



UNIVERSITE KASDI MERBAH, OUARGLA

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA
VIE

DEPARTEMENT DES SCIENCES BIOLOGIQUES

Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER Professionnel

Domaine : Sciences de la nature et de la vie

Filière : Hydrobiologie marine et continentale

Spécialité : Aquaculture

Présenté par : - M^{elle} BENSACI Ryane

- M^{elle} KORICHI Fatima

Thème

**Les problèmes de contamination et les contraintes morphologiques
de la spiruline (*Arthrospira platensis*).**

Soutenu publiquement le : 08/ 10 /2020

Devant le jury :

Encadreur: Mr .Ali SAGGAI MAA à l'U.K.M.-Ouargla

Président: M^{elle} R. MANAMANI MAA à l'U.K.M.-Ouargla

Examineur : M^{elle} A. DJAGHOUBI Candidate au doctorant à l'U.K.M.-Ouargla

Année universitaire : 2019/2020

REMERCIEMENTS

NOUS REMERCIEONS DIEU LE TOUT PUISSANT DE NOUS AVOIR
DONNE LA SANTE ET LA VOLONTE D'ENTAMER ET DE TERMINER
CE TRAVAIL.

TOUT D'ABORD, NOUS REMERCIONS EGALEMENT L'ENCADREMENT
EXCEPTIONNEL M. A.SAGGAI, POUR SA PATIENCE, SA RIGUEUR ET
SA DISPONIBILITE DURANT NOTRE PREPARATION DE CE TRAVAIL.

NOUS EXPRIMONS EGALEMENT NOTRE PROFONDE GRATITUDE A
MELLE A.DJAGHOUBI, QUI A ACCEPTE D'EXAMINER NOTRE
TRAVAIL.

NOUS TENONS A REMERCIER MELLE MANAMANI.R, QUI A
ACCEPTE LA PRESIDENCE CETTE LETTRE ET LE JURY

NOUS N'OUBLIONS PAS L'ENSEMBLE DES ENSEIGNANTS DE
L'AQUACULTURE ET SURTOUT MADAME HIDOUCI.S.

NOUS ADRESSONS NOTRE SINCERE REMERCIEMENT A MONSIEUR
ABD ELMADJID BOUMMADA, POUR SON AIDE, ET SES PRECIEUX
CONSEILS.

ENFIN, NOUS TENONS A REMERCIER SINCEREMENT TOUTES
LES PERSONNES QUI NOUS ONT AIDENT DE PRES OU DE LOI A LA
REALISATION DE CE TRAVAIL.

DEDICACES

A LA LUMIERE DE MES JOURS, LA SOURCE DE MES EFFORTS,
LA FLAMME DE MON CŒUR, MA VIE ET MON BONHEUR ; MAMAN QUE
J'ADORE.

A TOUS MES FRERES ET MES SŒURS, ET TOUTE LA FAMILLE
A L'HOMME DE MA VIE, MON EXEMPLE ETERNEL, MON SOUTIEN MORAL
ET SOURCE DE JOIE ET DE BONHEUR, CELUI QUI S'EST TOUJOURS
SACRIFIE POUR MON PERE.

AUX PERSONNES QUI M'ONT TOUJOURS AIDE ET ENCOURAGE, QUI
ETAIENT TOUJOURS A MES COTES, ET QUI M'ONT ACCOMPAGNAIENT
DURANT MON CHEMIN D'ETUDES SUPERIEURES,

MES AIMABLES AMIS, COLLEGUES D'ETUDE ET FRERES DE CŒUR, TOI
FADWA, KHAOLA, LAHSEN, HASSNA, HOUDA, WARDA, HADDA, SABRIN
IKRAM....ET A TOUS CEUX QUI ME SONT CHERS ET QUE J'AI OMIS DE
CITER.....

A MA CHERE BINOME KORICHI FATIMA.ET TOUTS SA FAMILLE.

ET A TOUS CEUX QUI ONT CONTRIBUE DE PRES OU DE LOI POUR QUE CE
PROJET SOIT POSSIBLE, JE VOUS DIS MERCI.

♥ Ryane

DEDICACES



A MES CHERS PARENTS, POUR TOUS LEURS
SACRIFICES, LEUR AMOUR, LEUR TENDRESSE, LEUR SOUTIEN
ET LEURS PRIERES TOUT AU LONG DE MA VIE.

MA MERE, QUI A TOUJOURS ETE DERRIERE MOI ET M'ENCOURAGE DANS
MES ETUDES.

MON PERE QUI ETAIT TOUJOURS ET JAMAIS LE PLUS GRAND SOUTIEN
POUR MOI ET QUI ETAIT DERRIERE MOI A CHAQUE MOMENT DE MA VIE,

A MA CHERE SŒUR MARIAM, ET A MES CHERS FRERES KHALED, KACEM,
TAHA, ABD LATIF, POUR LEURS ENCOURAGEMENTS PERMANENTS, ET
LEURS SOUTIEN MORAL,

A TOUTE MA FAMILLE, A MES TRES CHERES AMIES QUI SONT
PROFONDEMENT DANS MON CŒUR HABIBA, KHANSA, MARIYA, ASIA,
AMINA

JE DEDIE MON BINOME RAYENE BEN SACI .ET TOUT LA FAMILLE.

ET A TOUS CEUX QUI ONT CONTRIBUE DE PRES OU DE LOI POUR QUE CE
PROJET SOIT POSSIBLE, JE VOUS DIS MERCI.

QUE CE TRAVAIL SOIT L'ACCOMPLISSEMENT DE VOS VŒUX TANT
ALLEGUES,

MERCI DE FAIRE PARTIE DE MA VIE D'ETRE TOUJOURS LA POUR MOI

Fatima



Liste des figures

Figure 1:schéma de structure d'une cyanobactérie.....	6
Figure 2:Exemples de la diversité morphologique des cyanobactéries.....	7
Figure 3:morphologie de différents types cellulaires des cyanobactéries filamenteuses.	9
Figure 4: zone de croissance naturelle de la spiruline dans le monde.....	18
Figure 5: cycle biologique de la spiruline.	20
Figure 6 : Représentation disque de Secchi.....	24
Figure 7:différentes formes prises par la spiruline	27
Figure 8:comparaison des espèces Spirulina maxima et platensis	Erreur ! Signet non défini.
Figure 9:Reconnaissance de l'orientation de l'hélice dans Arthrospira	Erreur ! Signet non défini.
Figure 10:Image confocale d' Arthrospira D923 cultivée à (A) 30 ° C et (B) 32 ° C... ..	Erreur ! Signet non défini.
Figure 11:Influence d'une élévation de la température de croissance .	Erreur ! Signet non défini.
Figure 13 : A. Bassins couverts: B. à ciel ouvert de culture industrielle de Spiruline.	29
Figure 14 : situation de wilaya d'Ouargla.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 15 : Evolution de la température de l'eau, dans les milieux	49
Figure 16: Evolution du pH dans le milieu de culture de Spiruline.	50

Liste des photos

Photo 1: situation géographique de l'exploitation 2-photo une serre d'exploitation de l'université d'Ouargla.....	Erreur ! Signet non défini.
Photo 2 : La souche de spiruline Arthrospira platensis	Erreur ! Signet non défini.
Photo 3 : représentant les matériels et accessoires utilisées pour la culture de la spiruline.	Erreur ! Signet non défini.
Photo 4 : Le dispositif expérimental.....	Erreur ! Signet non défini.
Photo 5 : les matériels et les instruments utilisée pour la multiplication de la spiruline..	Erreur ! Signet non défini.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Principales cyanotoxines et leurs effets sur la santé.....	11
Tableau 2 :synthétise la taxonomie d'Arthrospira platensis	18
Tableau 3 : Analyse d'un milieu de culture typique.....	21
Tableau 4 : Résumé de plusieurs descriptions morphologique d'Arthrospira platensis (Antenna Technologie).....	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 5. Souches d'Arthrospira testées pour l'inversion de l'orientation de l'hélice à différentes températures de croissance	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 6: Les moyennes Observées des éléments toxiques.	37
Tableau 7 : composition chimique du milieu de culture	Erreur ! Signet non défini.

Sommaire

INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES CYANOBACTERIES ET PRESENTATION DE LA SPIRULINE	
1. GENERALITE	4
2. DEFINITION DES CYANOBACTERIES	5
3. BIOTOPE DES CYANOBACTERIES	6
4. MORPHOLOGIE DES CYANOBACTERIES	7
5. MULTIPLICATION DES CYANOBACTERIES	9
6. MOBILITE DES CYANOBACTERIES	9
7. LES CYANOBACTERIES A POTENTIEL TOXIQUE ET LES CYANOTOXINES	10
CHAPITRE II. CULTURE DE LA SPIRULINE	
2.1 PRESENTATION DE LA SPIRULINE (ARTHROSPIRA PLATENSIS).. ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.	
2.1.1 HISTOIRE ET LES GISEMENTS NATURELS DANS LE MONDE	16
2.1.2 CLASSIFICATION TAXONOMIQUE	18
2.1.3 REPRODUCTION.....	19
2.1.4 CULTURE DE LA SPIRULINE	20
2.1.5 CONDITION DE CULTURE	20
2.1.6 MILIEU DE CULTURE	21
2.1.7 L'EAU	22
2.1.8 TECHNIQUE DE CULTURE	23
2.2 CONTRAINTE MORPHOLOGIQUE DE LA SPIRULINE	25
2.2.1 DESCRIPTION	22
2.2.2 DIFFERENTES FORMES PRISES PAR LA SPIRULINE	23
2.3 LES DIFFERENTS MODES DE PRODUCTION DE SPIRULINE	27
2.3.1 CULTURES ARTISANALES	28
2.3.2 CULTURES INDUSTRIELLE.....	28
2.4 LA CONSTRUCTION ET EQUIPEMENT DE BASSIN DE CULTURE	29
CHAPITRE III. VALORISATION DE LA SPIRULINE	
2.1 COMPOSITION CHIMIQUE DE LA SPIRULINE	32
2.2 INTERET ET UTILISATION	32

2.2.1 UTILISATION	32
2.2.2 INTERET	35
2.2.3 CONSOMMATION.....	35
2.3 ETUDES TOXINES.....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
2.3.1 RECHERCHE DE TOXINES MINERAUX	36
2.3.2 RECHERCHE DE TOXINES ORGANIQUES, MUTAGENES, TERATOGENES.....	37
2.3.3 CYANOTOXINES	38
2.3.4 RESIDUS DE PESTICIDE	38
2.3.5 REACTIONS ALLERGIQUES	39
2.3.6 RISQUES DE SURDOSES	39
2.4 PROBLEMES DE LA CONTAMINATION.....	39
2.4.1 LE PROBLEME DES POLLUTIONS PAR HUMAINES	40
2.4.2 LE PROBLEME DES CONTAMINATIONS NATURELLES	40
2.4.3 CONTAMINATION PAR PETITS ANIMAUX.....	41
2.4.4 CONTAMINATION PAR D' AUTRES BACTERIES (HORS CYANOBACTERIES).....	42
2.4.6 CONTAMINATION PAR MICRO-ORGANISMES	43
2.4.11 METAUX LOURDS.....	45
2.4.12 CONTAMINATIONS, COUVERTURE DES BASSINS	45

CHAPITRE IV . MATERIEL ET METHODES

3.1 L'OBJECTIF DE L'ETUDE	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
3.1.1 REGION D'ETUDE	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
3.1.2 L'EAU UTILISEE	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
3.1.3 LES PRODUITS DE PREPARATION DE MILIEU DU CULTURE	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
3.2 LES MATERIELS ET LES INSTRUMENTS:	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
3.2.1 MATERIEL BIOLOGIQUE	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
3.2.2 LES MATERIELS ET ACCESSOIRES DE CULTURE	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
3.2.3 LES ACCESSOIRES	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
3.2.4 LES INSTRUMENTS DE CONDUITE ET DE MESURE DE LA CULTURE	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
3.3 DISPOSITIF EXPERIMENTAL	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
3.3.1 MULTIPLICATION DE LA SOUCHE	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.

CHAPITRE V : RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1 RESULTATS	48
4.1.1 MULTIPLICATION DE LA SOUCHE	51

4.1.2 CULTURE ET PRODUCTION DE LA SPIRULINE.....	51
4.1.3. EVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES	49
4.1.3.1 TEMPERATURE	49
4.1.3.2 PH	49
4.2 DISCUSSION DES RESULTATS	50
4.2.1 TEMPERATURE	50
4.2.2 PH	50
4.2.3 CROISSANCE DE LA SPIRULINE	51
CONCLUSION.....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	56
ANNEXES.....	68



INTRODUCTION

INTRODUCTION

Les micros algues se classent en 4 grandes familles selon la dominante de leurs pigments : les cyanobactéries, les algues bleues dont la spiruline sont des procaryotes (sans noyau cellulaire), les algues rouges et vertes (Plante), les algues brunes et les alvéolobiontes, sont des eucaryotes.

La spiruline est un petit être aquatique (0,3 mm de long), le nom scientifique est "cyanobactérie *Arthrospira platensis*" (ne pas confondre avec la cyanobactérie marine dénommée scientifiquement "*Spirulina subsalsa*"), qui vit de photosynthèse comme les plantes et prospère naturellement dans les lacs salés et alcalins des régions chaudes du globe. (**J.P. Jourdan 2011**). Mais on peut le trouver dans les eaux saumâtres et les lacs alcalins des régions tropicales et subtropicales. Cependant, il peut être trouvé dormant parmi les rochers des déserts. Dans ce cas, il est très résistant et peut supporter des températures extrêmes en attendant quelques gouttes d'eau qui le réhydrateront. Il est naturellement présent entre 35 ° S et 35 ° N de latitude (**Journal Libération du 14 septembre 2014. Lucile Morin**).

Nourriture traditionnelle des Aztèques du Mexique et des Kanembous du Tchad, plus riche en protéines que la viande, la spiruline est maintenant cultivée dans de grandes usines aux U.S.A., en Inde, en Chine, en Thaïlande, etc., (**J.P. Jourdan 2011**).

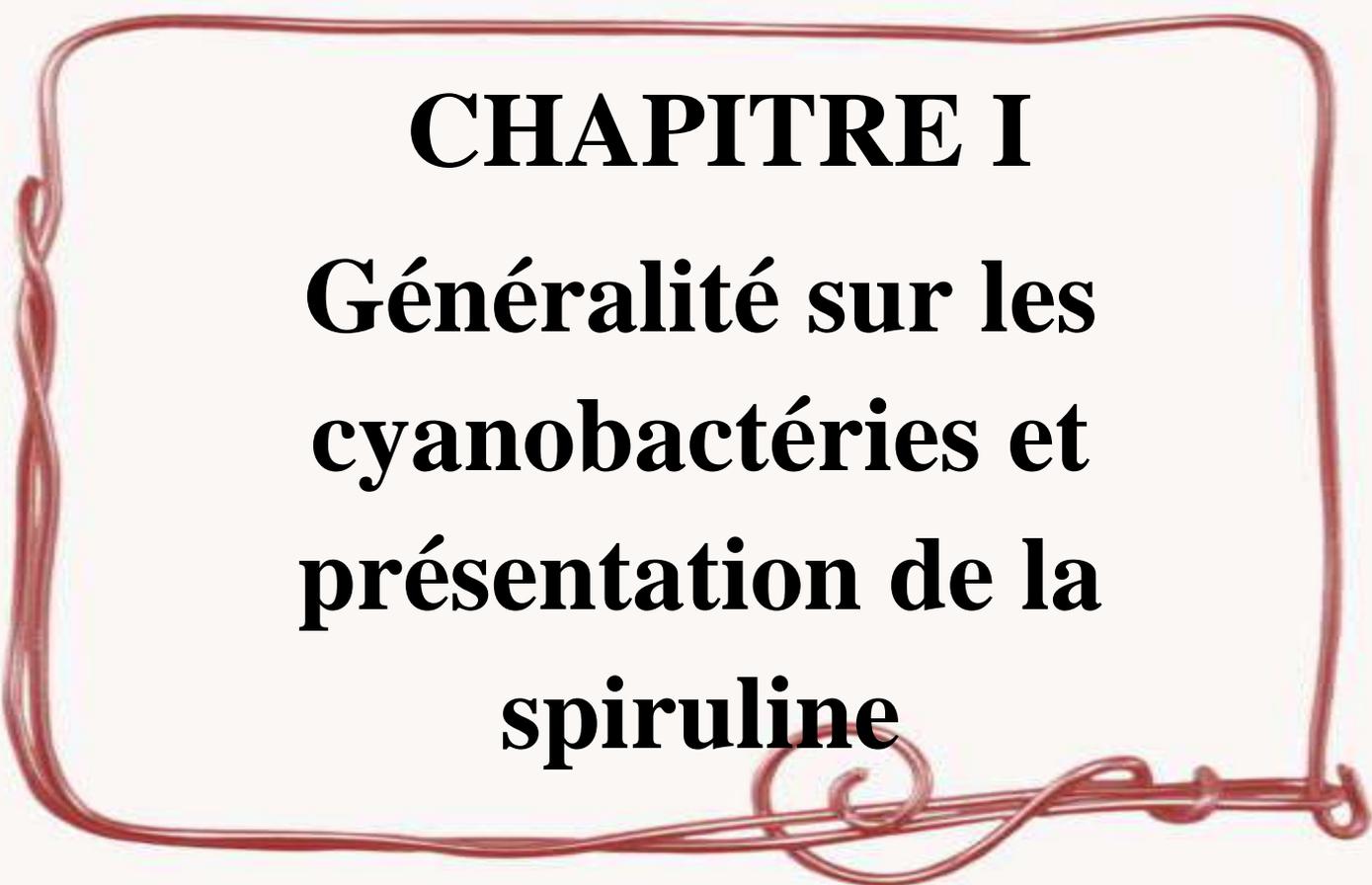
Entre les 18 et 25 Avril 2004, le premier mini-colloque sur la Spiruline a été à Tamanrasset, des scientifiques et chercheurs ayant une expérience de la culture et des utilisations de la spiruline sont venus de France sur invitation de Mr. HIRI, afin d'informer les représentants des administrations locales,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

Il existe de nombreuses formes différentes de cette algue, indépendamment de la forme articulaire du *platensis*, du sommeil et des conditions exceptionnelles dans lesquelles elle vit, elle n'altère pas sa composition.

Le changement de forme est lié à son adaptabilité dimensionnelle se rapportant au milieu de Culture. (**CALLARA, 2008**). Les facteurs environnementaux tels que la température auraient cependant une influence sur l'orientation de l'hélice, (**Muhling et al. 2003 in Jarisoia, 2005**). Les filaments d'*Arthrospira* sont motiles, se déplaçant souvent par des mouvements en vrilles à plus de 5µ par seconde, sa motilité lui sert à se protéger des expositions trop fortes au soleil (**Fox, 1999**).

On distingue plusieurs morphologies "spirales", "ondulées", et "droites" Cependant, la spiruline peut contenir divers polluants. D'autre part, des cyanobactéries d'autres genres ont été identifiées et leurs toxines dans des lots de spiruline. En revanche, la présence d'oligo-éléments minéraux a été signalée dans la spiruline sauvage ou de culture. D'autres espèces bactériennes sont également possibles (**avis Anses, 2017**).

La partie bibliographique de notre travail décrit l'historique, la morphologie, la taxonomie, l'écologie, la composition nutritionnelle qualitative et quantitative, les différentes techniques de culture existant actuellement à travers le monde, les différents modes de consommation et les risques de toxicité d'*Arthrospira platensis*. S'en suivra, une synthèse des propriétés thérapeutiques de la spiruline et de ses principaux constituants, avant d'exposer brièvement les différents moyens de production de cette algue à travers le monde. La partie pratique est la mise en œuvre de la culture de la spiruline et comment la produire dans deux milieux différents, selon les deux types d'eau différents présents dans L'exploitation agricole, située à l'Université KasdiMerbah-Ouargla.?



CHAPITRE I

**Généralité sur les
cyanobactéries et
présentation de la
spiruline**

CHAPITRE I : Généralité

1. Généralité sur les cyanobactéries :

Les cyanobactéries sont les premiers organismes à être apparus sur terre, il y a environ 3,5 milliards d'années (**Schopf & Packer, 1987; Schopf, 2002**). Leur prolifération pendant la période du précambrien est à l'origine de l'atmosphère terrestre, riche en oxygène de l'époque moderne (**Berkner & Marshall, 1965**) et d'une évolution de la vie végétale et animale plus complexe (**Kasting & Siefert, 2002**). Ces organismes photoautotrophes présentent des adaptations évolutives et une diversité remarquables, résultant de l'évolution des conditions environnementales à la surface de la Terre (**Pearl & Fulton, 2006**). Ce groupe microbien physiologiquement et écologiquement diversifié a survécu et s'est adapté à toute une gamme des changements géochimiques marquant l'évolution de la biosphère terrestre (**Pearl & Fulton, 2006**).

Basées sur la classification de (**Anagnostidis & Komárek, 1985, 1988, 1990; Komárek & Anagnostidis, 1986, 1989**) et révisées par Komarek et *al.* en 2014, les cyanobactéries peuvent être divisées en huit ordres : Chroococcales, Chroococciopsis psidales, Gloeobacterales, Oscillatoriales, Nostocales, Pleurocapsales, Spirulinales et Synechococcales qui regroupent plus de 2000 espèces.

Le taxon des Spirulinales comprend trois genres : *Spirulina*, *Halosprulina* et *Glaucospira*. La « spiruline » alimentaire, principalement composée de *Spirulina platensis*, est très différente phylogéniquement et cytologiquement du genre *Spirulina*. Elle appartient plutôt au genre *Arthrospira* de l'ordre des Oscillatoriales (**Komárek et al, 2014**) (**Marie-Laure de Boutray, 2017**).

Actuellement une quarantaine d'espèces des cyanobactéries secrètent des cyanotoxines qui sont généralement des neurotoxines pouvant être mortelles pour l'homme ou l'animal agissant sur différents organes cible. Les genres principaux reconnus pour produire des toxines sont *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Cylindrospermopsis*, *Microcystis*, *Nodularia*, *Oscillatoria*, *Planktothrix* (**Sébastien Sguera, 2008**).

Parmi ces micro-organismes toxiques, l'espèce *Microcystis aeruginosa* est la plus incriminée car selon Lacaze (1996) un mammifère peut mourir s'il passe dans son sang 0,07 mg de toxine de cette espèce par Kg de son poids. D'autre part, il est curieux de constater qu'aux quatre coins de la planète on attribue à la Spiruline, cyanobactérie à haute teneur en protéine (40% à 60% par rapport à la matière sèche), toutes les vertus. A Madagascar, elle remet sur pied les enfants malnutris, diminue le cholestérol, réduit le diabète ou l'obésité, renforce le système immunitaire, inhibe la réplication du virus du sida (**Rafael, 2005**).

Dans l'Est algérien, les résultats d'un certain nombre de travaux réalisés dans divers plans d'eau révèlent la présence de 8 à 12 genres de cyanophycées, selon l'année et le plan d'eau étudié ; toutefois, la majorité des genres recensés est reconnue potentiellement toxique (**Nasri 1999, Nasri 2001, Chaibi 2004, Bensafia 2005, Manamani 2007, Nasri et al, 2007, Saoudi 2008 et Ouarts et al, 2011**).

2. Définition des cyanobactéries :

Les Cyanobactéries, appelées aussi cyanophycées ou algues bleues, sont des microorganismes photosynthétiques. Elles présentent des formes variées qui peuvent être isolées où former des colonies (**Manamani .R, 2007**).

Elles peuvent être unicellulaires ou pluricellulaires, le plus souvent, en filaments composés de cellules alignées. Ces filaments sont appelés trichomes. Ce sont de vrais procaryotes, des organismes dépourvus de membrane nucléaire malgré leur système photosynthétique proche de celui des eucaryotes car contenant de la chlorophylle a et un photosystème II (PS-II). La taille des cellules de cyanobactéries se situe généralement entre 1 et 10 microns. Les cyanobactéries assimilent le carbone à travers le cycle de Calvin et stockent énergie et carbone sous forme de glycogène. Elles varient considérablement dans leurs schémas métaboliques, mais ont en commun l'absence de cycle de Krebs complet. Beaucoup de cyanobactéries, surtout parmi les filamenteuses, sont capables de réduire (« fixer ») l'azote de l'air, grâce à des structures spécialisées appelées hétérocystes (**GOULAMABASSE T, 2018**).

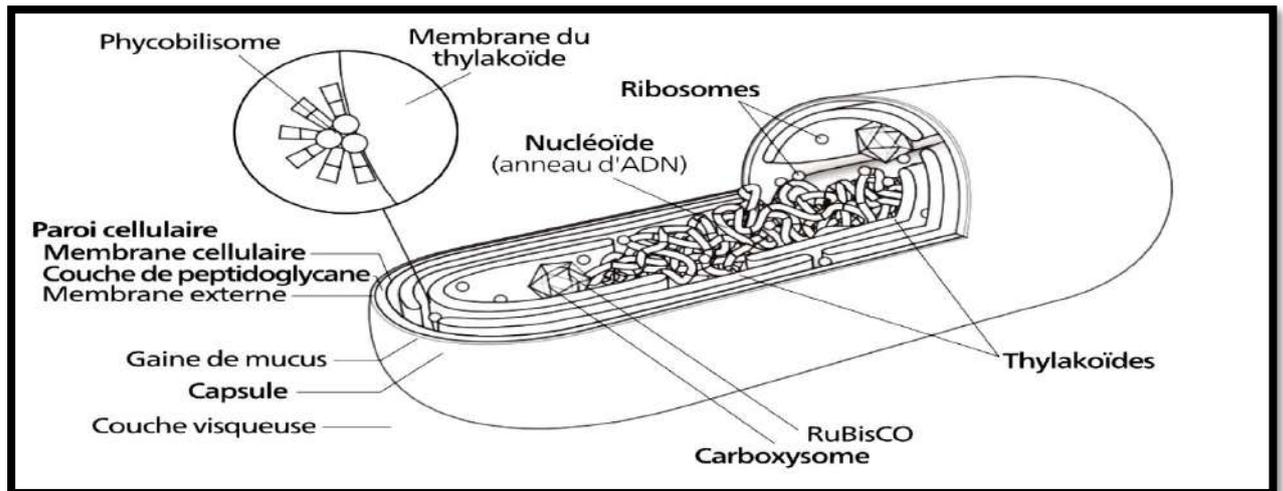


Fig. 1: schéma de structure d'une cyanobactérie (GOULAMABASSE Tessine Raza, 2018).

3. Biotope des cyanobactéries :

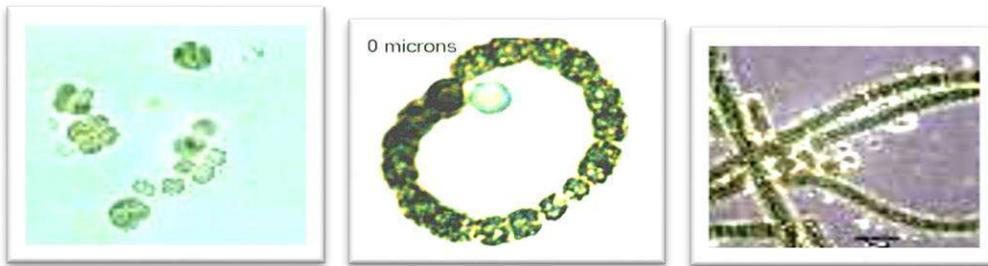
Les cyanobactéries filamenteuses sont répertoriées dans la plupart des habitats; elles sont présentes dans tous les pays du monde et en tous lieux, aussi bien dans les milieux aquatiques que dans les milieux désertiques (Silvano, 2005).

Les eaux douces sont dominées par les cyanobactéries filamenteuses possédant des vésicules de gaz (*Anabaena flos-aquae*, *Anabaenopsis*, *Lyngbya*, et *Anabaena discoidea*). Les lacs alcalins des zones tropicales et subtropicales sont dominés par une communauté unique des cyanobactéries caractérisée par un développement massif et la formation des blooms des cyanobactéries filamenteuses ; représentés principalement par les espèces suivantes: *Arthrospira fusiformis*, *Anabaenopsis abijatae*, *Anabaenopsis arnoldii* et *Anabaena* sp. Les sources chaudes de plusieurs environnements mondiales sont colonisées par les cyanobactéries filamenteuses thermophiles appartenant aux genres : *Calothrix*, *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Pseudanabaena*, *Synechococcus*, *Synechocystis* et *Spirulina*. Les membres de deux genres *Phormidium* et *Synechococcus* sont communément fréquents dans ces habitats thermiques (Ballot, 2004).

4. Morphologie des cyanobactéries :

Les cyanobactéries présentent une très grande diversité morphologique (Fig. 2). Elles sont unicellulaires sous forme isolée (*Chroococcus*, *Synechococcus*) ou pluricellulaires regroupées en agrégats (*Schizothrix*) ou en filaments (ou trichomes) (*Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Arthrospira*) (Chorus et Bartram, 1999).

Les cellules des cyanobactéries ont un diamètre compris entre 3 et 10 μm (Duy et coll., 2000). La paroi cellulaire mesure 35 nm à 50 nm d'épaisseur et elle est constituée de quatre couches, sauf chez les espèces filamenteuses où elle est réduite à deux couches au niveau des cloisons intercellulaires (TRABELSI LAMIA, 2009).



Cyanospira sp

Anabaena spiroides

Lyngbia sp

Fig. 2: Exemples de la diversité morphologique des cyanobactéries

Les cyanobactéries sont généralement distinguées en fonction de leurs caractéristiques morphologiques (taille des cellules, présence de gaine, couleur). Cependant, ces caractéristiques peuvent varier en fonction des conditions environnementales, ce qui peut rendre l'identification des espèces difficile. Celle-ci peut cependant être aidée par la présence ou non d'hétérocystes cellules permettant la fixation de l'azote atmosphérique et donc conférant aux cyanobactéries la possibilité de se développer dans des milieux appauvris en azote inorganique. (Julie Vonarx, 2008).

❖ En fonction de leur complexité, les cyanobactéries filamenteuses présentent plusieurs types cellulaires (Fig. 3) :

✚ **Les cellules végétatives** sont des formes variées (rondes, ovoïdes, oblongues, quadratiques) et avec un contenu cellulaire homogène ou non, avec ou sans

vacuoles à gaz. elles sont responsables de l'activité photosynthétique et de la nutrition carbonée de l'organisme.

✚ **Les hétérocystes** sont des cellules à parois épaisses, habituellement translucides, qui se rencontrent chez certaines cyanobactéries filamenteuses (dites hétérocystes). Ils sont le site de la fixation d'azote et se forment à partir des cellules végétatives en conditions limitâtes d'azote.

✚ **Les akinètes** sont des spores immobiles produites chez les formes filamenteuses hétérocystes. Elles sont résistantes aux conditions défavorables et demeurent viables sur de longues périodes. On les distingue par leur grande taille, leur forme, leur pigmentation modifiée et la présence de nombreux granules cytoplasmiques. Les akinètes peuvent se former n'importe où sur le filament. On observe cependant souvent une localisation préférentielle au voisinage des hétérocystes.

✚ **Les ramifications** on distingue deux grands types de ramifications chez les cyanobactéries filamenteuses ; les fausses ramifications et les vraies ramifications.

✚ **Les hormogonies** sont des formes de multiplication asexuée chez certaines cyanobactéries filamenteuses. Ce sont de groupes de cellules qui s'échappent à l'extrémité de la gaine de certaines formes de cyanobactéries filamenteuses ou qui résultent de la germination d'akinètes et peuvent être mobiles ou immobiles.

✚ **Les gaines** qui peuvent être minces, épaisses, lamellaires ou diffuses.

Autres structures :

✚ **Le calyptra** est une formation épaissie à l'extrémité de certaines formes Filamenteuses.

✚ **Le necridium** est une structure formée à partir d'une cellule morte qui constitue un point de fracture du filament.

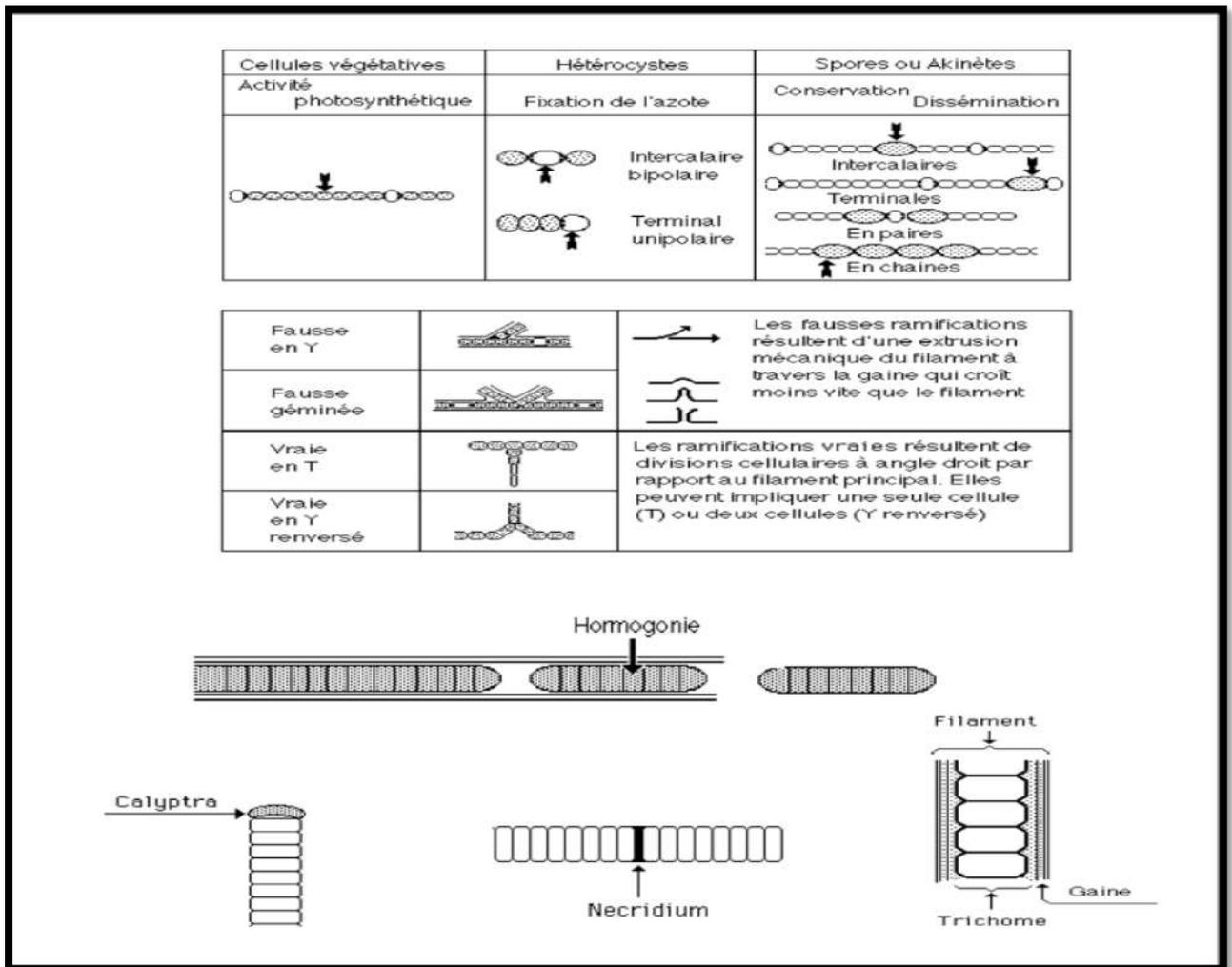


Fig. 3:morphologie de différents types cellulaires des cyanobactéries filamenteuses .

5. Multiplication des cyanobactéries :

Les Cyanophycées se reproduisent par simple division végétative suivant une, deux ou trois directions et par des spores de type divers, spores unicellulaires ou coccospores, spores pluricellulaires ou hormospores. (Manamani. R, 2007).

6. Mobilité des Cyanobactéries :

La rotation hélicoïdale est le signe d'une structure interne hélicoïdale ; Le mouvement, est influencé par la lumière. Cette mobilité est commune à de nombreux genres d'Oscillatoriacées. De nombreuses Chroococcales sont douées de mouvements plus lents et d'un autre type de mouvements : balancement, glissement, culbutes. Les

hypothèses qui essaient d'expliquer cette mobilité sont nombreuses : (1) sécrétion de mucus, (2) ondes rythmiques et contractions longitudinales suivies d'expansion, (3) modification de la tension osmotique des surfaces, etc. (Manamani, R, 2007).

7. La toxicité des cyanobactéries :

Des cyanotoxines sont produites par plusieurs espèces de cyanobactéries et elles ont fait l'objet de nombreuses recherches depuis les années 1990. Le rôle physiologique exact des cyanotoxines n'est pas totalement élucidé, mais il est acquis que leur biosynthèse est une réponse à diverses conditions environnementales nécessitant une adaptation. Ainsi, certaines cyanotoxines, comme les microcystines, sont biosynthétisées consécutivement à des conditions de stress environnemental (Pimentel et Giani, 2014) ou dans le contexte de l'adaptation à une forte luminosité (Meissner *et al*, 2014). Les cyanotoxines qui retiennent l'attention à l'égard de la santé humaine peuvent être classifiées selon leur appartenance à une famille chimique ou en fonction des effets toxicologiques qu'elles induisent. Un sommaire est présenté au tableau 1.

Par ailleurs, les cyanobactéries contiennent dans leur paroi cellulaire des lipopolysaccharides (LPS) qui sont qualifiés d'endotoxines pouvant avoir un potentiel irritatif ou allergène. Ces LPS sont similaires à ceux présents dans la paroi cellulaire des bactéries à Gram négatif. Ces composés sont présumés avoir des effets irritatifs potentiels (irritation de la peau et des muqueuses) ou pourraient irriter le système gastro-intestinal si ingérés (Cheung *et al*. 2013); le lien de cause à effet reste toutefois à prouver (Funari et Testai, 2008; Stewart *et al*, 2006). Certains attribuent cependant les effets irritatifs à des bactéries aquatiques possiblement associées aux cyanobactéries plutôt qu'aux cyanobactéries elles-mêmes (Berg *et al.*, 2011). Actuellement, il ne peut pas être présumé que l'action « irritative » des cyanobactéries est un fait démontré (Pierre Chevalier, Ph. D ,2017).

Tableau 1 - Principales cyanotoxines et leurs effets sur la santé **RéF**

Groupes toxiques	Toxines	Effets connus (chroniques et aigus)	Principales cyanobactéries productrices
Hépatotoxines	Microcystines (près de 100 variantes connues); les plus souvent détectées lors d'analyse individuelle servent de base de référence pour établir des normes et des seuils sanitaires. Principales toxines analysées et détectées au Québec beaucoup plus fréquentes que l'anatoxine-a (voir plus bas).	Diarrhée, vomissements (intoxication aiguë à la suite de l'ingestion de fortes concentrations). Toxiques pour le foie; pourraient avoir un effet cancérigène conséquemment à une exposition chronique.	<i>Microcystis, Planktothrix, Aphanizomenon, Anabaena, Gloeotrichia</i>
	Nodularines (8 variantes connues). Non recherchées au Québec.	Diarrhée, vomissements, hémorragies hépatiques.	<i>Nodularia</i>
	Cylindrospermopsine (au moins 3 variantes).	Gastro-entérite, insuffisance rénale, hépato	Principalement <i>Cylindrospermopsis</i>

	Identifiées en milieu tropical et depuis un certain temps dans plusieurs régions tempérées de l'Europe et de l'Amérique du Nord, dont l'Ontario. Non recherchée au Québec sauf quelques échantillons à une station de production d'eau potable dans un but expérimental (détection).	toxicité.	
Neurotoxines	Anatoxine-a, anatoxine-a-(s) et homoanatoxine-a. Seule l'anatoxine-a est analysée et quantifiée au Québec.	Crampes musculaires, paralysie, salivation abondante	<i>Anabaena</i> , <i>Aphanizomenon</i> et <i>Oscillatoria</i>
	Sax toxines (20 variantes) et néosaxitoxines. Toxines identifiées au Québec mais	Céphalées, vertiges, fasciculations musculaires, paralysie respiratoire.	<i>Anabaena</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Lyngbya</i> et <i>Cylindrospermopsis</i> .

	rarement recherchées lors de l'analyse.		
	Bêta méthyle-amino-N-alanine (BMAA). Non recherchée au Québec, identifiée dans plusieurs régions du monde, dont dans le nord-est des États-Unis.	Exposition chronique : suspicion d'un lien avec des maladies neurodégénératives, notamment la sclérose latérale amyotrophique et la maladie d'Alzheimer.	La présence de la BMAA dans les cyanobactéries est documentée, mais une relation de cause à effet entre la toxine et les maladies neuro dégénératives n'est pas encore adéquatement démontrée.
Cyanotoxines à effets irritants	Endotoxines (lipopolysaccharides).	Gastroentérite, irritation cutanée, oculaire, réactions allergiques.	Les endotoxines sont des constituants intrinsèques de la paroi bactérienne de toutes les cyanobactéries.
Autres cyanotoxines	Cylindrospermopsine (au moins 3 variantes). Outre les effets hépatotoxiques (voir ci-haut), ces cyanotoxines ont aussi d'autres effets toxiques.	Gastro-entérite et peut affecter divers organes : reins, cœur, thymus et rate par exemple.	Principalement <i>Cylindrospermopsis</i> .
	Aplysiatoxine, bromoaplysiatoxine	Dermatites, hémorragie	Presque Exclusivement

	e, lyngbyatoxine et quelques autres non recherchées au Québec.	gastro-intestinale; aussi considérées comme des promoteurs de tumeurs.	produites par des cyanobactéries marines.
--	--	--	---



Chapitre II
Culture de la
spiruline

2.1 Présentation de la spiruline (*Arthrospira platensis*).

La Spiruline est un micro-organisme appartenant au groupe des cyanobactéries (Roger, 2006).

La spiruline est un être unicellulaire, à l'origine du monde animal et végétal, consommée depuis des siècles par des peuples d'Afrique et d'Amérique centrale est-elle présentée comme l'algue aux mille vertus (Audrey. M. 2016).

Cette micro-algue purifiante, stimulante et fortifiante existe depuis plus de trois milliards d'années. Un des premiers êtres vivants à réaliser la photosynthèse, la spiruline a contribué à l'enrichissement en oxygène et était déjà consommée par les Aztèques et les Mayas (Jean Paul, 2011).

Mais, contrairement aux algues et aux plantes également dotées de ce pouvoir Photosynthétique, elle appartient à l'embranchement des procaryotes, car elle n'a pas de noyau bien individualisé. A noter que cette appartenance à la classe des cyanobactéries est récente. En effet, elle est longtemps restée classée parmi les « algues bleu-vert », ce pour plusieurs raisons (Cruchot H, 2008) ;(Rafael, 2005) ; (BENSAFIA NABILA, 2005).

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

Il existe à ce jour 200 genres et environ 1 500 espèces de cyanobactéries connues ; La spiruline est la plus connue de toutes ; d'un point de vue taxonomique, elle appartient à l'ordre des *Nostocales*, à la famille des *Oscillatoriaceae* et au genre *Arthrospira* (Cruchot H, 2008).

2.1.1 Histoire et les gisements naturels dans le monde

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 (Paniagua-michel J, 1993).

-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 » (**D. Fox .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 (**D. Fox. 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**).

L'algue ne fut vraiment redécouverte que quelques 450 ans après Christophe Colomb par le botaniste belge Léonard lors d'une expédition belgo-française basée au Tchad (1964 - 1965), bien que déjà décrite par **Wittrock** et **Nordstedt** en 1844 (**Fox. 1999**).

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. On trouve de tels lacs sur tous les continents, très souvent près des volcans et anciens cratères, ainsi que dans les déserts, là où se ramasse l'eau minérale des montagnes.

Elle est capable de se développer dans des milieux extrêmes, où l'eau peut occasionnellement atteindre des salinités avoisinant les 200 %. La spiruline croît naturellement des latitudes comprises entre 35°N et 35°S (*Figure 4*). Les paramètres biologiques sont souvent difficiles à contrôler : le climat et l'approvisionnement en nutriments peuvent modifier la composition des algues et un milieu spécifique de

croissance est souvent la seule façon sûre de réguler la production (Isabelle Tabutin et al, 2002).

Annexe n°1 Le Tableau 2 présente des sites possédant des gisements naturels de Spiruline

Localisés dans différents pays du monde entier d'après (Fox ,1999).

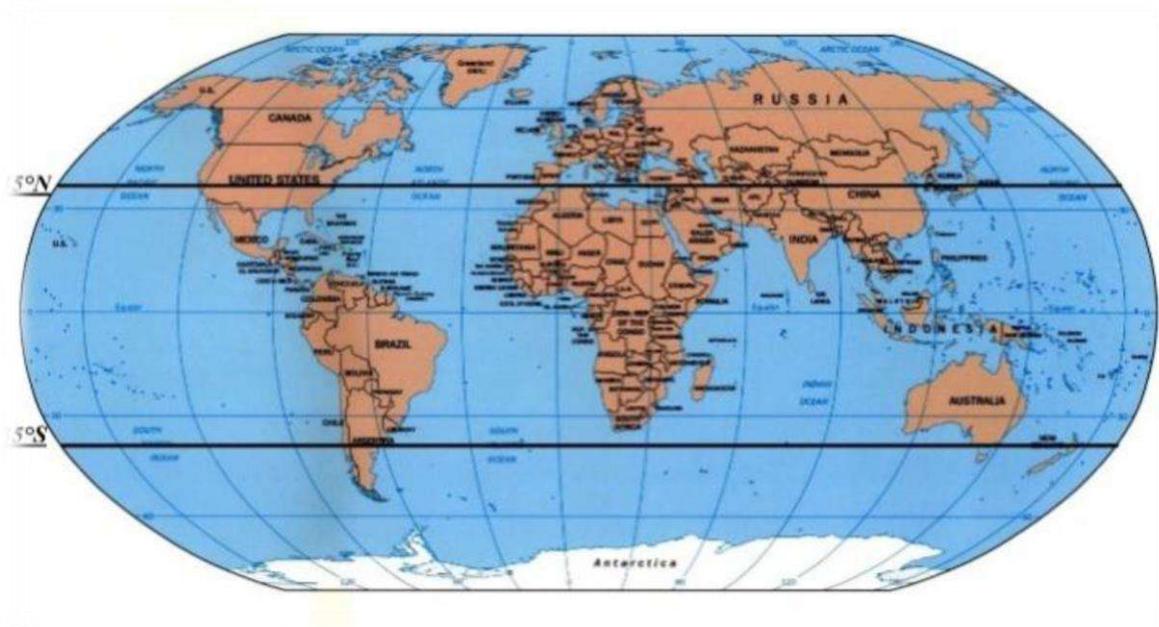


Figure 4: zone de croissance naturelle de la spiruline dans le monde (Fox, 1999)

2.1.2 Classification taxonomique

Tableau 2- synthétise la taxonomie d'*Arthrospira platensis* (FOX D.et R. 1999)

Règne	Monera ou Bacteria
Sous-règne Prokaryota	Prokaryota
Phylum ou Division	Cyanophyta ou Cyanobacteria
Classe	Cyanophyceae
Ordre	Oscillatoriales

Famille	Oscillatoriaceae
Genre	<i>Arthrospira</i>
Espèce	<u><i>Arthrospira platensis</i></u>

2.1.3 Reproduction

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

La spiruline se développe de 25% chaque jour, sa quantité doublant en 4 jours. Sa reproduction est végétative (asexuée) et s'effectue par scission simple, fission binaire ou multiple, par bourgeonnement ou fragmentation au hasard. Les 3 étapes fondamentales de son cycle de vie sont :

- ✓ la fragmentation des trichomes,
- ✓ puis les cellules s'élargissent, le trichome mature,
- ✓ et se divise en filaments par fission binaire, ces filaments prenant une forme hélicoïdale.

Le filament de Spiruline à maturité forme des cellules spéciales appelées Nécriidies. Elles se différencient des autres cellules par leur aspect biconcave et sont assimilées à des disques de séparation. A partir de ces derniers, le trichome se fragmente pour donner de nouveaux filaments de 2 à 4 cellules appelés Hormogonies. En conditions expérimentales, le temps de génération (passage d'une génération à une autre) maximal de la Spiruline est de l'ordre de 7 heures (Zarrouk, 1966).

Les Hormogonies vont croître en longueur par division binaire (chacune des cellules va donner deux cellules par scissiparité) et prendre la forme typique hélicoïdale (Balloniet al. 1980 in Charpy, 2008) (Fig. 5).

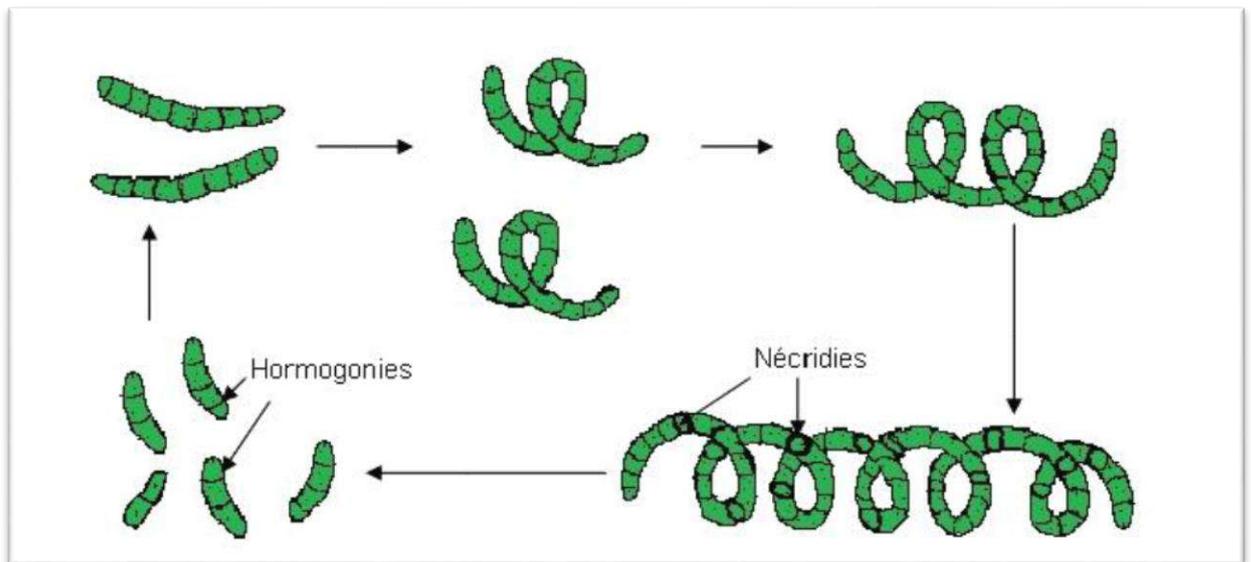


Fig. 5. Cycle biologique de la spiruline (Balloniet *al.* 1980 in Charpy, 2008)

2.1.4 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).

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

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.

2.2 Condition de culture

Il existe trois facteurs déterminants pour la culture de micro algues : la température, la lumière et le pH. Les micro-algues sont sensibles à toute variation brutale des paramètres de culture. D'autres facteurs moins importants seront aussi à prendre en compte comme l'agitation du milieu par exemple (A. DJAGHOUBI. 2013).

Température

La Spiruline pousse idéalement lorsque la température du milieu de culture est de 37°C. Des températures supérieures à 40°C ne lui conviennent pas, et, elle meurt

lorsqu'elle est exposée à 43°C. Par ailleurs, à 20°C, sa croissance est pratiquement nulle (Fox, 1999).

Lumière

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

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

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

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⁻ (Danesi *et al*, 2004).

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

2.3 Milieu de culture

Il s'agit d'une reproduction artificielle du milieu dans lequel la Spiruline croît Naturellement. C'est donc une solution natronée et alcaline constituée d'un mélange d'eau et de sels minéraux, qui apporte à la Spiruline tous les éléments chimiques qui lui sont nécessaires (Jourdan, 2014) : azote (N), phosphore (P), potassium (K). Le tableau 3 donne la composition chimique d'un milieu de culture typique (Fox, 1999).

Tableau 3 : 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
Magnesium	642
Calcium	10
Ammonium	5
Ammoniac	5
Fer	1

L'eau

Les Spirulines vivent dans une eau à la fois salée et alcaline. L'eau utilisée pour le milieu de culture doit être de préférence potable (mais ne sentant pas fortement le chlore) ou au moins filtrée (sur bougie filtrante ou sable), le plus important étant l'élimination des algues étrangères. L'eau de pluie, de source ou de forage est en général de qualité convenable. Si l'eau est dure, il se produira des boues minérales (plus ou moins abondantes selon la teneur en calcium, magnésium et fer), qui décantent rapidement et ne sont pas particulièrement gênantes pour la culture, à condition toutefois que l'ensemencement initial en spirulines soit assez concentré (Jordan, 1999).

2.4 Technique de culture

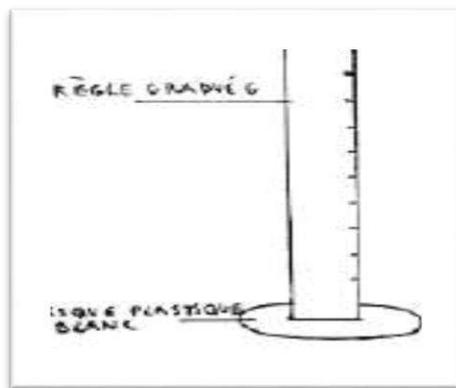
2.4.1 Ensemencement

A)-Choix de la souche

Il existe des Spirulines de "races" (souches) différentes, bien qu'elles aient toutes des caractères communs qui les distinguent des autres algues. On reconnaît très vite au microscope ou même à la loupe de fort grossissement (25 fois) si les Spirulines sont spiralées ou droites mais il est moins facile de dire de quelle souche, car les Spirulines ont une forte tendance à changer de taille et de forme (spiralée plus ou moins serrée, ondulée ou droite). Un trop fort pourcentage de droites conduit à des difficultés de récolte. Donc, il faut prendre de préférence une semence 100% spiralée, de grande taille, d'un beau vert tirant vers le bleu-vert, filtrant facilement. Pour ensemer il suffit de transvaser dans du milieu de culture neuf, un certain volume de culture provenant d'un autre bassin en production jusqu'à ce que la couleur devienne verte (Jourdan, 1999).

B)-Mesure de la concentration d'une culture de Spiruline

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



Le disque de Secchi est un instrument
Constitué d'une baguette mesurant 30
cm de
Long, graduée en centimètres. A son
Extrémité est fixé un disque blanc de
Diamètre compris entre 30 et 40 mm.

Figure 6 : Représentation disque de Secchi

2.4.2 Agitation

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

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

Le mode d'agitation peut être : manuelle avec un balai ou électrique avec une pompe ou une roue à aubes, l'agitation peut être continue si on utilise une pompe avec sans danger sur la Spiruline. L'agitation nocturne continue favorise nettement l'autoépuration de milieu. (Jordan, 1999).

2.4.3 Ombrage

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

2.4.4 Récolte

On récolte de manière à maintenir la concentration en Spirulines au niveau, entre 0,4 et 0,6 g/l. En l'absence de récoltes, avec suffisamment de nutriments, la concentration en Spiruline croît jusqu'à l'équilibre entre photosynthèse et respiration, Il n'est pas bon

pour la culture de rester longtemps sans être récoltée, à très haute concentration : cela peut même être une cause de mortalité pour elle (**Jordan, 1999**).

2.4.5 Séchage

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

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

2.5 Contrainte Morphologique de la spiruline :

1. 2.5.1 Description :

C'est une micro algue vivant en eau saumâtre, d'environ 0.3 mm de long (**Isabelle Tabutin et al, 2002**). La spiruline se présente sous la forme d'un filament pluricellulaire bleu-vert, mobile, non ramifié et enroulé en spirale. Ce filament est appelé trichome ; sa forme hélicoïdale, observable uniquement en milieu liquide, est caractéristique du genre. C'est d'ailleurs de là que la spiruline tient son nom. La longueur moyenne du filament est de 250 μm lorsqu'il a 7 spires et son diamètre est d'environ 10 μm (**Hélène Cruchot, 2008**).

Cependant les Spirulines présentent différentes formes (Figure 5). On trouve des formes spiralées classiques, ondulées et parfois droites. Cette particularité est en relation directe avec les conditions écologiques rencontrées dans leur habitat (**Charpy, et Al, 2008**).

Les filaments d'*Arthrospira* s ont motiles, se déplaçant souvent par des mouvements en vrilles à plus de 5 μ par seconde, sa motilité lui sert à se protéger des expositions trop fortes au soleil (**Fox, 1999**).

Cette morphologie typique lui permet de se déplacer dans l'eau en adoptant le mouvement d'une vis. Le système pigmentaire de la Spiruline est constitué de

chlorophylle *a* ; de pigment hydrosolubles, les phycoblines rouge (phycoérythrine) et bleu (phycocyanine) ; de caroténoïdes (β -carotène, crypto xanthine) (Charpy, *et Al*, 2008).

La spiruline se déplace à la vitesse de 5 $\mu\text{m/s}$, mais aussi et surtout grâce aux migrations du flamant rose qui la transporte dans ses plumes ou son bec (Audrey Manet, 2016).

2.5.2 Différentes formes prises par la spiruline :

Arthrospira platensis montre une grande plasticité dans sa morphologie. Quelle que soit la forme, du point de vue composition chimique, il n'y a pas de différences notables (Jourdan, 2006).

On distingue plusieurs morphologies "spirales", "ondulées", et "droites" :

- les "spirales", désignent les souches dont les filaments ont la forme d'une queue de cochon, telle la "Lonar" (variété présente en Inde),
- les "ondulées" désignent les souches dont les filaments sont en spirale étirée, telle la "Paracas" (variété présente au Pérou),
- les "droites" désignent les souches dont les filaments sont tellement étirés qu'ils donnent l'impression d'être presque rectilignes telle la variété M2 (Jarisoia, 2005).

Cependant les Spirulines présentent différentes formes (Figure7).

Cette particularité est en relation directe avec les conditions écologiques rencontrées dans leur habitat.

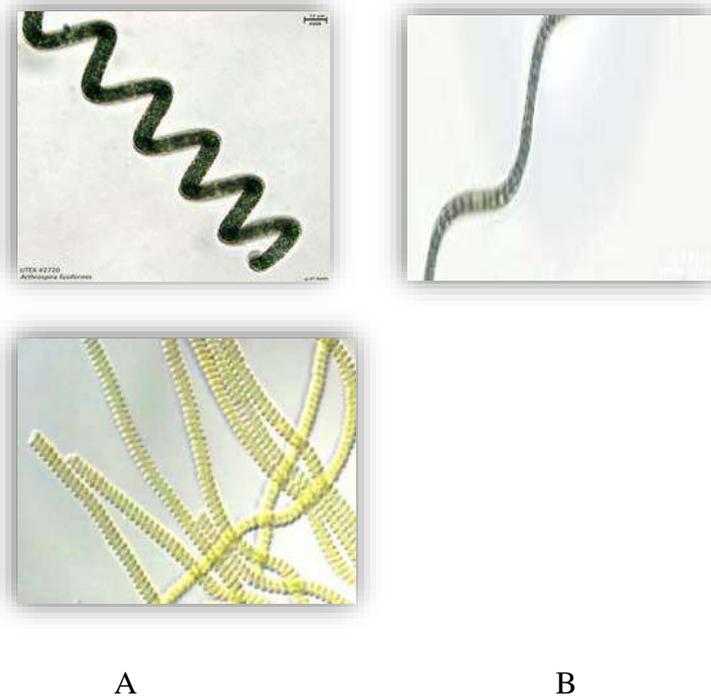


Fig.7:différentes formes prises par la spiruline (GOULAMABASSE Tessine Raza ,2018)

A = Forme spiralée (*Arthrospira FUSIFORMIS*) B= Forme ondulée (*Spirulina maxima*)
C = *Arthrospira platensis*

2.6 Les différents modes de production de Spiruline :

La Spiruline est produite dans plusieurs Pays des quatre continents que sont l’Afrique, l’Asie,

Les Amériques et l’Europe. Les modes et moyens de production varient d’un Pays à l’autre selon les paramètres climatiques mais aussi les moyens, ce qui explique la diversité dans les dimensions des moyens mis en ouvre pour la réalisation des fermes et bassins de production. En fonction de la surface totale d'exploitation des bassins et des moyens technologiques utilisés, on distingue **la culture artisanale** et **la culture industrielle** (Jourdan, 2006).

2.6.1 Cultures artisanales

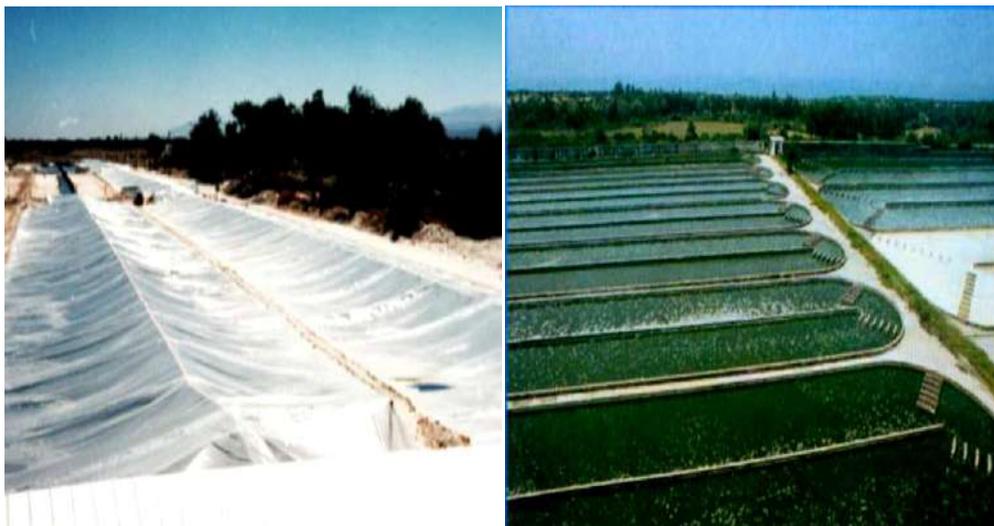
Consiste à construire des bassins et un réservoir en béton près d'un lac. Cette méthode nécessite le remplissage du réservoir par de l'eau pompée du lac puis passe par gravité dans son filtre à sable avant d'arriver dans les bassins de culture de Spiruline. Ce système permet d'obtenir un produit de haute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



Fig.8: Serre recouvrant un bassin artisanal de culture de Spiruline (VICENTE ,2008)

2.6.1 Cultures industrielle

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



A

B

Fig.9 : A. Bassins couverts: (Ayala, 2004) B. à ciel ouvert (Li, 2004) de culture industrielle de Spiruline (JARISOA Tsarahevitra ,2005)

2.7 La construction et équipement de bassin 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, variable 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 agitée sou aérées (Jourdan ,2006).

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

Le fond d'un bassin en ciment doit être construit sous forme d'une dalle en béton armé de 10 cm d'épaisseur minimum, de très bonne qualité, sur terrain bien compacté. Les bords du bassin peuvent être en briques, en parpaings ou en béton armé. Eviter les angles vifs (Jourdan ,2006).

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

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

❖ La couverture du bassin de culture

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

❖ Nombre et surface des bassins

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

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

Chapitre III

Valorisation de la spiruline

Chapitre III. Valorisation de la spiruline

3.1 Composition chimique de la Spiruline

Au cours d'analyses plus approfondies, nombre de points particulièrement intéressants sur le plan nutritionnel sont apparus: composition protéique équilibrée, présence de lipides essentiels rares, de nombreux minéraux et vitamines (Ciferri, 1983).

3.2 Intérêt et utilisation

3.2.1 Utilisation :

Le marché de la Spiruline se développe avec une utilisation chez l'homme, chez l'animal et sous forme d'extrait comme la phycocyanine.

3.2.1.1 Spiruline à usage humain

✓ Pour la santé :

Dans les pays développés, et depuis peu dans quelques régions d'Afrique, la Spiruline est consommée comme complément alimentaire « bénéfique à la santé ». Elle est vendue dans le secteur des produits dits « Bio ». Diverses utilisations sont proposées par les négociants, avec des arguments basés sur la composition de cet organisme et les études sur les activités de ses composants. Nous présentons ci-dessous certaines utilisations, sans pouvoir juger de leur efficacité. La Spiruline n'est pas un médicament, donc pas soumise à l'obligation de test d'efficacité : le dosage recommandé et la qualité du produit vendu ne sont pas nécessairement en adéquation avec les effets affichés (Loïc Charpy et al, 2008).

La Spiruline est vendue :

- ✓ **Pour une alimentation équilibrée** : par ses apports en micronutriments.
- ✓ **Dans les régimes amaigrissants** : pour ses taux importants en protéines et en phénylalanine, qui régularaient l'appétit.
- ✓ **Pour l'amélioration des capacités sportives** : par ses teneurs en fer, en vitamine B12, et en β -carotène qui faciliteraient la récupération
- ✓ **Pour lutter contre l'asthénie par son apport en oligoéléments et vitamines.**
- ✓ **Pour ses effets sur la sénescence** : par les propriétés antioxydants du β -carotène, de la phycocyanine et de la vitamine E, elle serait un frein au vieillissement des cellules

- ✓ **Pour son activité antioxydants liée à la phycocyanine.**
- ✓ **Pour son activité anticoagulante liée au *Spiruline Calcique (Sp-Ca)* et au *Spiruline Sodique (Sp-Na)*.**
- ✓ **Pour renforcer le système immunitaire grâce aux polysaccharides.**
- ✓ **Pour son activité antivirale : liée au sulfoquinovosyl diacyl glycérol riche en sulfo lipides**
- ✓ **Pour son activité anti-tumorale liée à la phycocyanine**
- ✓ **Pour son activité pour diminuer le cholestérol grâce aux acides gras polyinsaturés oméga-3 et oméga-6.**
- ✓ **Pour ses autres actions sur la santé : une diminution du diabète chez l'homme (**Parikh et al, 2001**) ; une activité anti-inflammatoire sur les articulations (études sur la souris de (**Remirez et al, 2002**) ; une hépato protection ; un effet possible de la molécule *Spiruline-sodique* dans la prévention de l'athérosclérose [L'article de (**Yamamoto et al, 2006**) sur cette dernière action révèle une activation par le Na-Sp du système fibrinolytique endothélial mais ne conclut pas sur le rôle du Na-Sp dans la prévention de cette maladie](**Loïc Charpy, et Al, 2008**).**

.Autres utilisations

Le groupe des cyanobactéries produit une variété de métabolites secondaires dans leur milieu de culture (**Harrigan et Goetz, 2002**).

Beaucoup de ces produits naturels ont des activités antibiotique, algicide, antiviral, fongicide (**Harrigan et al, 1999 ; Jaki et al, 1999 ; Mundt et al, 2001**).

En cosmétique, la Spiruline est utilisée 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 est aussi utilisée en synergie avec d'autres algues, comme agent cicatrisant et antiseptique.

Dans l'agroalimentaire, elle est utilisée comme colorant naturel (la phycocyanine est un des rares pigments naturels de couleur bleue) dans les chewing-gums, sorbets, sucreries, produits laitiers, boissons non alcoolisées. Elle apparaît également dans une gamme de produits algaux mélangée à du sel, des tagliatelles etc. En Suisse et au Japon, il existe depuis longtemps du pain à la Spiruline (**Loïc Charpy et al, 2008**).

3.2.1.2 Spiruline à usage animal

La Spiruline est utilisée comme complément nutritionnel en aquariophilie, en aquaculture, en agroalimentaire, pour des effets très spécifiques :

✓ **Favoriser la croissance et la fertilité ;**

Des études sur les poissons d'aquarium tels le *Xiphophores héléra* (**James et al. 2006**) et la crevette *Fennero penaeus chinensis* (**Kim et al. 2006**) ont montré les effets bénéfiques de *Spirulina platensis* en ce domaine.

L'influence bénéfique sur la croissance, de l'incorporation de Spiruline dans la nourriture des poulets de chair a été présentée par Raz afindra jaona et al (comm. coll. Tuléar 2008).

✓ **Renforcer les défenses immunitaires ;**

En aquaculture, la Spiruline est ajoutée aux granulés dans la nourriture des poissons d'élevage, plus souvent soumis à des infections virales et/ou bactériennes que les poissons sauvages. (**Watanuki et al. 2006**) ont mis en évidence l'effet immunostimulant de *Spirulina platensis* chez la carpe *Cyprinus carpio*. Des vétérinaires préconisent l'administration de Spiruline à des animaux domestiques.

✓ **Pour augmenter la pigmentation ;** La Spiruline est utilisée pour ses pigments :

• En aquariophilie pour accentuer la coloration des poissons d'ornement (**James et al.2006**).

• En aquaculture pour améliorer la pigmentation des crevettes et des poissons

(**Regunathan& Wesley 2006**).

• En agroalimentaire pour rendre les œufs et la chair de poulet plus attrayants au consommateur par les caroténoïdes qu'elle contient (**Ciferri 1983 ; Henrikson 1994 ; Toyomizu et al. 2001**).

✓ **Pour améliorer les performances des animaux.**

Elle est vendue comme additif à la nutrition des taureaux reproducteurs, des chevaux de course (**Loïc Charpy, et Al, 2008**).

3.2.1.3 Spiruline sous forme d'extraits

Un extrait liquide de Spiruline fraîche titrée en phycocyanine a été mis au point par la société Alpha Biotech (**Jaouen et al. 1999**).

Son usage est autorisé en Europe. La phycocyanine extraite de la Spiruline est vendue entre autres comme enzyme.

Des extraits de Spiruline sont commercialisés en combinaison avec des extraits d'algues vertes, pour leurs vertus cicatrisantes, antiseptiques et régénératrices cellulaires. La commercialisation porte soit sur l'extrait brut actif stabilisé, soit sur le produit fini (gels, shampooings, laits). Les marchés concernés sont ceux :

- 1) des produits cosmétiques de soin ;
- 2) de la parapharmacie pour le traitement de problèmes dermatologiques ;
- 3) des soins vétérinaires.

Le résidu d'extraction de la phycocyanine conserve une valeur nutritive et thérapeutique (**Loïc Charpy, et Al, 2008**).

3.2.2 Intérêt :

La cyanobactérie Spiruline a été commercialisée et étudiée en raison de son propriété nutritionnelle et thérapeutique pour le traitement de certaines maladies telles que le cancer (**Mathew et Al., 1995; Zhang et Al, 2001; Guan And Guo, 2002**), les allergies (**Kim et Al., 1998; Mao et Al., 2005**), anémies (**Hayakawa, 1996; Simpoire et Al., 2005**), hépatotoxicités (**Vadiraja et Al., 1998; Gorban et Al., 2000**), maladies virales (**Ayehunie et Al., 1998; Lee et Al., 2001; Hernandez-Corona et Al., 2002**), cardiovasculaires (**Paredes- Carbajal et Al., 1997; Samuels et Al., 2002; Park et Al., 2008**), diabète (**Rodriguez-Hernandez et Al., 2001; Huang et Al., 2005**), immunodéficience (**Mao et Al., 2000, Lobner et Al., 2008**), et inflammations (**Remirez et Al., 2002; Shih et Al., 2009**).

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

3.2.3 CONSOMMATION

3.2.3.1 Alimentation humaine

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 qui accompagne la "boule" africaine, par exemple, apportant non seulement ses protéines, mais de nombreux autres

éléments très favorables à la bonne santé de tous et notamment des petits enfants (**Cruchot, 2008**).

3.2.3.2 Alimentation animale

La spiruline, notamment de second choix (grumeaux, balayures), peut se valoriser Dans l'alimentation des animaux (poules pondeuses, poulets, vaches, chevaux de course, poissons, crustacés, larves de crevettes, etc.).

Elle améliore leur santé, leur apparence, leur qualité ou leurs performances. Pour les poissons, elle peut être donnée en l'état, frais ou sec ou, mieux, être incorporée aux granulés. Pour les poules, on peut ajouter jusqu'à 10 % de spiruline dans la ration: la qualité des œufs est améliorée (**JOURDAN, 2006**).

3.3 Toxicité de la spiruline :

La spiruline destinée à l'alimentation humaine est autorisée à la vente depuis de nombreuses années dans les pays industrialisés. Elle est classée GRAS (Generally Recognized As Safe) par la Food and Drug Administration aux Etats-Unis (**Falquet, 2006**).

3.3.1 Recherche de toxiques minéraux :

Dans plusieurs cas, les toxiques tels que le plomb, le mercure et l'arsenic (ainsi que le fluor (**Santillan, 1974**) ont été donnés comme non détectables; pourtant, une étude plus détaillée montre que dans le cas de spiruline récoltée en milieu naturel, les teneurs en arsenic et surtout en fluorures peuvent être relativement élevées *Tableau 6*. Ces particularités proviennent certainement des compositions géologiques des régions concernées, il reste toutefois à déterminer les facteurs d'accumulations de ces éléments en milieux contaminés. Notons que des essais menés sur des rats nourris avec de la spiruline naturelle comme seule source de protéines, n'ont montré aucun effet toxique de ces minéraux (**Boudène, 1975**). Ces problèmes de toxicité semblent inexistantes pour la spiruline cultivée en milieu artificiel puisque les valeurs observées sont en dessous des normes OMS et FAO. On trouve en moyenne:

Tableau 4: Les moyennes Observées des éléments toxiques (Falquet, 2006)

Arsenic	0.06 -2 ppm
Sélénium*	0.01 -0.04 ppm
Cadmium	0.01 - 0.1 ppm
Mercure	0.01 - 0.2 ppm
Plomb	0.6 - 5.1 ppm
Fluor**	112 - 630 ppm

* Le fluor aurait pu être classé, tout comme le sélénium, dans la partie "Oligo-éléments" vu leurs rôles essentiels dans l'alimentation humaine. Tous deux présentent toutefois plus de dangers, en cas de surdoses, que les oligo-éléments déjà mentionnés.

** Seule une publication donne cette valeur (**Bondène, 1975**), ultérieurement réfutée (**Chamorro-Cevallos, 1980**).

Il reste donc fortement conseillé d'effectuer des contrôles sur les teneurs en métaux lourds des spirulines destinées à l'alimentation humaine.

Notons encore que cette faculté d'accumulation des métaux fait qu'il vaut infiniment mieux analyser un échantillon de spiruline que l'eau ou les engrais utilisés à sa production : les résultats obtenus seront bien plus fiables et bien plus significatifs en termes d'estimation du risque (**Falquet, 2006**).

3.3.2 Recherche de TOXINES organiques, mutagènes, tératogènes :

Les éventuelles propriétés toxiques des paraffines (Hydrocarbures saturés) ont été étudiées sur le rat et le porc (**Tulliez, 1975**).

La rétention de l'hépatadécane (constituant majeur des paraffines de la spiruline) a été étudiée chez ces animaux recevant de la spiruline comme seule source de protéines. Chez le rat on constate une accumulation qui se stabilise vers le quatrième mois, à une valeur finale qui dépend de la teneur en lipides de l'animal. Chez le porc, l'heptadécane semble beaucoup mieux

métabolisé et cet hydrocarbure est très faiblement retenu. Compte tenu de ce que l'on connaît de la toxicité des hydrocarbures, aucune toxicité aiguë ou chronique n'est à craindre (**Tulliez, 1975**).

Le 3-4-benzopyrène a été dosé dans la spiruline car il constitue un bon indicateur de la présence des hydrocarbures polycycliques aromatiques, qui sont de puissants mutagènes et cancérigènes. Les quantités observées, 2-3 pp.b, sont bien en dessous de ce que l'on trouve dans la plupart des légumes courants (**Chamorro-Cevallos, 1980; Bories, 1975**).

La tératogénicité a été trouvée nulle pour trois espèces animales dans quatre étapes de gestation différentes, avec des concentrations de spiruline de 10, 20 et 30% de la diète. De même au un effet mutagène ou de toxicité subaiguë ou chronique n'a été décelé (**Chamorro-Cevallos, 1980; Bondène, 1975**).

La mutagénicité des urines d'animaux nourris de spirulines a été testée sur des bactéries (test d'Ames) sans résultat (**Cifferi, 1983**).

3.3.3 Cyanotoxines :

On sait depuis longtemps que certaines cyanobactéries produisent de puissantes toxines agissant sur le système nerveux ou sur le foie. Aucune contamination par de tels micros organismes n'a été, à notre connaissance, mise en évidence dans le cas de spiruline cultivée, ce qui semble lié à son milieu de culture très particulier (**Falquet, 2006**).

3.3.4 Résidus de pesticide :

La quasi-absence de ravageurs ou de parasites dans les cultures de spiruline rend inutile l'usage de quelque pesticide que ce soit. Il n'en reste pas moins que l'on ne peut exclure d'emblée une contamination provenant de l'eau utilisée pour la culture ou de l'air, sous forme d'aérosols ou de poussières. La spiruline elle-même est très sensible à la plupart des herbicides (**Cohen, 1993**).

Etrangement, la spiruline est capable de dégrader les herbicides de type «RoundUp » (glyphosate) qui agissent sur la synthèse de la chlorophylle : elle les minéralise totalement et en utilise le phosphore ainsi libéré (**Trzebiatowska, 2004**).

Une fois encore, l'alcalinité du milieu de culture représente une certaine protection puisque qu'elle encourage l'hydrolyse de composés tels que les organo- phosphorés. L'ensemble de ces données explique sans doute l'absence dans la littérature de cas significatifs de contamination de spiruline par des pesticides (**Falquet, 2006**).

3.3.5 Réactions allergiques :

Contrairement à l'immense majorité des aliments courants, la spiruline ne semble pratiquement jamais provoquer de réactions allergiques, que ce soit par ingestion ou par contact. Au contraire, une activité antiallergique semble liée à ce produit (**Yang, 1997**).

Dans une autre problématique liée au système immunitaire, on trouve deux descriptions de cas d'activation de maladies auto-immunes peut-être liées à la consommation de spiruline (**Lee, 2004**).

Ces deux cas sont toute fois complexes car les patients en question avaient absorbés un grand nombre de substance médicamenteuse simultanément. Les auteurs de l'étude soupçonnent un lien direct avec la spiruline par le fait que des propriétés immunostimulantes lui sont attribuées, ce qui pourrait donc logiquement

Aggraver une maladie auto-immune pré-existante (**Falquet, 2006**).

3.3.6 Risques de surdoses :

Il n'existe à ce jour aucun cas de surdose de spiruline documenté dans la littérature scientifique. Des consommateurs de plus de 10 g/jour pendant plusieurs années d'affilé ne rapportent aucun effets négatifs. En ce qui concerne le risque aigu, là non-plus aucune donnée ne vient fixer de limite : des consommations anecdotiques de plus de 100 g / jour n'ont semble-t-il eu aucune conséquence particulière. Seul indice manifeste d'une forte consommation de spiruline, l'accumulation bénigne de caroténoïdes dans la peau y provoque une légère coloration orangée (particulièrement visible dans la paume des mains). Cet effet « pilule-à-bronzer » est parfaitement réversible (**Falquet, 2006**).

3.4 Problèmes de la contamination :

La spiruline est susceptible de contenir divers contaminants. D'une part, des cyanobactéries d'autres genres et leurs toxines ont été mises en évidence dans des lots de spiruline. D'autre part, la présence d'éléments traces métalliques a été mentionnée dans de la spiruline sauvage ou de culture. La présence d'autres espèces bactériennes est également possible (**Avis de l'Anses, 2017**).

3.4.1 Le problème des pollutions par humaines :

La contamination à laquelle on pense le plus souvent, c'est la pollution industrielle ou urbaine. La première ferme de spiruline ouverte dans les temps modernes, celle du Caracol lac Texcoco au Mexique, a ainsi dû fermer au bout d'une dizaine d'années. La raison unique à cette fermeture : la pollution aux [métaux lourds](#) causée par l'extension urbaine de Mexico City.

La poignée d'autres lacs à spiruline qui ont été exploités ou le sont encore est affectée par des problèmes similaires.

- Les récoltes en bordure du lac Tchad sont affectées par une accumulation de métaux lourds causées par la rétractation du lac du fait d'une captation trop forte des eaux avec le développement de l'irrigation.
- L'étang de Lonar, qui a donné l'une des souches les plus utilisées au monde, a été récemment avalé par la mégapole de Mumbai et définitivement asséché.
- Le lac de Paracas, qui a donné une autre souche parmi les plus utilisées, a connu des perturbations écologiques qui en ont fait tout simplement disparaître la spiruline.
- Le seul lac à spiruline de Birmanie est affecté par l'acidification du fait des exploitations minières et la spiruline y pousse de moins en moins.
- Le lac de Chenghai en Chine est affecté par des pollutions diverses et sa spiruline officiellement « bio » a été impliquée dans des [scandales de contamination aux métaux lourds](#) en 2013 conduisant à des retraits du marché en Chine (mais pas ailleurs !)

<https://gourmet-spiruline.fr/histoires-algues/origine-spiruline-naturelle.html>.

3.4.2 Le problème des contaminations naturelles :

Même si les activités humaines n'affectaient pas l'intégrité de la spiruline naturelle, cette micro algue est rarement la seule à se développer dans son milieu naturel. C'est la problématique qui affecte par exemple [l'algue bleue de Klamath](#), qui est récoltée dans un lac de l'Oregon dans lequel pousse d'autres micro algues, secrétant des toxines appelées micro cystines. Malgré des techniques avancées d'analyse rejetant les lots trop contaminés, mises en place suite à une interdiction de vente pendant plusieurs années, des études de fin 2012 en Allemagne et en Italie montraient que les seuils de contamination de la Klamath étaient systématiquement dépassés

<https://gourmet-spiruline.fr/histoires-algues/origine-spiruline-naturelle.html>.

3.4.3 Contamination par petits animaux :

Sauf protection complète du bassin, il est inévitable que des insectes ou parfois de petits animaux, des feuilles et autres débris végétaux tombent dans le bassin. On peut les enlever avec un filet, mais si on les laisse, ce qui n'est pas recommandé, ils finiront par être "digérés" par le milieu de culture et servir de nourriture à la spiruline.

Par contre certains vers et insectes sont capables de vivre dans le milieu de culture en parasites. C'est le cas des larves de la mouche Ephydra (petite mouche brune qui marche sur l'eau), des larves de moustiques, du zooplancton, qui s'installent et vivent un certain temps dans le bassin: pour hâter leur disparition on peut monter momentanément le pH jusqu'à pH 12 puis maintenir ce pH pendant une nuit, en ré-acidifiant le matin à pH 10 ; mais ce choc de pH peut tuer aussi une partie des spirulines qui doivent ensuite être mises en convalescence (ombrées). Ce choc de pH n'est guère efficace sur les amibes. Parfois il suffit d'une brusque augmentation de la salinité de 3 g/l pour faire disparaître les en vomisseurs. La disparition des amibes se fait généralement de manière naturelle en quelques jours de beau temps par bonne température et croissance rapide de la spiruline ; le maintien d'une concentration en spiruline pas trop élevée et d'une bonne agitation favorise la disparition des amibes. En fait les amibes ne semblent cohabiter avec les spirulines que lorsque ces dernières sont affaiblies ou en croissance nulle.

De même les rotifères ne peuvent pas envahir une culture en bonne santé. **Ripley Fox** explique que les amibes éventuellement présentes dans une culture ont une probabilité quasi nulle d'être toxiques. Par précaution, cependant, il est recommandé de ne pas consommer fraîche la biomasse provenant d'une culture contenant des amibes. Lors du séchage à 65°C elles sont tuées de toute façon.

N.B.:

1) les moustiques mâles issus des bassins de spirulines seraient stérilisés par le haut pH de la culture et les bassins constitueraient alors un moyen de lutte biologique contre les moustiques ; cette information est cependant mise en doute par le fait que des moustiques proliféraient dans le lac Nakuru avant l'introduction de tilapias justement pour les combattre, alors que ce lac était plein de spirulines mais cohabitant sans doute avec d'autres algues...

2) le zooplancton et les larves que nous avons vu cohabiter avec la spiruline n'étaient pas toxiques pour l'homme.

3) les larves de moustique et les rotifères mangent les spirulines droites, mais pas les spiralés types Loran (**JOURDAN, 2006**).

❖ **la mouche Eristalis :**

Parmi les mouches de la famille des Syrphidae, certaines pondent leurs œufs dans l'eau et donnent ainsi naissances à de très étranges et repoussantes larves à queue de rat. Ce sont les mouches du genre Eristalis qui sont responsables de ces horribles larves parfois présentes dans les eaux stagnantes...

On les trouve également dans les réservoirs d'eau de pluie, les bacs contenant de l'eau croupie, les seaux de préparations de purins à base de végétaux ou les fosses à lisiers dans les fermes et les élevages de bétail.

Eristalis c'est la larve d'une mouche qui se développe dans les endroits humides et riche en matière organique comme la spiruline.

3.4.4 Contamination par d'autres bactéries (hors cyanobactéries) :

Les conditions fortement basiques de la production de spiruline (pH de l'ordre de 10) limitent le développement de la plupart des microorganismes pathogènes (*Listeria*, salmonelles, coliformes...). Néanmoins, une contamination peut se produire lors des manipulations ultérieures en fonction des pratiques d'hygiène et l'eau utilisée, notamment.

Une contamination bactérienne de spiruline peut se produire lors des manipulations. Néanmoins, les contaminations à des teneurs excédant les normes alimentaires usuelles semblent rares pour les produits finis. En outre, la présence de contaminants bactériens dans des lots de spiruline commerciale ne paraît pas avoir été associée de manière formelle à des effets indésirables (**Avis de l'Anses, 2017**).

3.4.5 Contamination par des bactéries pathogènes :

Le milieu de culture de la spiruline fortement basique limite le développement de la plupart des autres microorganismes. Cependant une contamination lors des manipulations effectuées pendant sa production est possible. Elle est principalement liée aux pratiques d'hygiène et à l'eau utilisée.

L'étude effectuée sur les bactéries associées à des échantillons de spiruline issue de différentes origines a montré une contamination par des bacilles, des streptocoques fécaux, des streptocoques du groupe D, des entérobactéries, des levures et des moisissures plus rares, des diatomées et des protistes du genre *Stylozia* et *Spiromonas*. Dans les compléments alimentaires vendus en Europe issus du même fabricant, des bactéries du genre *Clostridium* excédant les normes admises dans l'alimentation ont été retrouvées. Enfin, une étude portant sur 31 échantillons commerciaux vendus sur le marché grec et issus de lieux de productions multiples a mis en évidence des contaminations par 469 espèces bactériennes dont des espèces pathogènes. Une analyse microscopique est préconisée pour *Arthrospira platensis* par l'USP (ANSES, 2017).

En France, les producteurs s'appuient sur les contrôles recommandés dans le livre de production artisanale de Jean-Paul Jourdan et sur les bonnes pratiques d'hygiène élaborées par la FSF.

En ce qui concerne le risque de contamination du milieu de culture de la spiruline, celui-ci est possible mais peu fréquent. Dans la majorité des cas, les polluants n'excèdent pas les doses limites recommandées quand elles existent et l'ANSM précise que les contaminations observées sur les différents lots de spirulines commerciaux ne semblent pas avoir été associées de manière formelle à des effets indésirables. Elle est d'ailleurs classifiée GRAS (Generally Recognised As Safe) par la FDA.

Au vue de ces risques, il paraît primordial pour le praticien officinal de se fournir en compléments alimentaires auprès de fournisseurs fiables (respectant des règles d'hygiène strictes, effectuant des contrôles réguliers sur la conformité de leurs cultures, sur qualité de l'eau, et des contrôles de l'absence de bactéries pathogènes et de métaux lourds par des organismes certifiés), possédant un système de traçabilité fiable et recoupant toutes les vérifications indispensables à une qualité irréprochable de la spiruline proposée. Les mélanges d'algues sont à bannir, ces derniers pouvant accroître le risque de toxicité lié à la présence d'autres microorganismes (AHOUNOU Morènikè Nadège, 2018).

3.4.6 Contamination par micro-organismes :

Dans le milieu de culture, au pH élevé (> 9,5) où l'on travaille, la majorité des microbes dangereux pour l'homme sont normalement inactivés en deux jours. Attention aux cultures à pH < 9,5 (cultures jeunes à base de bicarbonate, ou trop forte injection de CO₂), qui risquent de ne pas bénéficier de cet effet protecteur. Par ailleurs il a été signalé le risque que certains microbes

pathogènes introduits dans des cultures de spiruline deviennent résistants aux pH élevés, ce risque pouvant être augmenté si le sucre est utilisé comme apport de carbone ; mais il n'a jamais été confirmé. Il a été signalé aussi l'existence de microbes ou parasites africains risquant d'être résistants aux pH élevés : là non plus aucun cas réel n'a été observé si l'on suit des règles normales d'hygiène.

Les cultures contiennent par ailleurs des microbes biodégradés adaptés au milieu de culture et qui jouent un rôle bénéfique, à côté du zooplancton, en purifiant le milieu et en recyclant des nutriments, tout en aidant à éliminer l'oxygène et en fournissant du gaz carbonique.

Attention : dans certains pays, l'eau servant aux nettoyages, rinçages, etc. pouvant être contaminée, cela peut être une source de contamination pour le produit récolté. Dans ce cas il est suggéré l'emploi systématique d'eau de Javel pour tous les nettoyages, avec rinçage final à l'eau chlorée (JOURDAN, 2006).

3.4.7 Empoisonnement chimique :

Les détergents et les sucres ne sont pas toxiques à la dose de 100 ppm. Un gros excès d'urée ou d'ammoniac provoque la mort des spirulines, le milieu de culture devenant "laiteux", avec mousse jaune ou verdâtre et des boues abondantes; mais en général il y a assez de spirulines survivantes (sinon on peut réensemencer) pour régénérer spontanément la culture en une dizaine de jours si l'on prend la précaution d'ombrier (JOURDAN, 2006).

3.4.8 Contaminations par des éléments traces métalliques :

Les phycobili protéines de la spiruline sont dotées d'un fort pouvoir chélates (Chen et Pan 2005) et la teneur en éléments traces métalliques (ETM) de la spiruline est directement corrélée à la qualité des eaux. La présence d'ETM a été mentionnée dans de la spiruline sauvage ou commerciale (Avis de l'Anses, 2017).

➤ Spirulines sauvages

Une forte teneur en arsenic (As) d'échantillons sauvages collectés au Tchad a été mise en évidence, ainsi qu'une teneur très élevée en plomb (Pb) d'un échantillon cultivé au Burkina-Faso. Ces pollutions seraient liées au mode de récolte incorporant les boues des berges à la biomasse de spiruline (Vicat, Doumnang Mbaigane, et Bellion 2014). Par ailleurs, des teneurs élevées en plomb ont été détectées dans les échantillons commerciaux cubains. Ceci serait lié à une contamination du site de production (Campanella, Crescentini, et Avino 1999).

➤ Spirulines commerciales (aliments et compléments alimentaires)

De nombreuses études ont été consacrées à la teneur en ETM de spirulines commerciales

(Chrome , cadmium, arsenic, plomb, mercure, nickel). Le règlement (CE) No 629/2008 fixe pour les compléments alimentaires en Europe, les teneurs Limites tolérables en plomb (3 mg/kg), cadmium (1 mg/kg pour les compléments alimentaires en Général et 3 mg/kg pour les compléments alimentaires contenant des algues marines) et mercure (0,1 mg/kg). Par ailleurs la monographie proposée dans l'USP Dietary Supplements Compendium pour *Arthrospira platensis* donne des spécifications pour le plomb (≤ 1 mg/kg), le cadmium ($\leq 0,5$ mg/kg), le mercure ($\leq 0,5$ mg/kg) et l'arsenic (≤ 1 mg/kg) (USP 2015). Dietary supplements compendium. Un risque d'exposition à des concentrations supérieures aux recommandations internationales est donc possible, notamment pour des productions de spiruline mal contrôlées. **Avis de l'Anses, 2017**).

3.4.9 Maladies :

Il arrive, très rarement, que des spirulines présentent des déformations, ou une boursoufflure, ou alors des excréctions jaunes à une extrémité ou sur un côté des filaments, faisant penser à un éclatement de la paroi avec épanchement du contenu des cellules (spirulines dites "étripées"). Dans la pratique, ces anomalies dis paraissent d'elles-mêmes au bout de quelques jours de marche dans des conditions normales (**JOURDAN, 2006**).

3.4.9.1 Métaux lourds :

La spiruline absorbe très facilement les métaux lourds présents dans le milieu de culture. Certains sont toxiques pour l'homme (mercure, plomb, cadmium) (**JOURDAN, 2006**).

3.4.9.2 Contaminations, couverture des bassins :

Par son milieu de culture très alcalin, la spiruline est protégée des contaminations de la plupart des autres algues ou d'autres micro-organismes. Ce milieu particulier rend la culture accessible et moins difficile que celle d'autres micro algues. Cependant, la spiruline est un organisme chélateur, qui aura tendance à accumuler les métaux lourds, si le milieu est notamment l'eau en fournissant.

Enfin, il faudra faire attention aux contaminations externes après récoltes, notamment d'origines humaines ou animales, avec la précaution exigée pour toutes productions alimentaires (**DECID& RISK et ESETA. 2015**)

Il est bon de nettoyer les bassins environ tous les 3 mois, ou quand les boues du Fond sont suffisamment épaisses pour donner des boues flottantes. Attention aux recoins. Il y a souvent un dépôt blanc incrusté sur le film : il s'agit d'un dépôt minéral, qu'on peut enlever par badigeon d'acide chlorhydrique dilué, qu'on stérilise en même temps (**JOURDAN, 2006**).

Chapitre V

Résultats et discussions

Chapitre V : Résultats et discussions

5.1 Etudes des eaux d'études :

5.1.1 Caractéristique des eaux utilisées

Les analyses physico-chimiques des différents types d'eaux montrent une différence entre L'eau de fourrage et l'eau de bassin d'irrigation. Les résultats d'analyse de la qualité de l'eau d'un forage sénonien sont présentés par le tableau suivant :

Tableau : caractéristique des eaux d'étude (L'eau de fourrage) ;(SAGGAI,2008).

Type d'eau	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (m/l)	K ⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₂ ⁻⁴ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	pH	CE25C° (mS/cm)	Salinité (g/l)
Sénonien (SN)	260	153.6	645	39.5	1088	1000	152.5	7.86	4.74	2.34

- Nous avons réalisé des analyses de l'eau utilisée dans l'expérience dans le laboratoire de surveillance environnementale d'Ouargla .Les résultats d'analyse de la qualité de l'eau de bassin d'irrigation présentés par le tableau suivant :

Tableau : caractéristique des eaux d'étude (L'eau de bassin d'irrigation).

Type d'eau	T°	TD.S (mg/l)	O ₂ dissous (mg/l)	pH	CE25C° (mS/cm)	Salinité (g/l)
Basin d'élevage N°2	24.3°	5.22	8.04	8.07	5.23	2.8

5.2 Evolution des paramètres physico-chimiques

2. 5.2.1 Température :

Les résultats dans la bassine après ensemencement, nous observons une évolution de la température pendant deux (02) semaines (fin février et début mars). Les valeurs journalières, prélevées du matin et l'après midi, sont représentées sur la (Fig. n°11).

- la valeur minimale est de 28°C et la valeur maximale de 38°C.

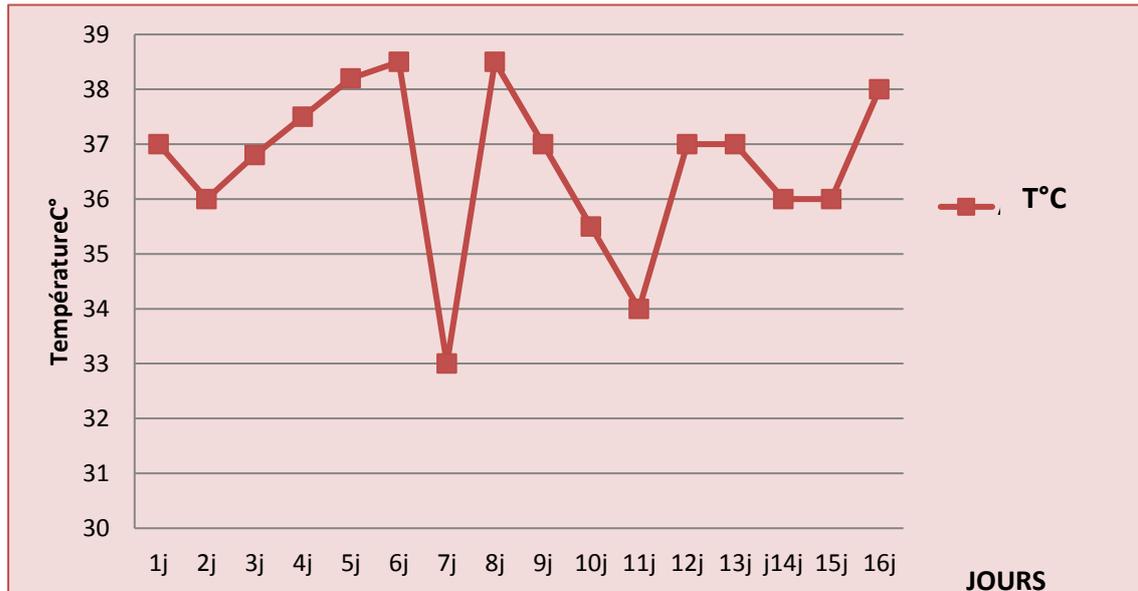


Fig. 8 : Evolution de la température moyenne de l'eau, dans le milieu de culture

3. 5.2.2 PH :

D'après les résultats du pH mesurés dans la bassine et après ensemencement on observe une évolution du pH pendant les deux semaines entre les mois de février et mars (Fig. 12).

- À travers la graphie, nous remarquons une évolution du PH de 8.2 à 10.

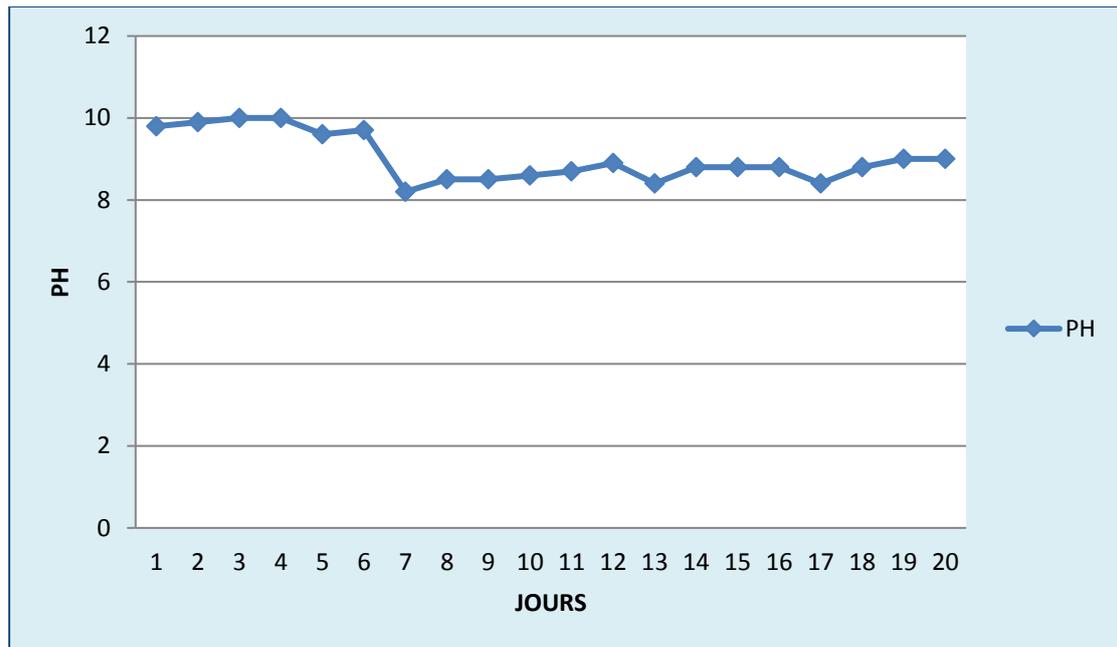


Fig. 9: Evolution du pH moyenne dans le milieu de culture .

5.3 Discussion des résultats

4. 5.3.1 Température :

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

La température initiale de l'eau le premier jour a augmenté d'environ 28 C°(**Fig. N° 11**) en février, alors qu'il était égal à un maximum de 35 C° pour la bonne croissance de La spiruline, cependant, est bien supérieure à la tolérance minimale (20 C°) de cette L'organisme vivant (**Jourdan, 1999**).

Cependant, au 5^{ème} jour, une augmentation de la température de 35 C° a été observée (**Fig. 11**), ainsi que Le 9^{ème} jour, Nous avons remarqué l'augmentation de la température de 38C° (**Fig. N°11**) Le mois de mars, ces changements de température restent dans la croissance optimale de Spiruline.

5. 5.3.2 PH :

Le pH qui diminue peut-être corrélée à la consommation de source de carbone c'est la nourriture principale de la Spiruline. Et une inhibition de la photosynthèse

(dépigmentation), Cette inhibition induit à l'arrêt de croissance de spiruline dans milieu l'abaissement du pH

S'explique par l'absence des nitrates ou des phosphates dans le milieu, le manque de ces éléments induit à la formation des grumeaux jaunes qui explique l'inhibition de la photosynthèse des substances vertes. (**Krulwich et Gaffant ,1989**)

- Après 5 jours, ajoutez du bicarbonate de sodium pour augmenter l'alcalinité du milieu, Mais nous avons remarqué une diminution du pH et une augmentation de l'acidité du milieu (**Fig.N°12**).
- Il s'avère que le composant ajouté n'est pas du bicarbonate de sodium, mais plutôt du carbonate de sodium, qui fait passer le milieu de l'état alcalin à l'état acide.

5.3.3 Multiplication de la souche :

La culture de la Spiruline est démarrée avec un volume de **1.5 l** de la souche de la spiruline, nous avons ajouté un volume de **5 l** de milieu de culture. Nous avons placé la résistance thermique, (RS-200W), afin d'élever la température du milieu (la culture est maintenue dans une température constante de 35°C) et sous agitation contenue assurée par une pompe d'aquarium (300L/H-2W), pour assurer l'agitation (**Fig. N°05**).

5.3.4 Culture et production de la spiruline

Après l'épidémie du Coronavirus début 2020, nous n'avons pas pu terminer cette étude et nous arrêter uniquement au stade de multiplication de la souche de la spiruline.

6. 5.3.5 Croissance de la spiruline :

La couleur des cultures tourné au vert à partir du bleu-vert qui est caractéristique pour la cyanobactérie. Ce phénomène est dû à l'épuisement de l'azote dans le milieu de culture (**Goksan et Zekruyaoulu, 2007**), et lorsqu'il y a un déficit d'azote dans le milieu, la phycocyanine est utilisé en tant que source de N, qui est responsable de la couleur caractéristique bleu-vert, et la couleur vire au vert (**Cohen, 1997; Sarada et al, 1998**).

CONCLUSION

La spiruline jouit aujourd'hui d'un intérêt grandissant grâce à ses multiples propriétés thérapeutiques et nutritionnelles. Ce regain d'intérêt se traduit par les nombreuses études publiées que nous avons consultées pour réaliser notre travail et qui portent sur tout ce qui caractérise la Spiruline. Il existe deux méthodes différentes de production de la spiruline : la première est artisanale et dépend de plusieurs facteurs (climatiques et relatifs). La deuxième est une production industrielle qui utilise les techniques de l'industrie agroalimentaire pour améliorer la productivité, mais reste très faible en Algérie.

Il existe des spirulines de "races" (souches) différentes, bien qu'elles aient toutes des caractères communs qui les distinguent des autres algues. On reconnaît très vite au microscope ou même à la loupe de fort grossissement (25 fois) si les spirulines sont spiralées ou droites mais il est moins facile de dire de quelle souche il s'agit car les spirulines ont une forte tendance à changer de taille et de forme. En présence de formes droites il existe un doute : s'agit-il de spirulines ou d'algues *Oscillatoria* semblables aux spirulines droites et dont certaines sont toxiques ?

Nous appelons "spiralées type Lonar" les souches dont les filaments sont en "queue de cochon", telle la "Lonar". Nous appelons "spiralées ondulées" les souches dont les filaments sont en spirale étirée, telle la "Paracas".

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.

La Spiruline accumule des métaux lourds mais en quantité en dessous des seuils de toxicité donnés par la **FAO**. 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.

En premier lieu nous avons décrit tous les aspects biologiques de la spiruline (morphologique, taxonomique, cycle biologique, écologique et en fin phylogénétique). Cette description nous a permis de constater la grande plasticité morphologique et son adaptation exceptionnelle dans des milieux très variés et surtout hostiles (température, alcalinité et salinité élevées).

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

1. Une culture peut mourir suite à une dilution, un éclairage ou un chauffage trop fort ou un excès d'urée.
2. L'augmentation de niveau de l'eau au niveau d'aquarium doit se faire par ajout de milieu

De culture.

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

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

Étrangères.

4. La vitesse de croissance dépend de plusieurs facteurs dont le pH. Elle est maximum à pH

Inférieur à 10, donc on a intérêt à utiliser du bicarbonate pour démarrer rapidement une

Nouvelle culture.

5. En l'absence de récoltes, avec suffisamment de nutriments, la concentration en Spiruline

Croit jusqu'à l'équilibre entre photosynthèse et respiration, Il n'est pas bon pour la culture de

Rester longtemps sans être récoltée, à très haute concentration : cela peut même être une Cause de mortalité pour elle.

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 suite:

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 inférieur 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'Ouargla.

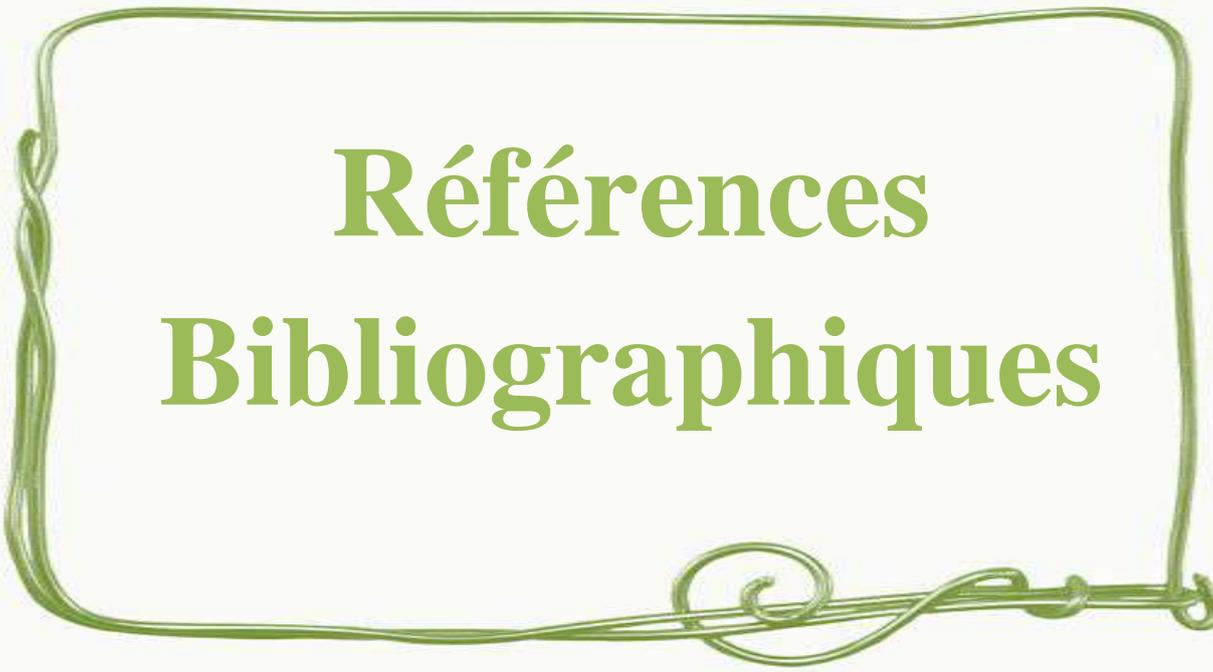
Recommandé des études sur ; le comportement physiologique et chimique de spiruline

Arthrospira platensis, la caractérisation et l'évolution du milieu de culture dans les conditions

Temporelles et spatiales, ainsi qu'une exploration de l'environnement pour un recensement des potentialités se rapportant à l'algoculture dans la région.

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

- Identification génétique, taxonomique, et caractérisation biochimique de notre souche.
- Identification de la qualité microbiologique des eaux des cultures notamment les eaux non-conventionnelles.
- utilisation de spiruline cultivée en eaux non-conventionnelles dans l'aquaculture.
- Evaluation de spiruline en agriculture "Bio fertilisant".



**Références
Bibliographiques**

Références bibliographiques

(<http://www.cyanosite.bio.purdue.edu/images/images.html>)
(Pagesperso-orange.fr/Cyanobactéries/pages/Physiologie/FixationN2.htm).

A.N.R.H, 2005. Agence nationale des ressources hydrique, 2005 _ caractéristique physico-géographiques de la cuvette d'Ouargla. PP : 15-19

Afaf DJAGHOUBI, 2013. Impact de la salinité des eaux de la région de Ouargla sur le comportement de Spiruline "*Arthrospiraplatensis*" (Souche de Tamanrasset). Thèse de MASTER . Université de Ouargla.

Afssa, et Afsset. 2006. "Evaluation des risques liés à la présence de cyanobactéries et leurs toxines dans les eaux destinées à l'alimentation, à la baignade et autres activités récréatives." Maisons-Alfort: Afssa, Afsset, 236 p.

AHOUNOU Morènikè Nadège, 2018 . La spiruline : un complément alimentaire en conseil à l'officine. Enquête d'utilisation. THESE DE DOCTEUR EN PHARMACIE. UNIVERSITE DE ROUEN.

Anagnostidis, K., & Komárek, J. (1985). Modern approach to the classification system of cyanophytes. 1-Introduction. *Algological Studies/Archiv für Hydrobiologie, Supplement Volumes*, 38-39 291-302. Retrieved from http://www.schweizerbart.de/papers/algol_stud/detail/3839/62868/Modern_approach_to_the_classification_system_of_cyanophytes_1_Introduction .

Anagnostidis, K., & Komárek, J. (1988). Modern approach to the classification system of cyanophytes. 3 - Oscillatoriales. *Algological Studies/Archiv für Hydrobiologie, Supplement Volumes* 50-53 327 - 472. Retrieved from https://www.schweizerbart.de/papers/archiv_algolstud/detail/5053/65276/Modern_approach_to_the_classification_system_of_cyanophytes_3_Oscillatoriales?l=FR .

Anagnostidis, K., & Komárek, J. (1990). Modern approach to the classification system of cyanophytes. 5-Stigonematales. *Algological Studies/Archiv für Hydrobiologie, Supplement Volumes*, 59 1-73.

ANSES. AVIS de l'ANSES relatif aux "risques liés à la consommation de compléments alimentaires contenant de la spiruline." Maisons-Alfort: 2017. Disponible sur <https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2014SA0096.pdf> (dernière consultation Janvier 2018).

Antenna Technologies France. Programmes en Inde [en ligne].[consulté le : 17/11/2007]. Disponible sur : <http://www.antenna-france.org/42040/66032.html>.

Audrey Manet. La spiruline : indications thérapeutiques, risques sanitaires et conseils à l'officine. Sciences pharmaceutiques. 2016. dumas-01346709

- Ayala F.** (2004) Industrial and semi industrial production of *Spirulina*, third world potential (modular systems). Colloque international : CSSD "Les Cyanobactéries pour la Santé, la Science et le Développement", Iles des Embiez. (Sous-press).
- Aychunie, S.** (1996). Inhibition of HIV-1 replication by an aqueous extract of *Spirulina platensis* (*Arthrospira platensis*). *International Association of Applied Algology*, 7th International Conference.
- Balloni W, Tomaselli L, Giovannetti L, Margheri MC (1980)** Biologia fondamentale del genere *Spirulina*. In: Materassi R (ed) Prospettive della Coltura Massiva di *Spirulina* in Italia. CNR Rome, pp 49–85.
- Ballot, A., L. Krienitz, K. Kotut, C. Wiegand, et S. Pflugmacher. 2005.** "Cyanobacteria and cyanobacterial toxins in the alkaline crater lakes Sonachi and Simbi, Kenya." *Harmful Algae* 4 (1):139-150. doi: 10.1016/j.hal.2004.01.001.
- Ballot, A., L. Krienitz, K. Kotut, C. Wiegand, J. S. Metcalf, G. A. Codd, et S. Pflugmacher. 2004.** "Cyanobacteria and cyanobacterial toxins in three alkaline Rift Valley lakes of Kenya - Lakes Bogoria, Nakuru and Elmenteita." *Journal of Plankton Research* 26 (8):925-935. doi: 10.1093/plankt/fbh084.
- Belay A, (2007).** *Spirulina* (*Arthrospira*): production and quality assurance in *Spirulina*. In Gershuin ME et Belay A. Human Nutrition and Health. Taylor et francis.
- Belay A.** 1997 Mass culture of *Spirulina* outdoors — the Earthrise Farms experience. In: *Spirulina platensis* (*Arthrospira*): *Physiology, Cell-Biology and Biotechnology* (Vonshak A., Ed.), pp. 131–158. Taylor and Francis, London, UK.
- BENSAFIA.N,(2005).** Les peuplements de cyanobactéries de deux plans d'eau douce (lac oubeïra, lac tonga) Inventaire et dynamique spatiotemporelle. Mémoire de Magister en Sciences de la Mer.
- Berg, K. A., Lyra, C., Niemi, R. M. et al.** (2011). Virulence genes of *Aeromonas* isolates, bacterial endotoxins and cyanobacterial toxins from recreational water samples associated with human health symptoms. *J. Water Health*, 9, 670-679
- Berkner, L. V., & Marshall, L. C.** (1965). On the Origin and Rise of Oxygen Concentration in the Earth's Atmosphere. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 22(3), 225-261. doi: 10.1175/1520-0469(1965)022<0225:OTOARO>2.0.CO; 2.
- Bernard, C.** 2014. "Cyanobacteria and cyanotoxins." *Revue Francophone des Laboratoires* 2014 (460):53-68. doi: 10.1016/S1773-035X(14)72405-0.
- Booker, MJ et Walsby, AE** 1979 . La résistance relative à la forme des filaments d'algues bleu-vert droits et hélicoïdaux. *Br. Phycol. J.* **14** : 141 - 50 .
- Bories G. et Tulliez J. (1975).** Détermination du 3,4-benzopyrène dans les algues spirulines produites et traitées suivant différents procédés *Ann. Nutr. Aliment.* 29, 573-575.

Boudène C, Collas E, Jenkins C. (1975). Recherche et dosage de divers toxiques minéraux dans les algues spirulines de différentes origines, et évaluation de la toxicité à long terme chez le rat d'un lot d'algues spirulines de provenance mexicaine. *Ann.Nutr.Aliment*; 29 : 577-87.

Callara, L. E., & Callara, L. R. (Eds.). (2008). *Nursing education challenges in the 21st century*. Nova Publishers.

Campanella, L., G. Crescentini, et P. Avino. 1999. "Chemical composition and nutritional evaluation of some natural and commercial food products based on *Spirulina*." *Analisis* 27 (6):533-540.

CHAIBL.R, (2004). Caractéristique physicochimique et évaluation du niveau tropique d'un écosystème lagunaire (la lagune El - Mellah). mémoire de magistère en écologie. Université d'Annaba.

Chamorro-Cevallos, (1980). Toxicologic Research on the Alga *Spirulina*. United Nations Organisation for Industrial Development; 24 oct.

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

Chen, H., et S. S. Pan. 2005. "Bioremediation potential of spirulina: Toxicity and biosorption studies of lead." *Journal of Zhejiang University: Science* 6 B (3):171-174. doi: 10.1631/jzus.2005.B0171.<https://gourmet-spiruline.fr/histoires-algues/origine-spiruline-naturelle.html>.

Cheung, M. Y., Liang, S., Lee, J. (2013). Toxin-producing cyanobacteria in freshwater : a review of the problems, impact on drinking water safety, and efforts for protecting public health. *J. Microbiol*, 51, 1-10

Chorus, I. and Bartram, J. 1999. Toxic Cyanobacteria in Water: a Guide to Public Health Significance, Monitoring and Management. (Für WHO durch E et FN Spon/Chapman et Hall, London). pp .416.

Ciferri O, (1983) *Spirulina*, the edible microorganism. *Microbiological Reviews* 47: 551-578.

Clément.G, 1975. Production et constituants caractéristiques des algues *Spirulina platensis* et *maxima*. *Ann Nutr Alim*. 29 : 477-488.

Cohen Z, Reungjitchachawali M, Siangdung W, Tanticharoen M (1993) Production and partial purification of gamma-linolenic acid and some pigments from *Spirulina platensis*. *Journal of Applied Phycology* 5: 109-115.

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

Cruchot Hélène., 2008. La spiruline bilan et perspectives ; faculté de médecine et de pharmacie de besancon ; P 13 ; 16 ; 24 ; 59 ; 60.

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.

DECID & RISK et ESETA ,2015.ANALYSE DE LA FAISABILITE D'UN COUPLAGE DE PRODUCTION DE BIOGAZ ET DE SPIRULINE.

Desikachary T.V.Jeeji-Bai N.1996,Taxonomic studies in *Spirulina* II. The identification of *Arthrospira* ('*Spirulina*') strains and natural samples of different geographical origins. *Algol. Stud.*83, 163–178.

Duy T.N., LamP.K.S., Shaw G.R. and Connell D.W. 2000. Toxicology and Risk Assessment of Freshwater Cyanobacterial (Blue-Green Algal) Toxins in Water. *Rev Environ Contam Toxicoll.*, 163: 113-186.

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

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

Fox R.D. « Spirulina, production & potential ».Aix en Provence : Edisud ; 1996.

FOX R.D., 1999. La spiruline : technique, pratique et promesse Edisud. 246P. ISBN 2-7449-0100-8.

Funari, E. et Testai, E. (2008). Human health risk assessment related to cyanotoxins exposure. *Critical Review in Toxicology*, 38(2), 97-125.

Girardin-Andréani C. (2005). Spiruline : système sanguin, système immunitaire et cancer. *Phytothérapie*; 4: p. 158-161.

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

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

GOULAMABASSE Tessine Raza ,2018.LA SPIRULINE : ACTIVITES THERAPEUTIQUES ET SON INTERET DANS LA LUTTE CONTRE LA MALNUTRITION A MADAGASCAR. THESE DE DOCTEUR Université de Lille.

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

Harrigan GG, Goetz G (2002) Symbiotic and dietary marine microalgae as a source of bioactive molecules-experience from natural products research. *Journal of Applied Phycology* 14: 103-108.

Harrigan GG, Luesch H, Yoshida WY, Moore RE, Nagle DG, Paul VJ (1999) Symplostatin 2:a dolastatin 13 analogue from the marine cyanobacterium *Symploca hydnoidea*. *J. Nat.Prod.* 62: 655-658.

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

Henrikson R (1994) Microalga Spirulina, superalimento del futuro. Barcelona:Ediciones S. A. Urano ISBN 84-7953-047-2.

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

Heussner, A. H., L. Mazija, J. Fastner, et D. R. Dietrich. 2012. "Toxin content and cytotoxicity of algal dietary supplements." *Toxicology and Applied Pharmacology* 265 (2):263-271. doi:10.1016/j.taap.2012.10.005.

<https://spiruline-akalfood.com/bien-etre/guide-de-la-spiruline-ecologique-conseils-dutilisation-bienfaits-posologie-contre-indications-et-informations/>.

<https://www.myrmeconfourmis.fr/Les-larves-d-Eristalis-ont-une-queue-de-rat.>

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

IDDER, A. D. ((2012), 1 2). PRECIPITATIONS AND SUMMER SALINE ACCUMULATIONS IN NAKED SANDY SOILS IN ARID ZONES. CASE ON THE REGION OF OUARGLA. *Revue des bio ressources*, , pp. 7-7.

Idder-Ighili, H. I.-M. (2013, février). Relations entre la cochenille blanche *Parlatoria blanchardi* Targiono-Tozzetti (Homoptera-Diaspididae) et quelques variétés de dattes à Ouargla (sud-est algérien). *Revue des*. pp. 1-17.

Isabelle TABUTIN., Pierre-Yves GOUESIN et Pierre MOLLO, 2002. La spiruline contre la malnutrition ». (Maduraï - Inde) Avril 2002. Page ; 11 ; 14 ; 12 ; 13 ; 19 ; 20.

Jaki B, Orjala J, Sticher O (1999) A novel extracellular diterpenoid with antibacterial activity from the cyanobacterium *Nostoc commune*. *J. Nat. Prod.* 62: 502-503.

James R, Sampath K, Thangarathinam R, Vasudevan I (2006) Effect of dietary spirulina level on growth, fertility, coloration and leucocyte count in red swordtail, *Xiphophorus helleri*. *Israeli Journal Of Aquaculture Bamidgeh* 58: 97-104.

Jaouen P, Lépine B, Rossignol N, Royer R, Quéméneur F (1999) Clarification and concentration with membrane technology of a phycocyanin solution extracted from *Spirulina platensis*. *Biotechnology Techniques* 13 (12) : 877-881(5).

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

Jean-Paul Jourdan ; 1999 : Cultivez votre spiruline revue ANTENNATECHNOLOGY, 125 pages.

Jean-paul Labourdette., 2011. Pyrénées Orientales. Collectif, Dominique Auzias. Page 233.

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-despiruline/> manuel-de-la-culture-artisanale-de-spiruline.pdf (dernière consultation janvier 2018).

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

Jourdan, J.P. 2011. "Cultivez votre spiruline, manuel de culture artisanale de la spiruline." *Edité : Antenna technologie.*

Journal Libération du 14 septembre 2014. Lucile Morin

Julie Vonarx ;Cyanobactéries et cyanotoxines Publié 07.10.08 .

Kasting, J. F., & Siefert, J. L. (2002). Life and the Evolution of Earth's Atmosphere. *Science*, 296(5570), 1066-1068. doi: 10.1126/science.1071184.

Kim CJ, Yoon SK, Kim HI, Park YH, Oh HM (2006) Effect of *Spirulina platensis* and probiotics as feed additives on growth of shrimp *Fenneropenaeus chinensis*. *Journal of Microbiology and Biotechnology* 16: 1248-1254.

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

Komárek J.Lund J.W.G.1990,What is '*Spirulina platensis*' in fact?*Arch. Hydrobiol., Algol. Stud.*58 (Suppl. 85), 1–13.

Komárek, J., Kastovsky, J., Mares, J., & Johansen, J. R. (2014). Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera) 2014, using a polyphasic approach. *Preslia*, 86(4), 295-335. Retrieved from <http://www.preslia.cz/P144Komarek.pdf>.

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

Krienitz, L., A. Ballot, K. Kotut, C. Wiegand, S. Pütz, J. S. Metcalf, G. A. Codd, et S. Pflugmacher. 2003. "Contribution of hot spring cyanobacteria to the mysterious deaths of

Lesser Flamingos at Lake Bogoria, Kenya." *FEMS Microbiology Ecology* 43 (2):141-148. doi: 10.1016/S0168-6496(02)00387-2.

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

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

Lee, A. N., et V. P. Werth. 2004. "Activation of autoimmunity following use of immunostimulatory herbal supplements." *Archives of Dermatology* 140 (6):723-727. doi: 10.1001/archderm.140.6.723. . <https://www.myrmecofourmis.fr/Les-larves-d-Eristalis-ont-une-queue-de-rat>

Li J. H. (2004) Recherche sur les applications et fonctions cliniques de la Spiruline en Chine. In : Colloque international : CSSD "Les Cyanobactéries pour la Santé, la Science et le Développement". Iles des Embiez (France) (sous-presses).

Li, RH , Debella, HJ et Carmichael, WW 2001 . Les isolats identifiables comme *Arthrospira maxima* et *Arthrospira fusiformis* (Oscillatoriales, Cyanobacteria) semblent identiques sur la base d'une étude morphologique en culture et des séquences génétiques de l'ARNr 16S. *Phycologia* **40** : 367 - 71 .

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

Loïc Charpy., Marie José Langlade et Romain Alliod., 2008. La Spiruline peut-elle être un atout pour la santé et le développement en Afrique ? Marseille. Page ; 7.

Manamani Radia ,2007. Niveau trophique et efflorescences des cyanobactéries dans le barrage de Ain Dalia (Souk-Ahras). Mémoire de magister en science de la mer, option : biologie et physiologie des organismes marins.

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

Marie-Laure de Boutray. Les cyanobactéries et leurs toxines dans les sources d'eau potable. Ingénierie de l'environnement. Université Paris-Est; Ecole polytechnique (Montréal, Canada), 2017. Français. NNT : 2017PESC1069. tel-01743744.

Marles, R. J., M. L. Barrett, J. Barnes, M. L. Chavez, P. Gardiner, R. Ko, G. B. Mahady, T. L. Dog, N. D. Sarma, G. I. Giancaspro, M. Sharaf, et J. Griffiths. 2011. "United states pharmacopeia safety evaluation of spirulina." *Critical reviews in food science and nutrition* 51 (7):593-604. doi: 10.1080/10408391003721719.

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

Meissner, S., Steinhauser, D., Dittmann, E. (2014). Metabolomic analysis indicates a pivotal role of the hepatotoxin microcystin in high light adaptation of *Microcystis*. *Environ Microbiol*. doi : 10.1111/1462-2920.12565.

Muhling M, Harris N, Belay A, Whitton BA (2003) Reversal of helix orientation in the cyanobacterium *Arthrospira*. *Journal of Phycology* 39: 360-367.

Mundt S, Kreitlow S, Nowotny A, Effmert U (2001) Biochemical and pharmacological investigations of selected cyanobacteria. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 203: 327-334.

Nasri H. Bouaïcha, N., Kaid Harche M. (2007). A New Morphospecies of *Microcystis* sp. Forming Bloom in the Cheffia Dam (Algeria): Seasonal Variation of Microcystin Concentrations in Raw Water and Their Removal in a Full-Scale Treatment Plant. *Environ Toxicol* 22: 347–356.

NASRI. A. B, (1999). étude de la biodiversité des Cyanoprocaryotes et leur toxine dans un milieu d'eau douce : lac Oubeira. Mémoire de magistère. Université d'Annaba.

NASRI.H, (2001). Etude de la dynamique spatiotemporelle et des parametres de croissance des cyanoprocaryotes toxiques dans un milieu d'eau douce : cas du barrage Cheffia. Mémoire de Magister Biologie Végétale Université d'Annaba.

NEZLI, I. E. ((2010).). Origines et spéciation du fluor dans les eaux de la nappe superficielle de la cuvette de Ouargla (Sahara Septentrional Algérien).

Ouarts A., Saudi, A. & Chekireb, D. 2011. Etude des efflorescences toxiques a cyanobactéries dans le barrage Mexa, Algerie. *Rev. Microbiol. Ind. San et Environn.* Vol 5, N°1, p : 81-100.

Paerl, H. W., & Fulton, R. S. (2006). Ecology of Harmful Cyanobacteria. In E. Granéli & J. T. Turner (Eds.), *Ecology of Harmful Algae* (pp. 95-109). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Paniagua-michel J., Dujardin E. et Sironval C. (1993). Le Tecuitlal, concentré de spirulines source de protéines comestibles chez les Aztèques. *Cahiers de l'Agriculture*; 2: p. 283-287.

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

Parikh P, Mani U, Iyer U (2001) Role of *Spirulina* in the control of glycemia and lipidemia in type 2 diabetes mellitus. *Journal of Medicinal Food* 4: 193-199.

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.

Pierre Chevalier, Ph. D. Janvier 2017, en collaboration avec les membres du groupe scientifique sur l'eau de l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ), des directions de santé publique du Québec (DSP) et du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC).

Pimentel, JS et Giani, A. (2014). Production et régulation de microcystine dans des conditions de stress nutritionnel dans des souches de *Microcystis* toxiques. *Microbiologie appliquée et environnementale*, 80 (18), 5836-5843.

Rafael, 2005 :<http://www.com.univmrs.fr/IRD/urcyano/developpement/spiruli.htm>.

Ramamoorthy A, Premakumari S (1996) Effect of supplementation of Spirulina on hypercholesterolemic patients. *Journal of Food Science and Technology* 33: 124-128.

Remirez D, Gonzalez R, Merino N, Rodriguez S, Ancheta O (2002) Inhibitory effects of Spirulina in zymosan-induced arthritis in mice. *Mediators of Inflammation* 11: 75-79.

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

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

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

Roger P.A. (2006) Les cyanobactéries : définition. Disponible sur : <http://pagesperso-orange.fr/cyanobacteries/pages/Introduction/definition.htm> 2006.

SAGGAI, A. &. (2008). Compatibilité des Eaux Des Nappes de La Région de Ouargla pour la Culture de Spiruline *Arthrospira Platensis* (Souche De Tamanrasset) . ouargla: (Doctoral dissertation).

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

Santillan C (1974) Cultivation of the Spirulina for Human Consumption and for Animal Feed. International Congress of Food Science and Technology.

SAOUDI Amel, 2008. Isolement, culture et évaluation de la toxicité des efflorescences à *Microcystis* sp., du barrage Mexa(El-Tarf). Mémoire de magistère. Université d'Annaba.

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

Scheldeman, P., Baurain, D., Bouhy, R., Scott, M., Muhling, M., Whitton, B.A., Belay, A. et 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*. Vol. 172: 213-222.

Schopf, J. W. (2002). The Fossil Record: Tracing the Roots of the Cyanobacterial Lineage. In B. Whitton & M. Potts (Eds.), *The Ecology of Cyanobacteria* (pp. 13-35): Springer Netherlands.

Schopf, J., & Packer, B. (1987). Early Archean (3.3-billion to 3.5-billion-year-old) microfossils from Warrawoona Group, Australia. *Science*, 237(4810), 70-73. doi: 10.1126/science.11539686.

Sébastien Sguera. *Spirulina platensis* et ses constituants : intérêts nutritionnels et activités thérapeutiques. Sciences pharmaceutiques. 2008. hal-01732214.

Shih CM, Cheng SN, Wong CS, Kuo YL, Chou TC. 2009. Antiinflammatory and antihyperalgesic activity of C-phycocyanin. *Anesth Analg*:1303-10.

Silvano, J. (2005). Toxicité des cyanobactéries d'eau douce vis a vie des animaux domestiques et sauvages. Thèse, Université Claude Bernard - Lyon. (Médecine - Pharmacie). p. 1-116.

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

Spolaore P, Joannis-Cassan C, Duran E, Isambert A (2006) Commercial Applications of Microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 101: 87-96.

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

Tomaselli L.(1997) Morphology, ultrastructure and taxonomy. In: *Spirulina platensis (Arthrospira): Physiology, Cell-Biology and Biotechnology* (Vonshak A., Ed.), pp. 1–15. Taylor and Francis, London, UK.

Toyomizu M, Sato K, Taroda H, Kato T, Akiba Y (2001) Effects of dietary *Spirulina* on meat colour in muscle of broiler chickens. *British Poultry Science* 42: 197-202.

TRABELSI LAMIA ,2009 .Identification et caractérisation des polymères extracellulaires de la cyanobactérie *Arthrospira platensis* Compère (1968). Thèse de Doctorat UNIVERSITE DE MONASTIR.

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

Trzebiatowska J, Lipok J, Zastawniak K, Mlynarz P and P. Kafarski (2004) Glyphosate degradation by *Spirulina* sp.

- Tulliez J, Boreis G, Février C, Boudène C. (1975).** Les hydrocarbures des algues spirulines : nature, étude du devenir de l'heptadécane chez le rat et le porc. *Ann.Nutr.Aliment*; 29: 563-71.
- Vadiraja BB, Gaikwad NW, Madyastha KM., 1998.** Hepatoprotective effect of Cphycocyanin: protection for carbon tetrachloride and R-(+)-pulegone-mediated hepatotoxicity in rats. *Biochem Biophys Res Commun*: 428-431.
- Vicat, J. P., J. C. Doumnang Mbaigane, et Y. Bellion.** 2014. "Contents of macromineral and trace elements in spirulina (*Arthrospira platensis*) from France, Chad, Togo, Niger, Mali, Burkina- Faso and Central African Republic." *Comptes Rendus - Biologies* 337 (1):44-52. doi: 10.1016/j.crv.2013.11.004.
- Vicente N.** 2008. Spiruline et développement. Colloque international sur la spiruline. Toliara Sud Ouest de Madagascar.
- Watanuki H, Ota K, Tassakka ACMAR, Kato T, Sakai M (2006)** Immunostimulant effects of dietary *Spirulina platensis* on carp, *Cyprinus carpio*. *Aquaculture* 258: 157-163.
- Yamamoto C, Fujiwara Y, Kajia T (2006)** The biological effects of depolymerized sodium spirulan and sulfated colominic acid on vascular cells are beneficial in preventing atherosclerosis. *Journal of Health Science* 52: 205-210.
- Yang, Lee EH, Kim HM. (1997).** *Spirulina platensis* inhibits anaphylactic reaction. *Life Sci*; 61 (13): 1237-44.
- Zarrouk C., (1966),** Contribution à l'étude d'une cyanophycée. Influence de divers facteurs physiques et chimiques sur la connaissance et la photosynthèse de *Spirulina maxima*. Thèse de doctorat, Paris.
- Zhang HQ, Lin AP, Sun Y and Deng YM., 2001.** Chemo- and radio-protective effects of polysaccharide of *Spirulina platensis* on hemopoietic system of mice and dogs. *Acta Pharmacol Sin*: 1121-1124.



Annexes

Annexes

Tableau 1 : Sites de gisements naturels de Spiruline dans le monde selon (FOX ,1999).

Afrique

Pays	Zones riches en spiruline
Tchad	Région du kanam : lacs Latir, Ouna, Borkou, Katam, Yoan, Leyla, Bodou, Rombou, Moro, Mombolo, Liwa, Iseirom, Ounianga kebir
Ethiopie	Lacs Aranguadi, Lesougouta, Nakourou, Chiltu, Navasha, Rodolphe
Kenya	Lacs Nakuru, Elmenteita, Cratère, Natron
Algérie	Tamanrasset, ouargla, oued
Madagascar	Lacs près de Toliara
Soudan	Cratère du Djebel Marra
Djibouti	Lac Abber
Congo	Congo Mougounga
Tanzanie	Lac Natron
Tunisie	Lac Tunis, Chott el Jerid
Zambie	Lac Bang weoudou

Asie

Pays	zones riches en spiruline
Inde	Lacs lonar et Nagpur
Myanmar	Lacs Twyn Taung , Twyn Ma et Taung Pyank
Pakistan	Mares près de Lahore
Sri Lanka	Lac Beira
Thaïlande	Lacs d'effluents d'une usine de tapioca, province de Radburi, 80 km au S.O de Bangkok
Azerbaïdjan	<i>non précise</i>

Amérique

Pays	Zones riches en spirulines
Pérou	Réservoir d'eau près de Paracas Près de l'Île d'Amantani dans le lac Titicaca
Mexique	Lacs Texcoco ;Lac Cratère
California	Oakland ; Del Mar Beach
Haiti	Lac Gonave
Uruguay	Montevideo,
Equateur	Lac Quilotoa : cratère de diamètre 1km
République Dominicaine	Lac Enriquillo

Europe

Pays	Zones riches en spiruline
France	Camargue
Hongrie	<i>non précise</i>
Site où la spiruline a été introduite par le flamant nain, <i>Phoenicoparrus jamesi</i>, en Afrique et en Asie, et le flamant de James, <i>Phoenicoparrus jamesi</i>, en Amérique du Sud (Ogilvie et al. 1986)	
Tanzanie	Lac Manyara, Lac Rukwa
Zambie	Lac Mweru
Botswana	Makgadikgadi Sait Pans
Namibie	Etosha Sait Pan
Afrique du Sud	État Libre d'orange, près de Vaal Dam
Bolivie	Lacs Colorado, Poopó, Chavirai, Salar d'Uyuni
Chili	Aguas Calientes, Lagunes Brava, Lac Villa Mañá, Salar de Surire
Mauritanie	Côte sud
Inde	Rann of Kutch, Gujarat
Madagascar	Côte ouest

(Tableau N°02) : récapitulatif de la composition de la spiruline (Manet, 2016).

Composants	Quantité dans 10 g de <i>Spirulina platensis</i>	Activités principales
Protéines	7 g	Construction de l'organisme, rôle de maintien
Acides aminés essentiels		
Isoleucine	350 mg (50% des AJR)	Réparation tissulaire, anabolisant
Leucine	540 mg (49% des AJR)	Réparation tissulaire, anabolisant
Lysine	290 mg (36% des AJR)	Croissance des os, des tissus, fixation du calcium
Méthionine	140 mg (23% des AJR)	Croissance des phanères, aide à maintenir taux de cholestérol bas
Phénylalanine	280 mg (140% des AJR)	Contribue aux activités mentales et à la santé mentale, mémoire, stimule les endorphines (douleur et idées positives)
Thréonine	320 mg (64% des AJR)	/
Tryptophane	100 mg (48 % des AJR)	Antidépresseur, aide à l'endormissement, précurseur de la sérotonine
Valine	400 mg (44% des AJR)	Réparation tissulaire, anabolisant
Acides aminés non essentiels		
Alanine	470 mg	Tonique, source d'énergie pour les muscles
Arginine	430 mg	Médiateur du stress, rôle dans la croissance et le système immunitaire
Acide aspartique	610 mg	Stimule immunité et endurance
Cystine	60 mg	Croissance des phanères
Acide glutamique	910 mg	Anti-radicalaire, augmente la formation du glutathion
Glycine	320 mg	Composant des os, tendons et peau
Histidine (essentiel chez le nourrisson)	100 mg	Croissance, réparation tissus, hématopoïèse
Proline	270 mg	Production de collagène
Tyrosine	300 mg	Précurseur de la dopamine et de la noradrénaline → anxiolytique, et de la mélatonine (protège du soleil)
Serine	320 mg	Formation des membranes, de l'ADN et de l'ARN, renforce système immunitaire, articulations et masse musculaire.
Lipides	0,43g/10g graisses saturées 1,95 g Cholestérol <0,1 g	Réserve énergétique, production des hormones, étanchéité des membranes cellulaires nerveuses et cérébrales, système immunitaire, régularisation température du corps
γ-linoléique	20,1% des acides gras = 2 %	Précurseur des prostaglandines, Anti-inflammatoire

(Ω6)	du poids de la spiruline : 0,2g	
Oléique		2 - 5 %

Composants	Quantité dans 10 g de <i>Spirulina platensis</i>	Activités principales
Palmitique	25,8 - 35 % des acides gras	
Lipides insaponifiables	Stérols, terpènes et hydrocarbures saturés (paraffine)	
Glucides	1,78 g/10 g	Apport d'énergie
Vitamines hydrosolubles		
B1 (thiamine)	0,35 mg (30 % des AJR)	Métabolisme des glucides et des lipides, croissance des phanères
B2 (riboflavine)	0,35 mg (21 % des AJR)	Fonctionnement du système nerveux, de la vision, hématopoïèse, collagène
B3 (niacine, PP ou acide nicotinamique)	1,46 mg (9 % des AJR)	Croissance des phanères
Panthoténate (B5)	0,5-10 mg (10 % des AJR)	Croissance des phanères et des tissus, fatigue et vitalité
B6 (pyridoxine)	0,08 mg (5 % des AJR)	Synthèse des neurotransmetteurs (dopamine, sérotonine), réduit l'homocystéine
B7 (Inositol)	6,4 mg (pas d'AJR)	Tonique du SNC (gaine de myéline)
B8 (Biotine)	0,5 µg (0,5% des AJR)	Perte des cheveux, métabolisme des lipides et glucides et synthèse des vitamines B9 et B12, fonctionnement du SNC
B9 (Folate, acide folique)	0,01 mg (2,5 % des AJR)	Synthèse de l'ADN, métabolisme du fer, croissance du fœtus et fermeture du tube neural
B12 (cobalamine)	0,015 – 0,032 mg (1000 % des AJR)	Fonctionnement du système nerveux, du métabolisme de l'homocystéine, de l'hématopoïèse, fatigue
Pigments		
Phycocyanine	100-160 mg	Voir plus loin
Lutéine	0,2 mg	Vision
Zéaxanthine	11 mg	Vision
Chlorophylle	60 mg	Chélateur de métaux lourds, équilibre acido-basique
Vitamines liposolubles		
β-carotène	15 à 24 mg 1000 % des AJR	Vision, croissance, antioxydant
K	0,2 mg (300 % des AJR)	Antihémorragique
D	1200 UI	Croissance des os, régule taux de calcium et améliore son absorption
E (α-tocophérol)	1 UI (3 % des AJR) : 0,5 à 1,9 mg	Antioxydant
Minéraux et oligo-éléments		1,1 g
Calcium	130 mg (10 % des AJR)	Croissance, coagulation, contractions musculaires, neurotransmission

Phosphore	67 mg (8 % des AJR)	Croissance et mémoire
Magnésium	25-50 mg (9-25 % des AJR)	Fonctionnement des cellules, influx nerveux, contraction et développement des muscles.
Fer	7-18 mg (50-100% des AJR)	Formation de l'hémoglobine, transport de l'oxygène, résistance à la fatigue, aux infections et au stress
Zinc	0,4 mg (4 % des AJR)	Antioxydant, stimule immunité, synthèse ADN, fonctions cognitives, métabolisme des protéines et des acides gras
Sélénium	0,1-2,55 mg (20-100 % des AJR)	Antioxydant, détoxiquant, renforce immunité, neutralisation des radicaux libres
Cuivre	0,1 mg (5 % des AJR)	Contre infections, composition des os et cartilages
Chrome	0,03-0,25 mg (16 % des AJR)	Métabolisme des glucides
Manganèse	0,4 mg (12 % des AJR)	Anti radicaux libres, pour utilisation des glucides et lipides par l'organisme
Sodium	0,09 mg	Répartition de l'eau dans l'organisme
Potassium	100-200 mg (5-10 % des AJR)	Perméabilité des membranes, régule rythme cardiaque et tension
Iode	14 µg ou pas (8 % des AJR ou moins)	Formation des hormones thyroïdiennes
Fibres	0,5 g pour 10 g de spiruline	Digestion
SOD	10.000 à 40.000 UI	Puissante enzyme anti oxydante
ADN	46 mg	
ARN	245 mg	
Eau	0,7 g	

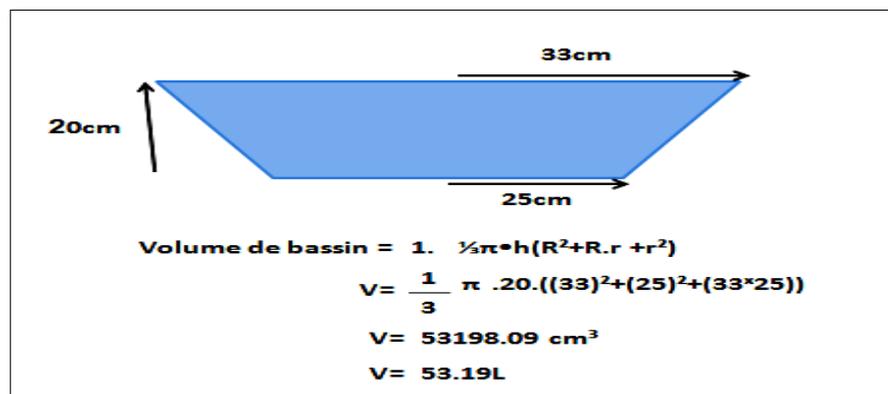


Figure n°01 : Explique une méthode pour calculer le volume total d'une bassine

Les photos :



Photo n°01 : forages de l'exploitation.
d'irrigation



Photo n°02 : bassin