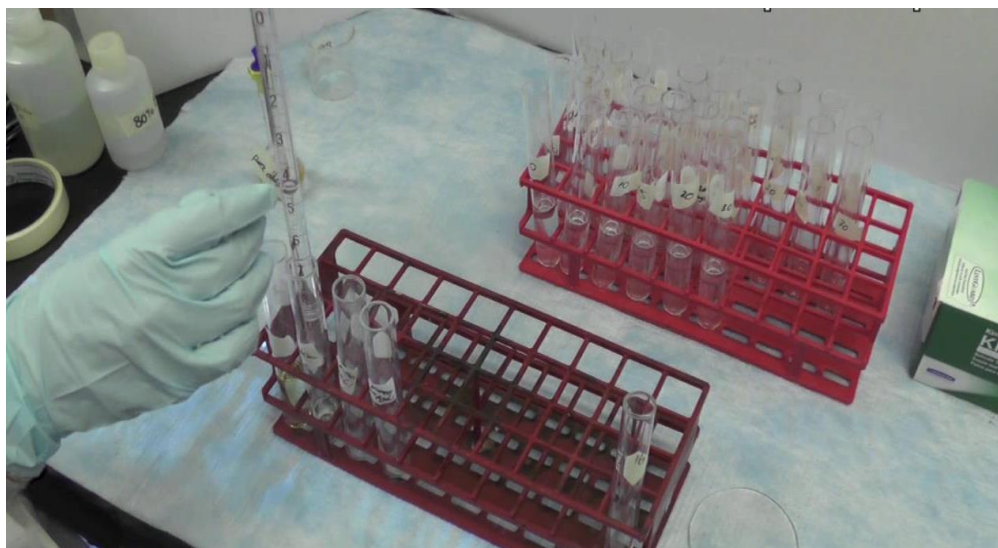


Annexe 07: montrant la carte de la région d'où la souche utilisée a été prélevé.



Annexe 08: les matériels non biologiques.**Annexe 09:** méthode de Kjeldahl.**Annexe 10:** méthode de Soxhlet.

Annexe 11: méthode de Dubois.



Annexe 12: extraction de phycocyanine.



Phycocyanin extraction.

Drying of Phycocyanin.

Perspective :

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 toutes 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.