



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE : SCIENCES

DEPARTEMENT : SCIENCES AGRONOMIQUES

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par Melle BENARFA Widad

DOMAINE : SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE (SNV)

FILIERE : SCIENCES ALIMENTAIRES

OPTION : AGROALIMENTAIRE ET CONTROLE DE QUALITE

Thème

La spiruline « *Arthrospira platensis* » : production, composition et utilisations thérapeutiques

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
M. LAOUADI Mourad	Maître de conférences B	Président
M ^{elle} . ZAZA Messaouda	Maître-Assistant A	Examinatrice
M ^{me} . LOUNICI Safia	Maître-Assistant A	Rapporteuse

Promotion : Septembre, 2020

Remerciements

*Tout d'abord je veux remercier **DIEU** qui m'a donné la volanté, la patience et le courage pour accomplir ce travail dans ces conditions.*

*A ma promotrice, **Mme LOUNICI S. Maitre assistante** au Département des Sciences agronomique à l'Université de Laghouat, Faculté des Sciences de la nature et de la vie pour son encadrement, sa confiance, sa patience, ses encouragements, je le remercie vivement.*

*Je remercie également au membre de jury le **président Mr LAOUADI M. Maitre de conférences B.** et l'**examinatrice Mme ZAZA M. Maitre assistante A** au département d'agronomie, la faculté des sciences de la nature et de la vie, l'Université Laghouat, pour avoir eu l'amabilité d'avoir accepté de lire notre manuscrit et d'apporter les critiques nécessaires à la mise en forme finale de cet ouvrage.*

A tous mes camarades de la promotion 2019/2020 agroalimentaire et contrôle de qualité, merci pour tous ces moments de partage, de complicité et de rire sans lesquels la pression aurait été insoutenable



Dédicaces

Je dédie ce mémoire :

*Aux personnes les plus chères au monde, à **mes très chers parents**.*

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour et ma profonde gratitude pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance.

Que ce travail soit le fruit de vos prières et sacrifices, qui m'ont été d'un grand secours pour atteindre cette étape de ma vie, et que Dieu tout puissant vous

procure santé, bonheur et longue vie.

A mes chers frères et Sœurs, merci pour votre présence, humeur, conseils et encouragement dans tout ce que j'entreprends. Je vous souhaite tout le bonheur et la réussite dans votre vie et que Dieu vous

protège et vous garde.

A toute ma famille et mes amis qui ne tiendront jamais en une seule page,

Je suis vraiment reconnaissante de vous avoir dans ma vie.

Widad

Résumé

La spiruline n'a suscité l'intérêt des scientifiques que tardivement, elle jouit aujourd'hui d'un intérêt grandissant grâce à ses multiples propriétés thérapeutiques et nutritionnelles. Ce regain d'intérêt se traduit par les nombreuses études publiées sur ce sujet

Dans notre travail, nous avons décrit tous les aspects biologiques de la spiruline (morphologique, taxonomique, cycle biologique, écologique). 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). Un aperçu sur les différentes méthodes de productions et l'évolution de la production mondiale et régionale de la spiruline, révèle que la production est divisée en 2 modes : la première est artisanale et dépend de plusieurs facteurs (climatiques et environnementaux). La deuxième est une production industrielle

Ensuite, la composition nutritionnelle démontre que la spiruline contient des teneurs très importantes en nutriments et oligoéléments bénéfiques pour l'homme et pour les animaux ce qui explique son utilisation thérapeutique.

Mots clés : Spiruline, *Arthrospira sp*, culture, composition nutritionnelle, utilisation thérapeutique.

Table des matières

Remerciements.....	I
Dédicaces.....	II
Résumé.....	III
Liste des tableaux	IV
Liste des figures.....	V
Liste des abréviations.....	VI
Introduction	01
Chapitre I. Généralités sur la spiruline	
I.1. Historique.....	04
I.2. Appellation.....	05
I.3. Classification.....	05
I.4. Morphologie.....	06
I.5. Développement et activité.....	08
I.6. Reproduction et cycle biologique de la spiruline.....	09
I.7. Répartition géographique.....	10
Chapitre II. Production de la spiruline	
II.1. Cultures artisanales	14
II.1.1. Milieu de culture	154
II.1.2. Température	166
II.1.3. pH.....	176
II.1.4. Lumière.....	176
II.1.5. Salinité.....	177
II.1.6. Agitation	187
II.1.7. Ombrage	187
II.1.8. Mesure de la concentration d'une culture de Spiruline	187
II.1.9. Récolte.....	198
II.1.10. Séchage.....	19
II.1.11. Broyage.....	20
II.1.12. Conditionnement	20
II.1.13. Tests avant la mise sur le marché.....	20

II.2. Cultures industrielles	21
II.3. Production mondiale et régionale.....	22

Chapitre III. Composition de la spiruline

III.1. Protéines	255
III.2. Lipides.....	277
III.2.1. La fraction insaponifiable.....	288
III.2.2. La fraction saponifiable.....	288
III.2.3. Les acides gras.....	288
III.3. Glucides.....	299
III.4. Minéraux	30
III.4.1. Les oligoéléments.....	30
III.4.2. Métaux lourds	32
III.5. Vitamines.....	32
III.6. Pigments	33
III.7. Enzymes	34

Chapitre IV. Bienfaits de la spiruline

IV.1. Activités thérapeutiques de la spiruline	366
IV.1.1. Spiruline et la malnutrition.....	366
IV.1.2. Renforcer le système immunitaire	399
IV.1.3. Activité anticoagulante.....	40
IV.1.4. Effet anti-âge	40
IV.1.5. Activité antivirale.....	41
IV.1.6. Activité antitumorale.....	41
IV.1.7. Effet sur l'asthénie.....	42
IV.2. L'accompagnement de traitements de maladies graves.....	42
IV.3. Risques de surdoses	43
IV.4. Réactions allergiques	43
IV.5. Acceptabilité alimentaire.....	43
IV.6. effet pour les animaux.....	44
Conclusion.....	45
Références bibliographiques.....	476

Liste des tableaux

Tableau 1 :	Confusions liées au terme de spirulina.....	05
Tableau 2 :	Sites géographiques où se trouve naturellement le genre <i>Arthrospira</i>	10-12
Tableau 3 :	Pourcentage moyen des acides aminés d' <i>Arthrospira platensis</i>	26
Tableau 4 :	Composition en pourcentage des principaux acides gras de trois espèces spiruline.....	29
Tableau 5 :	Les minéraux et oligo-éléments de la spiruline en mg/Kg.....	231
Tableau 6 :	Vitamines liposolubles contenues dans la biomasse de <i>Spirulina platensis</i> (mg/100g matière sèche)	33
Tableau 7 :	Teneurs en pigments exprimées en mg pour 10g de matière sèche de <i>Spirulina platensis</i>	33

Liste des figures

Figure 1 : Morphologie de la spiruline.....	07
Figure 2 : Morphologies typiques de Spiruline.....	08
Figure 3 : Cycle biologique de la Spiruline.....	09
Figure 4 : Zone de croissance naturelle de la Spiruline dans le monde (Fox,1999).....	10
Figure 5 : processus de production de la spiruline.....	15
Figure 6 : Disque de Sichi.....	18
Figure 7 : Récolte de la spiruline.....	19
Figure 8 : Les différentes étapes de production.....	22
Figure 9 : Production mondiale de Spiruline entre 1975 et 1999 en tons (1 tons = 1,016 tonnes.....	23
Figure 10 : Photo d'un enfant dénutri ayant été traitée avec 10g/j de spiruline pendant 3 mois.....	38

Liste des abréviations

μ	Micro
%	Pourcentage
mm	Millimètre
g/l	Gramme par litre
pH	Potentiel hydrogène
lux	Unité d'éclairement
cm	Centimètre
mm	Millimètre
ISO	Organisation internationale de normalisation
HACCP	Hazard Analysis Critical Control Point
T	Tons
FAO	Food and Agriculture Organisation
NPU	Utilisation Protéique Nette
μg	Microgramme
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ADN	Acide DésoxyriboNucléique
ARN	Acide RiboNucléique
MGDG	Monogalactosyldiacylglycérol
DGDG	Digalactosyldiacylglycerol
SQDG	sulfoquinovosyldiacylglycérol
AJR	Apports journaliers recommandés
UNISEF	Fonds des Nations Unies pour l'enfance

Introduction

Introduction

La croissance démographique, les changements climatiques et les bouleversements économiques conduisent obligatoirement à une crise alimentaire observée dans les pays les plus démunis sous forme d'une malnutrition due à une faible disponibilité d'aliments de haute qualité nutritionnelle indispensable à notre santé, ce qui entraîne plusieurs maladies pouvant fragiliser à vie, voire détruire l'organisme humain (Doumandji,2011). Les régions où l'explosion démographique est la plus forte sont aussi celles où sévit une pénurie chronique de nourriture. C'est pourquoi la FAO, l'OMS et l'UNICEF ont recommandé aux chercheurs du monde entier de réexaminer le potentiel alimentaire de l'humanité (Salle,1999).

Diverses organisations ont fait le choix d'intervenir dans la prévention de la malnutrition infantile. Cette prévention est notamment basée sur l'éducation nutritionnelle des populations, le développement et la consommation des produits cultivés localement et la mise à disposition d'aliments de complément (Hug, 2011).

La spiruline est consommée depuis des siècles par certains peuples primitifs d'Afrique et d'Amérique, et connue par les scientifiques depuis plusieurs décennies pour sa richesse nutritionnelle, elle fait l'objet d'une redécouverte depuis quelques années (Trabelsi et al.,2010).

Cette micro algue bleu-verte a été proposée dans l'alimentation humaine par plusieurs scientifiques et nutritionnistes grâce à ses qualités nutritionnelles exceptionnelles, sa facilité de culture, sa haute productivité et son faible coût de production. La spiruline est considérée comme une ressource alimentaire non conventionnelle pouvant contenir jusqu'à 70% de protéines ; elle est riche en sels minéraux, en oligoéléments et en nombreuses vitamines (B1, B2, B12, E,...) (Sall et al., 1999).Les deux espèces les mieux connues sont *Arthrospira platensis*, originaire d'Afrique et *Arthrospira maxima* originaire d'Amérique centrale (Nordst, 1892).

En Algérie, Entre les 18 et 25 Avril 2004, le premier mini-colloque sur la Spiruline a était à Tamanrasset, des scientifiques et chercheurs ayant une expérience de la culture et des utilisations de la Spiruline sont venus de France sur invitation du Dr. Hiri Aek, 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).

A partir de ce contexte, le présent travail a comme objectifs :

- Données des généralités sur la spiruline
- Ses conditions de culture
- Ses composants nutritionnels
- Ses principales utilisations et Bienfaits sur la santé humaine.

Vue les conditions de la pandémie, covid 19, Nous n'avons pas pu réaliser la partie pratique de notre travail.

Chapitre I. Généralités sur la spiruline

Chapitre I. Généralités sur la spiruline

Il y a 3,6 milliards d'années, durant le précambrien, les premières formes de vie, les Cyanobactéries, sont apparues sur terre, parmi lesquelles, une minuscule algue bleue, la spiruline qui vit de photosynthèse comme les plantes et prospère naturellement dans les lacs salés et alcalins des régions chaudes du globe. Elle est incapable de réduire (fixer) l'azote de l'air, car elle est dépourvue des structures spécialisées appelées hétérocystes, contrairement à certaines autres cyanobactéries (tells *Anabaena*, *Nostoc*). Elle est riche en nutriments et posséderait des propriétés immuno stimulantes (Jourdan, 2006 ; Cruchot, 2008 ; Trop, 2009 ; Manet, 2016).

C'est un organisme procaryote qui partage avec les plantes la capacité d'effectuer de la photosynthèse. À partir de composés minéraux, d'eau, et de l'énergie lumineuse captée grâce à leur chlorophylle, elles transforment le gaz carbonique et dégagent l'oxygène (Bartram, 1999).

I.1. Historique

Des traces de cyanobactérie, ont déjà été détectées dans des stromatolithes (restes de filaments d'algue pétrifiés dans du calcaire) datant de quelques 3.7 milliards d'années, en Afrique du Sud (Perez, 1997).

Les algues sont un aliment de base en Chine et au Japon depuis la préhistoire. En Europe pendant l'antiquité, les algues sont utilisées comme aliments pour le bétail, colorants et médicaments contre les vers parasitaires (Vidalo, 2008).

La spiruline ne fut vraiment redécouverte qu'en 1940 au Tchad par un botaniste français du nom de Dangeard. Les Kanembous, tribu du Tchad, la consomment encore de nos jours sous le nom de Dihé. Depuis, on a su par les archives mexicaines que la spiruline était aussi consommée du temps des Aztèques, bien avant l'arrivée des Espagnols, sous le nom de Tecuitla: De nombreux ouvrages de l'époque coloniale espagnole citaient déjà une certaine substance bleu-vert que les Aztèques utilisaient. Le tecuitlatl est une sorte de purée considérée par les colons comme minéral, une terre, un limon, consommée par les paysans après avoir été séchée et broyée. En réalité le tecuitlatl est un gâteau de spirulines, extrêmement riches en protéines, appartenant à l'espèce *Spirulina maxima* (Paniagua *et al.* 1993 ; Farrar, 1966).

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, 2011).

I.2. Appellation

La terminologie de la spiruline est assez confuse, La confusion entre les deux noms *Arthrospira* et *Spirulina* est due à la décision d'unifier les deux genres *Arthrospira stizenberger* et *Spintlina turpin* ase de leurs trichomes en spirale (Sguera, 2008).

Tableau 1. Confusions liées au terme de spirulina (Antenna technologies, 2009).

Spiruline	<i>Spirulina</i>	<i>Arthrospira</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Terme vernaculaire générique regroupant toutes les spirulines en vente sur le marché (<i>Spirulina</i> non comestible et <i>Arthrospira</i> comestible) • Nom commercial francophone de la cyanobactérie appartenant au genre <i>Arthrospira</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Nom scientifique et taxonomique d'une autre cyanobactérie très éloignée du genre <i>Arthrospira</i> qui n'est pas utilisé dans le cadre de l'alimentation • Nom commercial anglophone de la cyanobactérie appartenant au genre <i>Arthrospira</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Nom scientifique et taxonomique d'un groupe de cyanobactéries auxquelles appartient la spiruline utilisée dans le cadre de l'alimentation

Il faut retenir que le terme "Spiruline" correspond au nom commercial d'une espèce de cyanobactérie alimentaire appartenant toujours au genre *Arthrospira*. Le mot "Spirulina" est le nom commercial anglophone de la spiruline, mais il désigne également un genre de cyanobactérie assez éloigné de *Arthrospira*, et surtout non comestible (par exemple: *Spirulina major*, *Spirulina subtilissima*, *Spirulina princeps*, *Spirulina gigantea* ou *Spirulina subsaisa*). (Scheldeman et al., 1999).

I.3. Classification

La spiruline a été décrite pour la première fois par Wittrock et Nordsted en 1844 sous le nom de *Spirulina jeneri plantensis* Nordsted (Vonshak, 1997).

En 1960, la distinction entre les procaryotes et les eucaryotes est établie. Elle se base sur la différenciation d'organisation cellulaire. En 1962 Stanier et ses collaborateurs constatèrent que cette « algue bleue verte » était dépourvue de compartiments cellulaires. Elle fait donc partie des procaryotes. Ils proposèrent de désigner ce micro-organisme «cyanobactérie », avec un préfixe d'origine Grec « *cyano*, *cyan* » du nom du pigment bleu la phycocyanine qui la compose. Cette nouvelle désignation est acceptée et figure pour la première fois au « Bergey's Manual of Determinative Bactériologie » en 1974 (Vonshak, 1997 ; Nicoletti, 2016).

La Spiruline est une cyanobactérie (anciennement désignée par le terme « algue bleue » puis cyanophycée). Elle appartient donc au domaine des bactéries (*Bacteria*) et se classe parmi les bactéries gram négative. Les cyanobactéries forment l'essentiel des bactéries capables de photosynthèse avec production d'oxygène et peuvent être unicellulaires ou pluricellulaires. La Spiruline appartient à l'ordre des Nostocales (= Oscillatoriales), la famille des Oscillatoriaceae, le genre *Oscillatoria* et le sous genre *Spirulina* ou *Arthrospira*. (Charpy, 2008).

Selon Fox (1999), La spiruline appartient à :

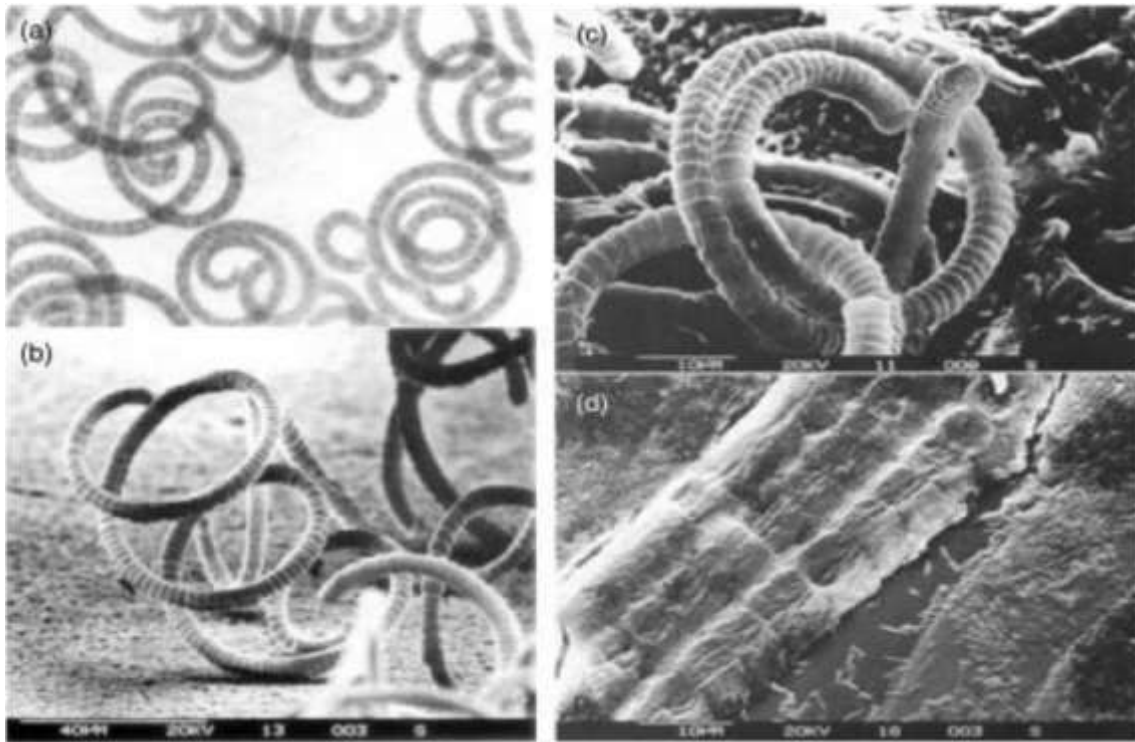
- o **Règne** : Monera
- o **Sous règne** : Prokaryota
- o **Phylum** : Cyanobacteria
- o **Classe** : Cyanophyceae
- o **Ordre** : Nostocales
- o **Famille** : Oscillatoriceae
- o **Genre** : *Arthrospira*
- o **Espèce** :- *rthrospira platensis*
 - *Arthrospira maxima*
 - *Arthrospira masartii*
 - *Arthrospira indica*
 - *Arthrospira fusiformis*

I.4. Morphologie

La spiruline est une cyanobactérie spiralée de couleur bleu-verte photo-autotrophe. La spiruline est considérée souvent comme une algue planctonique microscopique. C'est en fait

une bactérie appartenant aux cyanobactéries filamenteuses du genre *Arthrospira*, (Bartram, 1999 ; Sguera, 2008). Elle se présente sous forme de filaments constitués de cellules juxtaposées. Les filaments d'*Arthrospira* sont 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).

D'après Jourdan (2012), Il existe plusieurs variétés ou espèces de souches différentes. Nous appelons « spiralées type Lonar » les souches dont les filaments sont en "queue de cochon", telle la «Lonar » venant du cratère de Lonar dans l'État de Mahārāshtra en Inde et les « spiralées ondulées » (ou "ondulées" tout court) les souches dont les filaments sont en spirale étirée (figure n. 1), telle la "Paracas" provenant du lac de l'oasis d'Huacachina dans la région d'Ica au Pérou.



(Source : Ciferri, 1983)

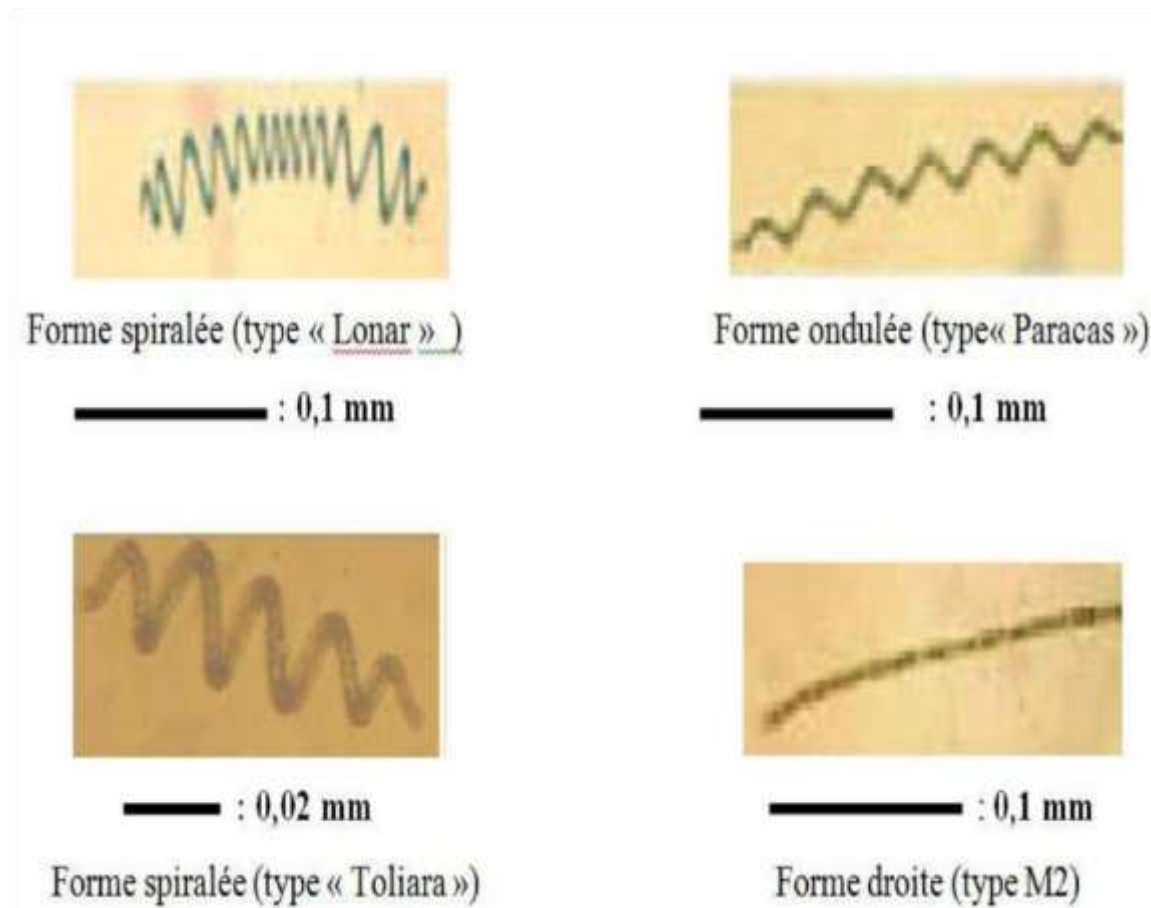
Fig. 1. Morphologie de la spiruline : (a)- sous microscope optique (b) Micrographie électronique d'*Arthrospira platensis* (c)- Micrographie électronique d'un trichome d'*Arthrospira platensis*(d) Micrographie électronique de non axénique de *S. Platensis*

On distingue plusieurs morphologies "spiralées", "ondulées", et "droites" (figure n. 2) :

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

Quelque soit la forme de *l'Arthrospira platensis*, cela ne change en rien sa composition. Le changement de forme est lié à son adaptabilité dimensionnelle se rapportant au milieu de culture (Jarisoia, 2005 ; Callara, 2008).

Les facteurs environnementaux tels la température aurait cependant une influence sur l'orientation de l'hélice (Muhling et *al.* 2003 *in* Jarisoa, 2005). Cette morphologie typique lui permet de se déplacer dans l'eau en adoptant le mouvement d'une vis.



(Source : Antenna Technologie,2009).

Fig. 2. Morphologies typiques de Spiruline

I.5. Développement et activité

Les algues produisant près de 90% de l'oxygène de la planète soit 330 milliards par an (10% étant produits par les arbres et les plantes). En absorbant le dioxyde de carbone, elles permettent de lutter contre les réchauffements climatiques.

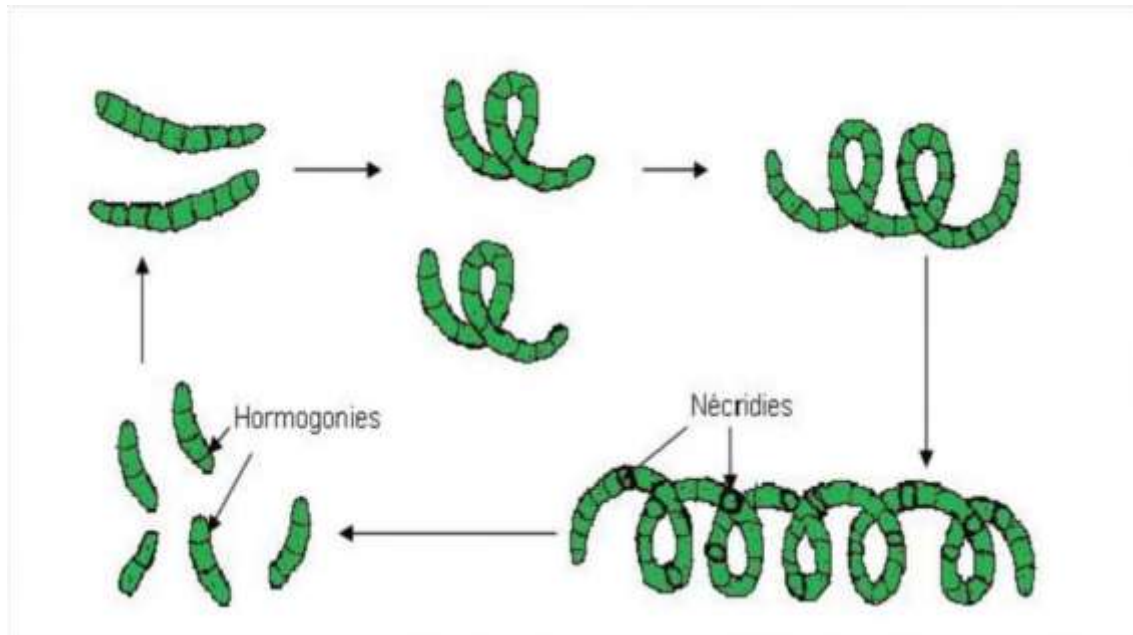
Selon (Aubé, 2014), Les cyanobactérie sont des photo-litho-autotrophes :

- photo car elle pratique la photosynthèse en réduisant le CO₂ à la lumière,
- Litho car elles se nourrissent de minéraux,
- Autotrophe au carbone et à l'azote car elles sont capable de réduire l'azote atmosphérique en ammonium ou en nitrate ce qui leur permet de produire des acides aminés et des protéines.

I.6. Reproduction et cycle biologique de la spiruline

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. Les Hormogonies vont croître en longueur par division binaire (chacune des cellules va donner deux cellules par scissiparité) et prendre la forme typique hélicoïdale (figure n. 3) (Balloni *et al.* 1980 in Charpy, 2008).

La spiruline se reproduit suivant un mode végétatif. C'est une reproduction asexuée, par segmentation des filaments ; ce processus ne doit pas être confondu avec la mitose, laquelle n'existe que chez les eucaryotes (König, 2007). Sa vitesse de multiplication est particulièrement rapide dès que la température dépasse 30°C à l'ombre ; lorsque ces conditions sont réunies et que le milieu est favorable, le temps de régénération est très court (7 heures) (Zarrouk, 1966 in Jourdan, 2006).



(Source : Balloni et al. 1980 in Charpy, 2008)

Fig. 3. Cycle biologique de la Spiruline

I.7. Répartition géographique

Ce qui distingue le genre *Arthrospira* des autres cyanobactéries, c'est le milieu naturel où elles vivent (Tableau 2). La Spiruline se développe préférentiellement dans des eaux chaudes, alcalines et riches en nutriments azotés et phosphorés. Plus communément, elle s'observe dans les eaux saumâtres, ainsi que dans les lacs salins de régions tropicales et semi tropicales.

Son caractère thermophile et ses besoins importants en lumière limitent son aire de répartition à une bande intertropicale située environ entre 35° de latitude Nord et 35° de latitude Sud. Sa forte plasticité écologique permet de la retrouver à l'état naturel à la fois dans les lacs alcalins en Afrique (Tchad, Ethiopie, Tunisie), en Amérique latine (Mexique, Pérou), en Asie du Sud (Inde, Sri Lanka, Thaïlande). Cet organisme est dit ubiquiste. Il est cependant beaucoup moins abondant en Amérique du Nord et en Europe (Charpy et al., 2008).



Fig. 4. Zone de croissance naturelle de la Spiruline dans le monde (Fox, 1999)

Tableau 2. Sites géographiques où se trouve naturellement le genre *Arthrospira* (Scheldeman et al. 1999).

Afrique	
Algérie	Tamanrasset (Boileau, 1988 in FOX, 1999),
Tchad	La région du Kanem : les lacs Latir, Ouna, Borkou, Katam, Yoan, Leyla, Bodou, Rombou, Moro, Mombolo, Liwa, Iseirom, Ounianga kebir
Soudan	Cratère du Djebel Marra
Djibouti	Lac Abber
Ethiopie	Lacs Aranguadi, Lesougouta, Nakourou, Chiltu, Navasha, Rodolphe
Congo	Mougounga
Tanzanie	Lac Natron
Kenya	Lacs Nakuru, Elmenteita, Cratère, Natron
Tunisie	Lac Tunis (Belkir, 1978), Chott el Jend (Belkir, 1997)
Zambie	Lac Bangweoulou
Madagascar	Beaucoup de petits lacs près de Toliara (Nguyen Kim Ngam, 1994)
Asie	
Inde	Lac Lonar (Damle, 1978), un réservoir près de Madurai (Bai, 1984), un réservoir près de Calcutta (Biswas), Lac Nagpur (Pargaonkar, 1981)

Myanmar	Lacs Twyn Taung, Twyn Ma et Taung Pyank (Min Thein, 1984)
Sri Lanka	Lac Beira
Pakistan	Mares près de Lahore (Ghose, 1924) (Fox, 1980)
Thaïlande	Lacs d'effluents d'une usine de tapioca, province de Radburi, 80 km au S.O. de Bangkok (Tanticharoen, 1985)
Azerbaïdjan	(Woronichin, 1924)
Amérique du sud	
Pérou	Lac Huacachina, près d'Ica, maintenant rempli d'eau douce, il ne contient plus de spiruline. Lac Orovilca (Lopez, 1980), maintenant asséché. Lac Ventanilla, sur la côte près de Lima (Figueroa, 1987) : on n'en trouve plus actuellement. Réservoir d'eau près de Paracas (Fuentes et al. 1993)
Mexique	Lac Texcoco (David, 1976), Lac Cratère (Durand-Chastel, 1990)
Uruguay	Montevideo, 1884, signalé par Arechavaleta in Wittrock, Nordstedt
Pérou	trouvé en association avec Cladophora près de l'île d'Amantani dans le lac Titicaca (Fox, 1993), spécimen de Cladophora de Gilles Planchon & Rosario Fuentes
Equateur	Lac Quilotoa : cratère diamètre 1 kilomètre (Yann Leroux, 1998)
Amérique du nord	
Californie	Oakland, Key Route Power House (Gardner, 1917) ; Del Mar Beach (Lewin, 1969) Un moulin à huile (Knutsen, 1994)
Haïti	Lac Gonâve (Pierre, 1986)
République Dominicaine	Lac Enriquillo (Durand Chastel, 1993)
Europe	
France	Camargue (Planchon et al. 1994)
Hongrie	(Kiss, 1957)
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)	
Ethiopie	Lac Abiata
Kenya	Lac Rodolphe, Lac Hannington
Tanzanie	Lac Manyara, Lac Rukua
Zambie	Lac Mweru
Botswana	Makgadikgadi Sait Pans
Namibie	Etosha Sait Pan
Afrique du Sud	État Libre d'orange, près de Vaaldam

Bolivie	Lacs Colorado, Poopo, Chalviri, Salar d'Uyuni
Chili	Aguas Calientes, Lagunas Brava, Lac Vilama, Salar de Surire
Mauritanie	Côte sud
Inde	Rann of Kutch, Gujarat
Madagascar	Côte ouest

Chapitre II. Production de la spiruline

Chapitre II. Production de la spiruline

Spirulina platensis, plus couramment appelée spiruline, est une cyanobactérie faisant partie des plus anciennes formes de vie connues sur terre. Cette algue bleu-vert filamenteuse prolifère facilement dans les lacs alcalins et eaux saumâtres du monde entier. Déjà au 16^{ème} siècle, les peuples Aztèques la consommaient dans leur alimentation courante.

Depuis plusieurs années, elle est cultivée artisanalement dans les pays en développement.

Aujourd'hui, elle fait l'objet d'une culture intensive dans les pays développés. Des fermes industrielles modernes de plusieurs hectares exploitent cette cyanobactérie et commercialisent de nombreux compléments alimentaires vantant les mérites de l'algue aux milles vertus.

Pour cultiver la spiruline, il faut lui recréer des conditions proches de son environnement naturel ; ainsi, elle se multiplie rapidement (plus de 25 % par jour) et la concentration en algues se densifie (Gilles et Rosorio, 2011).

La culture de la spiruline demeure une activité très délicate. Elle nécessite beaucoup de précautions dont entre autres : sa réalisation dans une enceinte bien protégée, la manipulation du milieu avec des comportements hygiéniques très stricts ; un suivi rigoureux des différents facteurs pouvant influencer le développement de l'algue cultivée (Zongo et *al.*, 2008).

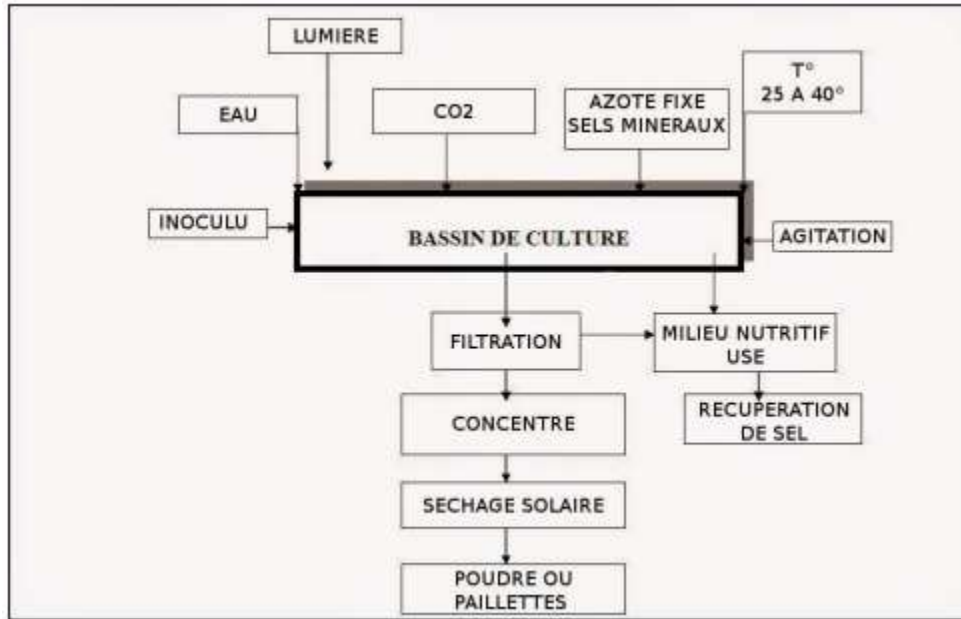
En fonction de la surface totale d'exploitation des bassins et des moyens technologiques utilisés, on distingue la culture artisanale et la culture industrielle (Jourdan, 2006).

II.1. Cultures

Consiste à construire des bassins et un réservoir en béton près d'un lac (figure 4). Cette méthode nécessite le remplissage du réservoir par de l'eau pompée du lac puis passe par gravité dans un filtre à sable avant d'arriver dans les bassins de culture de spiruline. Ce système permet d'obtenir un produit de haute qualité pour la consommation humaine (filtration avec filtre de 50 μm avant l'arrivée dans les bassins) et également une récolte d'algues moins pure (filtre 150 μm), utilisable pour l'aviculture ou l'aquaculture (Scheldeman *et al.* 1999). Cette culture dépend de plusieurs facteurs :

II.1.1. Milieu de culture

Le milieu de vie c'est l'habitat de la spiruline comme les plantes sont plus adaptées à un type de sol qu'à autre, comme certain poisson et algues préfèrent vivre en eaux douces au salées, la spiruline vit dans les eaux salées (2 fois moins que la mer elle doit être entre 15 à 20 g/l) et alcalines (pH de 8 à 11). Ce milieu lui est spécifique, il ne permet pas la contamination par d'autre algues, bactérie pathogènes, prédateurs, etc. (Planchon, *et al.*, 2014).



(Source : Louvel Soizic, 2019).

Fig.5. processus de production de la spiruline

La spiruline, hoirs celle trouvée naturellement peut être cultivée dans des milieux de culture spécifiques ; le milieu standard de Zarrouk, très souvent cité et servant de référence, mais pas très économique, est fabriqué à partir d'eau distillée et contient, en g/litre : $\text{NaHCO}_3 = 16,8$; $\text{K}_2\text{HPO}_4 = 0,5$; $\text{NaNO}_3 = 2,5$; $\text{K}_2\text{SO}_4 = 1,0$; $\text{NaCl} = 1,0$; $\text{MgSO}_4, 7 \text{H}_2\text{O} = 0,2$; $\text{CaCl}_2 = 0,04$; $\text{FeSO}_4, 7 \text{H}_2\text{O} = 0,01$; $\text{EDTA} = 0,08$; « solution A5 » = 1,0; « solution B6 » = 1,0.

Composition de la « solution A5 », en g/l: $\text{H}_3\text{BO}_3 = 2,86$; $\text{MnCl}_2, 4 \text{H}_2\text{O} = 1,81$; $\text{ZnSO}_4, 7 \text{H}_2\text{O} = 0,222$; $\text{CuSO}_4, 5 \text{H}_2\text{O} = 0,079$; $\text{MoO}_3 = 0,015$.

Composition de la « solution B6 », en g/l: $\text{NH}_4\text{VO}_3 = 0,02296$; $\text{K}_2\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_4, 24 \text{H}_2\text{O} = 0,096$; $\text{NiSO}_4, 7 \text{H}_2\text{O} = 0,04785$; $\text{Na}_2\text{WO}_4, 2 \text{H}_2\text{O} = 0,01794$; $\text{Ti}_2(\text{SO}_4)_3 = 0,04$; $\text{Co}(\text{NO}_3)_2, 6 \text{H}_2\text{O} = 0,04398$.

On peut remarquer que le produit de solubilité du phosphate tricalcique est très largement dépassé dans cette formule (Jourdan, 2006).

II.1.2. Température

La Spiruline est un micro-organisme thermophile. Elle pousse idéalement lorsque la température du milieu de culture est de 35°C à 40°C (Richmond 1986 ; Fox, 1999 ; Jourdan, 2006). Des températures supérieures à 40°C ne lui convient pas, et, elle meurt lorsqu'elle est

exposée à 43 °C. Par ailleurs, à 20°C, sa croissance est pratiquement nulle (Fox, 1999). La température est un facteur influence sur la croissance de la spiruline.

II.1.3. pH

La croissance optimale de la spiruline est obtenue pour un pH de 8 à 11,5 (Saggai et *al.* 2015). 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).

Il faut noter aussi que la consommation de CO₂ par les algues au cours de la photosynthèse va principalement se traduire par une augmentation du pH. Il est bien sûr que l'augmentation de la température engendre une faible concentration de CO₂ dissous, et plus la concentration est faible, plus le pH est haut (Saggai et *al.*, 2015).

II.1.4. Lumière

Selon Fox (1999), il est nécessaire pour la photosynthèse, quand on diminue l'éclairement, on diminue aussi la photosynthèse totale. La spiruline exposée a un fort ensoleillement (120000 lux) est sujette de photolyse. Pour obtenir la meilleure production d'une culture, il faut une lumière juste au-dessous du seuil de photolyse, deux conditions sont nécessaires pour la croissance de la spirulina :

- 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.

II.1.5. Salinité

La salinité des milieux de culture favorise la croissance de la spiruline. La salinité complémentaire est apportée par les différents engrais et du sel pour utiliser n'en contenant pas pour éviter un excès de boues de sel minéraux insoluble.

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

II.1.6. 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).

II.1.7. 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).

II.1.8. 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* " (figure 5): 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).



(Source : wiki.lowtechlab.org, consulté le 09/10/2020)

Fig. 6. Disque de Secchi

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 (Flaquet, 1996).

II.1.9. Récolte

Il vaut mieux récolter le matin car la teneur de la spiruline en protéines y est généralement plus élevée que le soir, mais aussi pour d'autres raisons : chaleur excessive ensuite, nécessité de mettre la récolte à sécher dès que possible (surtout en cas de séchage solaire si le beau temps n'est pas assuré l'après-midi). Par temps couvert cette obligation de récolte tôt le matin est évidemment moins impérieuse, et par beau temps on peut toujours ombrer le filtre. Quel que soit le temps, si l'on opère en plein air, il faut couvrir le filtre pour éviter que la biomasse récoltée ne se dégrade et ne se salisse (Jourdan, 2006).

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).



(Source : <https://www.youtube.com/watch?v=QVULFw7fhtw> ; consulté 08/10/2020)

Fig. 7. Récolte de la spiruline.

La récolte consiste à filtrer une partie de la culture sur une toile fine (maille 25 à 50 μ) (figure 7), en recyclant le filtrat dans le bassin, directement ou à travers un système de purification (filtre à sable, décantation, oxydation biologique). La culture est envoyée au filtre à travers un tamis de maille 300 μ destiné à intercepter les corps étrangers tels qu'insectes, larves, feuilles, boues ou grumeaux de spirulines. Un tamis de maille plus fine peut être nécessaire pour arrêter d'éventuels rotifères (l'ouverture de maille est choisie pour ne pas arrêter trop de spirulines). Après arrêt de l'envoi de culture sur le filtre, on laisse égoutter, puis on rassemble la pâte verte obtenue, dite "biomasse". La biomasse de spirulines contenant moins de 75 % de spirulines droites et provenant d'une culture en bon état, de pH et teneur en ammonium pas trop élevés, se filtre facilement et s'essore facilement par pressage. Une toile de filtre en monofilaments polyamide (Nylon) ou polyester (Tergal) est préférable à une toile en coton parce qu'elle facilite le décollement de la biomasse récoltée et se lave ensuite plus facilement (Jourdan, 2006).

II.1.10. Séchage

Le séchage est le seul moyen sûr de conserver et de distribuer la spiruline sans chaîne de froid.

Dans la production artisanale, au contraire, ce sont les filaments de spiruline entiers que l'on sèche : le temps de séchage est plus long, mais l'intérieur des cellules n'est pas soumis au contact direct des gaz chauds. Si la spiruline pressée ne peut être séchée de suite, il faut la conserver en récipient fermé au réfrigérateur bien froid et pas trop longtemps (sinon elle

dégage une odeur désagréable lors de l'extrusion) ; attention à ne pas la congeler, et à éviter les retombées de gouttes d'eau condensée sur la biomasse en cours de stockage. En chambre froide à 1°C la biomasse peut se conserver jusqu'à une semaine. La biomasse lavée ne peut se conserver, même au réfrigérateur (Jourdan, 2006).

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).

Dans l'industrie la spiruline est classiquement séchée par « atomisation » (spraydrying), dans un courant de gaz de combustion à très haute température mais pendant un temps très court. Pour cela les filaments doivent être préalablement réduits en bouillie pour casser leur membrane : c'est en fait le jus de spiruline broyée que l'on sèche. A moins que le gaz de séchage ne soit très pauvre en oxygène, le spray-drying risque fort d'altérer le produit (Jourdan, 2006).

II.1.11. Broyage

La spiruline bien séchée est craquante, se détache toute seule du support de séchage et se laisse facilement piler ou broyer au moulin à café en une poudre plus ou moins fine selon le goût de chacun. La spiruline doit contenir moins de 9 % d'eau pour bien se conserver (Jourdan,2006).

II.1.12. Conditionnement

La spiruline sèche peut se conserver longtemps sans perdre trop de ses qualités à condition d'être stockée en sachets bien remplis et étanches, à l'abri de la lumière, de l'air, et des fortes chaleurs. Des sachets en plastique aluminisés multicouches,thermoscellables, conviennent très bien, il est préférable de l'emballée sous vide à une température inférieure à 30°C, dans ce cas le produit peut se conserver cinq ans. Si l'on ne peut pas sceller sous vide, l'absorption de l'oxygène restant dans le sachet convenablement scellé provoquera souvent sa mise en "sous vide" spontanée en quelques jours (Jourdan, 2006).

II.1.13. Tests avant la mise sur le marché

Pour une spiruline de qualité, il faut du personnel respectant les normes d'hygiène et de qualité de type ISO et HACCP à toutes les phases de la chaîne : ensemencement,

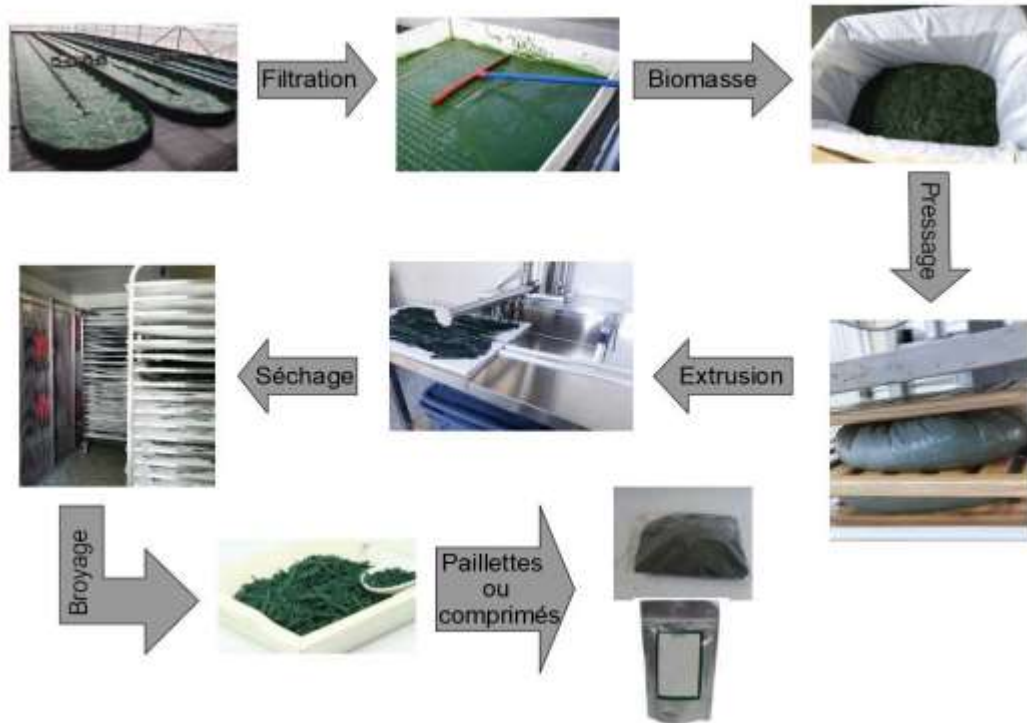
maturation, récolte, séchage, conditionnement avec une surveillance et une traçabilité continue et optimale.

Il existe des normes de qualité et de sécurité encadrant la vente de spiruline, normes qui garantissent l'origine, la conformité les techniques de récolte, de séchage et de conditionnement, Il est recommandé de faire des tests microbiologiques, de composition chimique, un contrôle du métaux lourds et la recherche de la présence de pesticides et de matières étrangers (Dupire, 2011).

II.2. Cultures industrielles

Les recherches concernant le développement du genre *Arthrospira* en milieu naturel et en milieux contrôlés, qui ont permis l'élaboration de protocoles visant à optimiser la culture des spirulines de l'échelle familiale à l'échelle industrielle. La production industrielle est principalement commercialisée en tant que complément alimentaire "de confort" dans les pays de l'hémisphère Nord. Les installations industrielles de production de spiruline sont pensées par rapport à un ensemble de normes sanitaires et des conditions environnementales très saines : la qualité de l'eau, de l'air et de la nourriture. Les technologies utilisées pour la culture industrielle sont issues de la recherche scientifique, dans le but de maximiser les rendements de production durant toute l'année même dans des climats tempérés qui sont trop froids pour envisager des cultures en plein air, les chercheurs ont étudié, durant ces 20 dernières années, d'autres systèmes, et en particulier la production en photobioréacteurs. De plus, la surface unitaire et la surface totale des bassins de culture sont nettement plus importantes dans le cadre des grosses exploitations industrielles, par rapport aux exploitations artisanales. Concernant l'agitation du milieu de culture, du fait de la forme des bassins industriels, le brassage s'effectue toujours mécaniquement, grâce à de grandes roues à aubes. Le séchage industriel se fait par pulvérisation dans l'air chaud (spray-drying= atomisation), principale méthode actuel (Cruchot, 2008).

Le développement de la production de spiruline devra s'accompagner de la mise au point de techniques de transformation à l'échelon artisanal voire semi-industriel, mais également de la mise au point de recettes culinaires enrichies à la spiruline au grand bénéfice des groupes vulnérables de nos pays (Sall et *al.*1999).

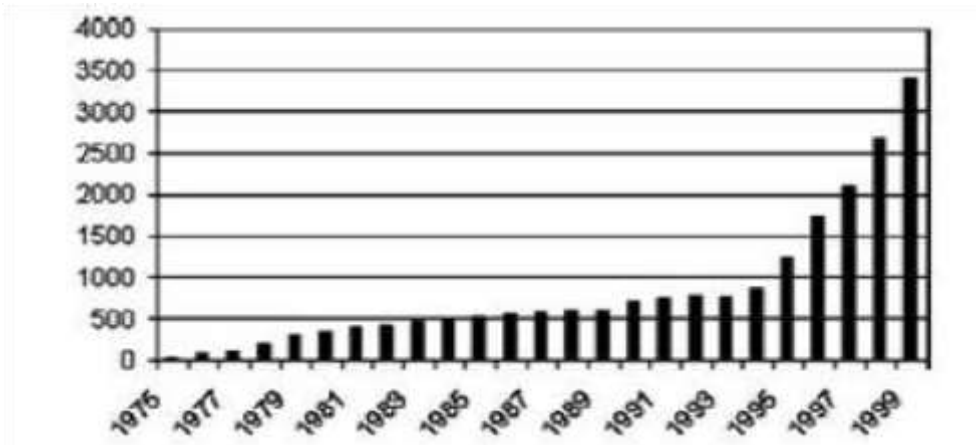


(Source : Louvel Soizic, 2019).

Fig.8. Les différentes étapes de production

II.3. Production mondiale et régionale

La culture de la micro-algue ne nécessite ni traitement, ni cuisson, n'entraîne aucune pollution donc il est difficile d'obtenir des renseignements permettant de connaître la production mondiale actuelle et les coûts de la spiruline, une étude réalisée en 2000 par le bureau d'étude Tractebel Consult en association avec le Centre Universitaire de Biotechnologie Algale (CUBIA), Belgique montre que la production mondiale a régulièrement augmenté surtout depuis 1995, de 1400T en 1995 à 3500T en 2000, elle est supérieure à 4000T (figure 7).



(Source : Pulz et al.2004)

Fig. 9. Production mondiale de Spiruline entre 1975 et 1999 en tons (1 tons = 1,016 tonnes)

Aujourd’hui. Les Etats-Unis détiennent 50% de la production mondiale. Deux pays seulement en Europe produisent de la spiruline ; il s’agit de la France et de la Hongrie. En Algérie, la production de la Spiruline reste très faible. A notre connaissance il existe quelques fermes de culture artisanale tel que : la ferme de M. Hiri à Tamanrasset et la ferme de M. Redouane à Oran (Hocini, 2017).

La notoriété de la spiruline ne cesse de croître et se limite de moins en moins à quelques cercles d’initiés comme c’était encore le cas il y a 10 ans. (Rappel : la ration journalière est de l’ordre de 5 grammes pour un adulte, rien à voir donc avec les volumes des grandes céréales ...), de plus, certains organismes internationaux s’intéressent désormais à la spiruline : la FAO par exemple a édité un rapport en 2008 (« *A review on culture, production and use of spirulina as food for humans and feeds for domestic animals and fish* ») confirmant les importantes potentialités de la spiruline.

Chapitre III. Composition de la spiruline

Chapitre III. Composition de la spiruline

Les différentes études réalisées afin de déterminer de façon précise les teneurs en nutriments et micronutriments de la spiruline, montrent des écarts assez conséquents, cela vient du fait qu'il existe différentes souches de spirulines, et la principale raison invoquée par les chercheurs, est que les différentes méthodes de culture, récolte, séchage et conservation des échantillons influencent davantage les écarts de composition biochimique. C'est pourquoi Toutes les spirulines proposées sur le marché mondial ne sont pas exactement identiques sur le plan de leur composition nutritionnelle (Falquet, 2006). La plupart des études des constituants de la Spiruline ont été réalisées sur *Spirulina platensis* (connue aussi sous l'appellation de *Arthrospira platensis* ou *S. geitler*). Cette espèce sert de référence car sa composition est relativement constante même si elle varie selon la souche, les conditions de culture et le mode de conditionnement (Charpy et al. 2008).

III.1. Protéines

Les protéines sont les molécules organiques les plus abondantes dans le corps humain responsables de la structure et de la constitution chimique des individus sous forme d'enzymes, d'hormones, d'anticorps, réparant les tissus, et essentiels à l'équilibre acidobasique. 20 acides aminés sont à la base des protéines, le corps étant capable d'en fabriquer 12, les 8 autres étant considérés comme essentiels et doivent être apportés par l'alimentation. La spiruline contient ces 8 acides aminés essentiels en proportions intéressantes et directement assimilables. Elle possède 10 à 11% de la masse humide, et 50 à 70 % de son poids sec en protéines avec des variations de 10 à 15 % selon le moment de la récolte. Plus la luminosité est élevée, plus le pourcentage en protéines est élevé.

Les acides aminés essentiels présents représentent 47 % du poids total des protéines. La Spiruline possède la plupart des acides aminés dont les acides aminés essentiels que sont l'isoleucine (Ile), la leucine (Leu), la lysine (Lys), la méthionine (Met), la phénylalanine (Phe), la thréonine (Thr), le tryptophane (Trp) et la valine (Val). Les plus fortes teneurs sont celles de la leucine, la valine, et l'isoleucine (tableau 03). Les acides aminés les moins représentés sont le tryptophane et ceux soufrés (méthionine, cystéine) ainsi que d'autres non-soufrés (tryptophane, lysine et l'histidine), essentiels chez l'enfant, sont peu abondants, ce qui

relativise sa richesse protéique (Clément *et al.* 1967 ; Bujard *et al.* 1970; AFAA, 1982; Bujard *et Al.*, 1996).

Tableau 3. Pourcentage moyen des acides aminés de *Arthrospira platensis* (Goulamabasse, 2018).

Acide aminé	Jacquet (1974)	Clément (1975)	Fox (1999)
Acides aminés essentiels			
Isoleucine	5.60	6.40	5.98
Leucine	8.00	9.00	8.71
Lysine	4.20	4.80	5.28
Méthionine	2.25	2.60	2.85
Phénylalanine	4.40	4.60	5.09
Thréonine	4.70	5.50	5.58
Tryptophane	1.00	1.60	1.48
Valine	5.70	6.90	7.72
Acides aminés non essentiels			
Alanine	7.25	7.90	8.24
Arginine	6.60	6.70	7.92
Acides aspartique	9.30	9.20	9.50
Cystéine	0.95	0.90	0.93
Acide glutamique	/	12.90	13.20
Glycine	4.80	5.00	5.07
Histidine	1.60	1.60	1.50
Proline	3.60	3.90	4.32
Sérine	5.00	5.60	5.46
Tyrosine	4.30	4.90	/

Concernant les protéines, une notion importante est l'utilisation protéique nette (NPU) déterminée par la digestibilité, et calculée à partir du pourcentage d'azote absorbé. La paroi cellulaire de la spiruline étant fragile car ne contenant pas de cellulose, la biodisponibilité des nutriments est optimale. Il n'est donc pas nécessaire de cuire ou de faire un traitement particulier pour rendre les protéines accessibles. Au bout de 18 h, 85 % des protéines sont digérées et assimilées. La NPU de la spiruline (83-90%) est d'autant plus intéressante lorsqu'elle est comparée à celle des lentilles (30 %), de la viande de bœuf (15 %) ou du lait de vache (12 %) (Dupire, 2011).

La FAO et l'OMS préconise un apport minimal en protéines de 0,57 g/kg/j soit 42 g pour un adulte de 75 kg. 10 g de spiruline n'apporte finalement que peu de protéines (7 g) sur les 42 nécessaires mais l'apport qualitatif, la composition en acides aminés essentiels est plus importante que l'apport quantitatif. La spiruline contient des acides nucléiques (4,2 à 6 % du poids sec) (30 % ADN et 70 % ARN) qui en se dégradant produisent de l'acide urique, cet acide urique pouvant entraîner des calculs rénaux ou des crises de goutte, la spiruline est à utiliser avec précaution chez les patients ayant déjà fait une crise de goutte. Même s'il faudrait 80 g de spiruline pour atteindre 4 g d'acides nucléiques, la dose maximale tolérable à long terme (Charpy et *al.* 2008).

III.2. Lipides

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

Les lipides représentent généralement de 4.9 à 8% du poids sec de la Spiruline mais ce pourcentage peut atteindre 11% (Charpy et *al.*, 2008). Ces lipides totaux peuvent être séparés en une fraction saponifiable (83%) Et une fraction insaponifiable (17%), contenant essentiellement des paraffines, des pigments, des alcools terpéniques et des stérols (Clément, 1975; Fox, 1999).

III.2.1. La fraction insaponifiable

La fraction insaponifiable de la spiruline représente 1,1 à 1,3% de la matière. Elle est constituée de stérols, de terpènes, de Paraffines (hydrocarbures saturés à longues chaînes) , et de pigments (Falquet et Humi, 2006 ; Charpy et *al.*, 2008).

- La quantité de stérols (dont le cholestérol) retrouvée dans la spiruline est très faible, variant entre 0 à 0,015% de son poids sec.
- Les alcools terpéniques représentent 5 à 10% de l'insaponifiable.
- Enfin, les hydrocarbures saturés (paraffines) représentent entre 0,1 et 0,3% de la spiruline sèche, avec majoritairement du n-heptadécane pouvant dans certaines conditions être toxique (notons qu'on en retrouve dans certaines levures alimentaires à hauteur de 0,1 à 0,5%) (Charpy et *al.*, 2008).

III.2.2. La fraction saponifiable

Elle est essentiellement composée de monogalactosyl diglycéride et de digalactosyl diglycéride (23%), de sulfoquinovosyl diglycéride (5%) et de phosphatidyl glycérol (25,9%). Les triglycérides ne sont présents qu'à de très faibles taux (0,3%). La phosphatidyl choline, la phosphatidyl éthanolamine et le phosphatidyl inositol ne sont pas présents en quantité appréciable. Il est à noter que 4,6% de phospholipides sont encore indéfinis (Charpy et *al.*, 2008).

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

III.2.3. Les acides gras

Les acides gras font partie intégrante des lipides qui sont des nutriments indispensables au système nerveux, système cardiovasculaire et à la peau. Ils jouent un rôle énergétique et constituent au maintien de la chaleur corporelle. De plus, ils véhiculent les vitamines liposolubles (A, D, E, K) et contribuent à leur absorption.

La spiruline est considérée comme l'une des meilleures sources alimentaires connues d'acide γ -linoléique, après le lait humain et quelques huiles végétales peu courantes, fort chères et

non chauffées (huiles d'onagre, de bourrache, de pépin de cassis et de chanvre) (Cruchot, 2008).

La composition des principaux acides gras de trois espèces de spiruline (Tableau 4) révèle la présence d'une forte concentration en acides gras essentiels (acides gras insaturés C18). Ces acides gras incluent les oméga-3 et des oméga-6 qui sont qualifiés d'essentiels. Les acides gras oméga-3 et oméga-6 de la spiruline préviendraient l'accumulation de cholestérol dans l'organisme.

Le contenu en acide gras de la spiruline peut être modifié suivant les conditions de culture (Colla et al. 2004).

Tableau 4. Composition en pourcentage des principaux acides gras de trois espèces de spiruline (Goulamabasse, 2018).

Acides gras	<i>Spirulina pacifica</i>	<i>Spirulina maxima</i>	<i>Spirulina platensis</i>
Palmitique (16 :0)	44.2	63.0	25.8
Palmitoléique (16 :1) Oméga - 6	4.4	2.0	3.8
Stéarique (18 :0)	Traces	1.0	1.7
Oléique (18 :1) oméga-6	0.4	4.0	16.6
Linoléique (18 :2) oméga -6	24.3	13.0	40.1
Gamma-linolénique (18 :3) oméga -6	22.1	13.0	40.1
Alpha linoléique (18 :3) oméga -3	Traces	Traces	Traces

III.3. Glucides

Les glucides constituent 13.6 à 25 % de la matière sèche des spirulines (Fox, 1999 ; Falquet et Hurni, 2006). Les parois cellulaires des spirulines s'apparentent à celles des

bactéries Gram positive puisqu'elles sont formées de glucosamines et d'acide muramique associés à des peptides.

Parmi les glucides de la spiruline, plusieurs polysaccharides ont été étudiés *in vitro* pour leurs activités biologiques. Ainsi, le Calcium-*spirulan* ou le Sodium-*spirulan* (polysaccharides sulfatés chélatés à un atome de calcium ou de sodium) ont fait l'objet d'études scientifiques *in vitro* pour leur propriétés anticoagulantes, antivirales et immunostimulantes, et l'immulina, polysaccharide de très haut poids moléculaire (environ 1 million de daltons) semble lui aussi stimuler l'immunité (Vicente, 2008).

III.4. Minéraux

III.4.1. Les oligoéléments

Les oligoéléments ou éléments traces présents dans la spiruline sont le fer, le zinc, le cuivre, le sélénium, l'iode, le fluor, le chrome, le calcium et magnésium, les autres éléments, en quantité plus significative, sont considérés comme des minéraux (Avino et *al.*, 2000; Cruchot, 2008).

D'après Falquet et Hurni (2006), La spiruline contient une importante quantité de fer (580-1800 mg/kg). Cette différence s'explique par la possibilité d'enrichissement du milieu de culture en fer. Elle surpasse largement les céréales complètes considérées comme l'une des meilleures sources végétales de fer. Les sources végétales de fer ont une absorption limitée liée à la présence de phytates et d'oxalates qui empêchent la métabolisation du fer. Le fer contenu dans la spiruline quant à lui possède une biodisponibilité élevée, son absorption et le taux de ferritine après digestion étant plus importants que celui de la viande.

Le zinc est considéré comme un micronutriment majeur dans la lutte contre la malnutrition. Sans supplémentation du milieu de culture, la quantité de zinc contenue dans la spiruline est négligeable (21 à 40 µg). La spiruline ne constitue pas une bonne source de zinc. De plus, la biodisponibilité du zinc, tout comme le fer, dépend de la composition du repas. La présence de tanins ou de phytates réduit fortement son absorption (Charpy et *al.*, 2008).

La spiruline peut être considérée comme une excellente source alimentaire de magnésium: elle en est naturellement riche, entre autre par sa teneur en chlorophylle, et ce magnésium a été démontré biodisponible pour l'homme. Il faut souligner que la carence en magnésium tend aussi à entraîner une carence en potassium, ce dernier n'étant alors plus absorbé par l'organisme. La spiruline qui est à la fois riche en magnésium et en potassium

semble (tableau 5), là encore, parfaitement indiquée dans les formules de renutrition (Falquet et Hurni, 2006).

Le calcium et le phosphore, sont présents en quantités comparables à celles trouvées dans le lait. Leurs quantités étant équilibrées, ils permettent un maintien de l'état osseux en réduisant le risque de décalcification (Falquet et Hurni, 2006 ; Cruchot, 2008).

Tableau 5. Les minéraux et oligo-éléments de la spiruline en mg/Kg (Falquet, 1996).

Minéraux	Minéraux Teneur de la spiruline (mg/kg)
Calcium	1300 –14000
Phosphore	6700 –9000
Magnésium	2000 –2900
Fer	580 –1800
Zinc	21-40
Cuivre	8 –10
Chrome	2.8
Manganèse	25 –37
Sodium	4500
Potassium	6400 -15400
Sélénium	0.01-50

Concernant l'iode, il est possible d'obtenir des souches de spiruline capables de la fixer (0-14 µg, constituant au moins 8% des AJR). Mais les sels d'iode sont onéreux et la spiruline ne semble pas la concentrer activement (Charpy et *al.*, 2008). La carence en iode provoque des troubles irréversibles du développement. Le besoin journalier en iode d'un enfant de 6 mois à 3 ans est de 130 à 90 µg (Falquet et Hurni, 2006).

Des enrichissements dans le milieu de culture en Zn, Fe, Se peuvent fortement augmenter la teneur en ces minéraux de la spiruline. Il est même possible d'enrichir la spiruline en acides gras (Quoc et *al.*, 1994).

III.4.2. Métaux lourds

Les taux de métaux lourds doivent être contrôlés et les plus bas possible. Il ya une douzaine de métaux sont reconnus comme essentiels pour l'organisme humain (Na, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, Cr, Ni, Co, Mo, V). A forte dose certains de ces éléments essentiels sont toxiques (Cr, Ni, Co, Mn, V). Seuls quelques métaux sont considérés comme purement toxiques (Hg, Bi, Be, Ga, Tl, Ra, U...).

La spiruline est un puissant chélateur de métaux lourds, donc il faut vérifier la provenance de l'algue, doser les taux de ses métaux lourds, et de vérifier que l'eau de culture ne soit pas contaminée.

La spiruline, comme toute bactérie élevée en milieu contaminé en métaux lourds, a montré une forte capacité à fixer certains polycations, parmi lesquels le cadmium, le plomb, le chrome et le cuivre. D'un point de vue toxicologique, cette propriété pourrait s'avérer dangereuse si l'alcalinité élevée des milieux de culture de la spiruline ne limitait fortement la solubilité de la plupart des cations métalliques.

Généralement les fortes teneurs en métaux lourds n'ont été observées que pour les spirulines récoltées en milieu naturel, milieu pouvant être contaminé et où un contrôle de la teneur en contaminant est difficile. A l'inverse, les spirulines élevées en milieu artificiel présentent des valeurs en métaux lourds très faibles. La toxicité des spirulines d'élevage semble de ce fait inexistante (Falquet et Hurni, 2006).

Donc il faut mettre en place des systèmes de traçabilité pour s'assurer que de la spiruline provenant de tout horizon soit exempte de toute toxicité. Le système de surveillance des contaminations contenu dans les aliments est crucial pour protéger les consommateurs.

III.5. Vitamines

Les vitamines sont des composés organiques qui agissent en petites quantités et ayant un rôle dans le développement, le fonctionnement et l'entretien de l'organisme. Hormis la vitamine D qui est synthétisée au niveau de la peau, les vitamines doivent être apportées par l'alimentation en quantité minimales, quelques milligrammes voire microgrammes par jour.

Selon Pierlovisi (2008), La spiruline est très riche en vitamines du groupe B, notamment en vitamine B12 puisqu'elle en contient 4 fois plus que le foie de veau. Même si la biodisponibilité de cette vitamine B12 n'est pas clairement établie (seulement 17 % serait absorbée et donc active chez l'Homme), la spiruline demeure une source exceptionnellement

élevée pour un végétal. Elle est riche aussi en vitamine B1 (Belay, 1997; Sall et *al.*, 1999; Cruchot, 2008).

D'autre part, elle se distingue par sa richesse en β -carotène (jusqu'à 80 % des caroténoïdes totaux) convertible chez l'homme en vitamine A. L'absence de vitamine A libre permet d'éviter tout risque d'hypervitaminose A puisque l'accumulation de β -carotène, à l'inverse de celle de rétinol, n'est pas toxique. La vitamine E est retrouvée à des taux comparables aux germes de blé (Belay, 1997; Sall et *al.*, 1999).

Les vitamines A et E (tableau 6), connues pour leurs propriétés antioxydantes, ont un intérêt biologique chez l'homme et assurent aussi une bonne conservation d'autres constituants de la spiruline (acides gras...). Ces molécules sont cependant fragiles et leur bonne conservation dépendra de certains procédés de fabrication: ainsi, un séchage à basse température, tout comme une granulométrie grossière limitent la dégradation de ces molécules.

Tableau 6. Vitamines liposolubles contenues dans la biomasse de *Spirulina platensis* (mg/100g matière sèche) (Babadzhanov et *al.*, 2004; Sguera, 2008).

Vitamines	Quantités
B-carotène (provitamine A)	64 à 200
Tocophérol (vitamine E)	10 à 19
Vitamine D	12000U soit 0.3 mg

III.6. Pigments

La Spiruline, contient toutes sortes de pigments. Elle contient des chlorophylles dont la chlorophylle *a* (typique des végétaux), des caroténoïdes dont le principal est le β carotène et des phycobiliprotéines telles la phycocyanine et la phycoérythrine (Pierlovisi, 2007). Le tableau 7, donne les teneurs en pigments de *Spirulina platensis*.

Tableau 7. Teneurs en pigments exprimées en mg pour 10g de matière sèche de *Spirulina platensis* (Pierlovisi, 2007).

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

Les phycobiliprotéines représentent 30 % du poids sec de l'algue. Ce sont des pigments protéiques constitués d'un chromophore et d'une apoprotéine liés par une liaison covalente de type thioéther. La structure du chromophore (groupement tétrapyrrolique de type –biline), proche de celles des acides biliaires de l'organisme, est à l'origine de la bonne assimilation intestinale des phycobiliprotéines. Parmi elles, on trouve : la phycocyanine (protéine majeure de la spiruline, représentant 15 à 20 % du poids sec de l'algue) et l'allophycocyanine, pigments de couleur bleue, rares dans la nature ; la phycoérythrine et l'allophycoérythrine, pigments rouges.

Les phycobiliprotéines s'associent au niveau de la membrane externe des thylacoïdes pour former une structure macromoléculaire : le phycobilisome qui capte la lumière et la véhicule vers les photosystèmes.

La phycocyanine est responsable de la couleur caractéristique bleue de l'algue. Plusieurs études menées *in vitro* lui attribuent des propriétés anti oxydantes dont découlerait un grand nombre d'activités biologiques (anti-inflammatoire, anti-cancéreuse, antivirale, immunostimulante, inducteur de l'hématopoïèse...).

III.7. Enzymes

La spiruline contient une quantité intéressante de SOD (superoxyde dismutase) (1.000 à 4.000UI/g), une puissante enzyme anti-oxydante, à la base du système endogène de la lutte contre le stress oxydatif. La biodisponibilité de la SOD est très importante grâce à la membrane de la spiruline dépourvue de cellulose (Falquet et Hurni, 2006).

Chapitre IV. Bienfaits de la spiruline

Chapitre IV. Bienfaits de la spiruline

La spiruline, compte tenu de ses activités nutritionnelles et fonctionnelles, peut être considérée comme un aliment fonctionnel, incluant une valeur élevée en protéines (jusqu'à 70% en masse), des acides aminés et acides gras essentiels, des vitamines et des minéraux, associées à une haute digestibilité alimentaire (voir chapitre III), elle a fait ses preuves dans le cadre d'essais de réhabilitation nutritionnelle dans les pays où sévit la malnutrition. Elle serait ainsi un moyen de lutte pour éradiquer la faim dans le monde.

Dans les pays développés, son véritable essor n'est apparu qu'à partir des années 90 lors de la découverte de molécules actives comme la phycocyanine ou le calcium-spirulan. De nombreuses études leur ont reporté des activités anti oxydantes, anti-inflammatoires, anticancéreuses, antivirales ou encore des capacités hépatoprotectrices ou modulatrices de l'immunité.

Les nombreuses qualités de cette algue en font sans nul doute un aliment fonctionnel qui intéressera les industries agro-alimentaires et cosmétiques. Cependant, il est difficilement concevable que cette algue, intéresse en tant que telle, des laboratoires pharmaceutiques pour le développement d'un médicament. Ces derniers pourront néanmoins étudier le fonctionnement de ses molécules actives pour développer une molécule à activité thérapeutique ciblée.

L'ère de la nutrition-santé n'en est qu'à ses débuts, l'intérêt pour la spiruline et plus généralement pour les microalgues va rapidement croître dans les années à venir.

IV.1. Activités thérapeutiques de la spiruline

IV.1.1. Spiruline et la malnutrition

La découverte d'*Athrospira fusiformis* constituée jusqu'à 70% de protéines soit près de deux fois plus que le soja, connaît un engouement sans précédent ressenti à l'échelle mondiale qui se traduit par un développement des cultures industrielle afin de l'utiliser comme complément alimentaire (Sguera, 2008).

De par son importance nutritionnelle reconnue depuis des siècles, la spiruline ou bombe nutritionnelle est traditionnellement consommée par certaines populations. Elle fait l'objet d'une redécouverte depuis quelques années (Doumandji et *al.*, 2011).

Selon les chiffres de l'OMS, la faim et la malnutrition tuent plus que le SIDA, le paludisme et la tuberculose réunis. Elles touchent 30 % de la population mondiale et sont responsables de plus de 30 million de morts par an. Ce ne sont plus les grandes famines mais la malnutrition au quotidien qui tue. C'est un véritable problème de santé publique (Manet, 2016).

L'OMS définit la malnutrition comme l'état pathologique dû à la consommation prolongée d'une nourriture ne fournissant pas l'ensemble des éléments nécessaires à la santé (Langlade et *al.*, 2008).

La malnutrition entraîne des dommages physiques et mentaux, une augmentation de la Mortalité et de la morbidité, une sensibilité aux maladies infectieuses, une destruction de cellules hépatiques, pancréatiques et cérébrales, une fatigue empêchant une vie active.

Dans les pays en voie de développement, c'est le maigre apport en protéines qui entraîne la malnutrition. En effet les aliments végétaux ne sont que faiblement dosés en protéines (riz : 8 %, lentilles : 24 %, soja : 35 % mais spiruline : 70 %). La malnutrition est aussi caractérisée par un déficit en énergie, micronutriments et vitamines (Manet, 2016).

Une étude menée en 2006, dans un hôpital au Burkina Faso a été réalisée sur un groupe de 550 individus. Les participants, des enfants âgés de moins de 5 ans en état de dénutrition avanca, étaient pour 455 d'entre eux atteints de marasme sévère, 57 de marasme de sévérité moyenne et 38 de kwashiorkor marasmique.

Pendant cette étude, qui a duré 8 semaines, ces enfants ont été divisés en 4 groupes, chacun recevant une alimentation différente :

- 170 récurent du Misola. (Le Misola est une sorte de bouillon composé d'un mélange de 60% de millet, 20% de soja, 10% d'arachide, 9% de sucre et 1% de sel) ;
- 170 récurent de la spiruline ajoutée au repas traditionnel ;
- 170 récurent de la spiruline et du Misola ;
- Le groupe témoin était compose de 40 enfants qui ne récurent que la nourriture traditionnelle.

L'équivalence énergétique de ces différents repas était respectée, chaque repas apportait en moyenne 722 à 767 kcal/j. La dose de spiruline apportée au cours de la journée était de 10 g répartie en plusieurs repas.

Le suivi des paramètres anthropométriques, équivalent pour tous les groupes au début de l'étude permet d'apprécier l'évolution nutritionnelle et biologique de ces enfants.

Les changements nutritionnels entre le début et la fin de l'étude se sont améliorés chez tous les enfants mais plus significativement dans le groupe qui a reçu le mélange Misola plus Spiruline. L'amélioration correspond en une prise de poids d'environ 20 g/j dans le groupe Misola, 25 g/j dans le groupe spiruline plus nourriture traditionnelle, 34 g/j dans le groupe Misola plus spiruline et 15 g/j dans le groupe témoin.

A la fin des 8 semaines, le statut nutritionnel s'est normalisé pour la plupart des enfants, ainsi la malnutrition initiale a été mieux corrigée par l'association alimentaire Misola plus spiruline, nettement supérieur aux autres régimes alimentaires.

Les résultats de cette étude (figure 10), démontrent clairement que la spiruline ajoutée en complément des repas traditionnels ou du Misola est bénéfique pour ces enfants dénutris, avec un avantage pour la supplémentation Misola-Spiruline.



Enfant marasmique à Farendé, Togo

Le même enfant togolais 3 mois après, ayant reçu 10 grammes par jour de spiruline dans une bouillie

(Source : ISP, 2020)

Fig. 10. Photo d'un enfant dénutri ayant été traitée avec 10g/j de spiruline pendant 3 mois

Il a été démontré encore, dans environ une trentaine de centres nutritionnels, hôpitaux et dispensaires, qu'une dose de 10 grammes de matière sèche de spiruline par jour, sur une période de une à trois semaines, permettait aux victimes atteintes de la maladie de kwashiorkor, de carences de malnutrition protéinique de retrouver un état de sante normal. Ce délai de récupération est de 2 à 3 fois plus rapide qu'avec un traitement conventionnel (ISP, 2020).

A cette même dose, la spiruline peut aussi être bénéfique pour corriger l'anémie et diminuer les pertes de poids chez des enfants malnutris atteints de la maladie du SIDA (Simpore et *al.* 2005).

IV.1.2. Renforcer le système immunitaire

Le système immunitaire est la réponse de l'organisme à tous les composés reconnus comme du « non-soi » virus, bactéries, cellules cancéreuses...Il existe deux réponses immunitaires : l'immunité innée et acquise. Une partie des cellules immunitaires se trouvant dans le tractus digestif sont facilement accessibles pour stimuler l'immunité via des compléments alimentaires comme des probiotiques (Manet, 2016).

En quoi la spiruline renforce le système immunitaire ?, selon Manet, (2016) :

- Elle combat l'asthénie en apportant tous les nutriments pour permettre au système immunitaire de se reconstituer lors de convalescence ;
- Elle stimule le système immunitaire (thymus) et augmente la production de nouvelles cellules sanguines, améliore l'activité phagocytaire des macrophages et accélère la production du système humoral (anticorps et cytokines).

Il est maintenant bien établi que les apports en éléments comme les lipides essentiels, le sélénium, le zinc, influent sur le système immunitaire tant humoral que cellulaire. Des carences en zinc sont fréquemment associées à des diarrhées, à l'anorexie, à des problèmes cutanés, ou à l'infection au VIH. Plusieurs expériences positives ont été réalisées sur les animaux (Quershi et *al.*, 1996, Pascaud et *al.*, 1993, Borchers et *al.*, 2007 in Langland et *al.*, 2008). La Spiruline régulerait favorablement le système immunitaire en augmentant l'activation des macrophages, l'activité des cellules T et l'activité des cellules naturellement destructrices (NK). Ce processus permettrait la libération des gamma-interféron (IFN - γ), ce qui peut éventuellement rendre les virus inactifs. Ces actions se feraient par le biais des polysaccharides, donc on peut dire que la spiruline peut être utile en cas de convalescence,

ou de maladies infectieuses chroniques pour aider l'organisme à lutter contre les pathogènes (Manet, 2016).

IV.1.3. Activité anticoagulante

Un anticoagulant est une molécule destinée à empêcher ou à retarder la coagulation du sang. Ils préviennent les thromboses (caillots sanguins dans la circulation générale) et les embolies (caillot sanguin dans la circulation artérielle pulmonaire). Les plus connus sont l'héparine et ses dérivés et les antivitamines K (Langland et *al.*, 2008).

In vitro, l'effet de la spiruline sur la coagulation a été comparé à l'héparine et il en ressort que la spiruline inhibe l'agrégation plaquettaire (1^{ère} phase de l'hémostase) mais aussi la coagulation (2^{ème} phase), la spiruline rallonge le TP (temps prothrombine) et le TCA 65 (temps de céphaline activée) donc la voie extrinsèque et la voie intrinsèque (surtout) de la coagulation sont impliquées et plus la concentration en spiruline augmente et plus la coagulation est retardée (Loke et *al.*, 2007).

Selon, Manet (2016), les composants responsables de cet effet sont :

- La phycocyanine C augmente l'activité fibrinolytique de manière dose-dépendante, et inhibe le thromboxane A2 et la mobilisation du calcium intracellulaire.
- Le *Spirulane Calcique* Ca-Sp, il augmente l'activité antithrombinique de l'héparine cofacteur II par dix, et est aussi un activateur de la synthèse du plasminogène via l'urokinase, il a donc une très faible activité anticoagulante donc le (*Sp-Ca*) agirait en activant le cofacteur II de l'héparine, molécule qui inhibe la thrombine, donc la coagulation.

Ces études sont uniquement *in vitro* de l'effet anticoagulant sur l'homme avec des prises *per os* qui n'a pas encore été évalué. Ces essais *in vitro* mettent en garde quant à l'utilisation de la spiruline chez des personnes prenant des anticoagulants.

IV.1.4. Effet anti-âge

Le vieillissement est dû à un ensemble de facteurs : diminution de la production d'hormones, ADN endommagé, usure du corps et des cellules, présence de radicaux libres, dysfonctionnement des mitochondries, rigidité des membranes.

Or, la spiruline est un aliment anti-âge par excellence puisque elle intervient dans le processus de réparation de l'ADN, elle a un fort pouvoir antioxydant, avec les vitamines

A, les vitamines du groupe B et la vitamine E permettant ainsi la régénération de cellules, notamment des cellules cérébrales. Enfin le vieillissement est dû à l'accumulation de métaux lourds (mercure, plomb, cadmium, aluminium pour ne citer que les plus dangereux). Au niveau du système nerveux central, cette accumulation entraîne démence, dépression, troubles du sommeil, perte de mémoire, déclin cognitif. La spiruline en chélatant les métaux lourds pourrait permettre de détoxifier l'organisme et limiter ces déclin. Le sélénium, le manganèse, le cuivre et le zinc permettent de lutter contre le vieillissement cellulaire. Faire régulièrement des cures de spiruline est un moyen de prévenir du vieillissement cellulaire et permet de vieillir en meilleure santé même si aucune étude clinique n'existe (Dupire, 2011).

IV.1.5. Activité antivirale

Le groupe des cyanobactéries produit une variété de métabolites secondaires dans leur milieu de culture. Beaucoup de ces produits naturels ont des activités antibiotiques, algicide, antiviral, fongicide (Langland et al., 2008). Dès 1989, un groupe de scientifiques de la faculté de médecine d'Harvard a montré que de faibles quantités d'extraits de spiruline et notamment de son composant le calcium-spirulan, ont une action antivirale prometteuse *in vitro* permettant de réduire la réplication virale du VIH et à de plus fortes concentrations interrompent complètement sa réplication.

D'après (Langland et al., 2008), L'activité antivirale de la spiruline interviendrait selon deux mécanismes :

- Inhibition de la pénétration des virus ;
- Inhibition de la phase de réplication des virus.

IV.1.6. Activité antitumorale

Le calcium-spirulan agit par prévention de l'adhésion et de la migration des cellules tumorales vers la lame basale (Sguera, 2008).

La phycocyanine de la Spiruline induirait un mécanisme d'apoptose (autodestruction) des cellules cancéreuses. Les antioxydants contenus dans la Spiruline (β -carotène) permettraient d'inhiber à la fois l'effet mutagène et l'effet régulateur induit par les radicaux libres, freinant ainsi le développement du cancer.

La Spiruline pourrait améliorer la restauration de l'hématopoïèse chez l'homme et être ainsi utilisée comme traitement dans les thérapies anticancéreuses pour en diminuer les effets secondaires (Langland et al. 2008).

IV.1.7. Effet sur l'asthénie

D'après Dupire (2011), L'asthénie est le terme consacré chez les médecins pour désigner la fatigue. Il ne s'agit pas d'une maladie, bien sûr, mais d'un symptôme qui vous accompagne tout au long de votre vie. Elle survient par à-coups, à la suite d'un surmenage ou d'un effort prolongé ; elle se présente au décours d'une maladie infectieuse plus au moins grave, qui nécessite toujours ce que nous refusons en cette époque de pression sociale et professionnelle : la convalescence. C'est à ce moment que le corps reprend son fonctionnement habituel, car il n'a plus à se battre. Le système de défense immunitaire affaibli prend le temps de se reconstituer. Nous devons alors limiter les carences et apporter tous les nutriments nécessaires à la bonne marche de notre corps. Dans ce registre, il s'agit souvent d'affections bactériennes bruyantes ou virales (cytomégalovirus, ...).

La fatigue peut apparaître d'une façon sournoise, témoin d'une perte d'énergie inconnue, et le syndrome de fatigue chronique, la spasmophile, la fibromyalgie pointent souvent leur nez si le diagnostic est évoqué puis recherché.

Citons encore le cas de maladies de longue durée aux traitements lourds qui fatiguent le sujet en permanence : suite d'intervention, de chimiothérapie et de radiothérapie, mais aussi hépatites B et C et bien sur le sida.

Dans tous ces cas, la spiruline montre son efficacité, car elle améliore l'état général du sujet puisqu'il s'agit d'un aliment comestible complet (Dupire, 2011).

IV.2. L'accompagnement de traitements de maladies graves

Sont concernées : hépatites, cancers, mais aussi diabète insulino-dépendant et hémopathies.

Lorsqu'elle accompagne le traitement d'un diabétique, d'un cardiaque (ni sel ni sucre dans la spiruline), la prise de spiruline, bien qu'efficace, n'a pas d'effet visible sauf sur le long terme. Elle peut être prescrite au décours d'une grave intervention ou lors d'une chimiothérapie, d'une radiothérapie. Dans ce dernier cas, le patient s'épuise sous les cures prolongées de ces traitements, nécessaires mais fortement oxydants. Il manque d'abord car le traitement le fatigue, mais aussi parce qu'il a peu d'appétit. Quelques comprimés de spiruline maintiennent un état général satisfaisant pour passer ce cap difficile (Dupire, 2011).

IV.3. 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 aucuns effets négatifs. En ce qui concerne le risque aigu, là non-plus aucune donnée ne vient fixer de limite, des consommations de plus de 100 g / jour n'ont semble-t-il eu aucune conséquence particulière (Falquet, 2006).

IV.4. 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 anti-allergique semble liée à ce produit (Yang, 1997).

IV.5. Acceptabilité alimentaire

L'acceptabilité alimentaire de la spiruline a longtemps constitué un contre-argument systématique et a priori à son introduction dans les programmes nutritionnels. L'intensité de sa couleur verte et son extrême pouvoir colorant sur d'autres aliments l'empêche d'être « dissimulée » dans une préparation culinaire. D'autre part, si la spiruline fraîche ne présente pratiquement aucun arôme et aucun goût, il n'en va pas de même de la spiruline séchée (surtout si elle est réduite en poudre) : son odeur spécifique rappelle l'algue et le champignon et n'est pas du goût de tous, en tout cas dans le contexte culturel européen. Heureusement, les nombreuses expériences nutritionnelles ont permis de démontrer que l'acceptabilité alimentaire est excellente lorsque l'on s'adresse aux enfants en bas âges pour des doses de quelques grammes par jour (Sall et *al.*, 1999; Charpy et *al.*, 2004; Degbey et *al.*, 2006;) ou lorsque des formulations basées sur des aliments traditionnels sont mises à contribution (Kapoor et Mehta, 1992).

Il se trouve que certaines des régions les plus touchées par la malnutrition sont aussi celles où l'introduction de spiruline peut être le plus facilement réalisée du fait de la nature des plats traditionnels (en Afrique : sauces accompagnant les bouillies de céréales, par exemple ; en Inde, biscuits et friandises traditionnels).

La spiruline peut donc en premier lieu continuer à être distribuée sous forme de complément alimentaire, en qualité de revitalisant général, d'aide à la croissance et à l'équilibre nutritionnel, et aussi elle peut servir d'arme dans la lutte contre le vieillissement cellulaire et l'action des radicaux libres ainsi que dans une multitude d'autres actions (Girardin-Andreani, 2005).

IV.6. effet pour les animaux :

- **Complément alimentaire :** La spiruline est utilisée comme complément alimentaire chez les animaux de compagnie (chiens, chats, les chevaux, les vaches, les poules, les Poissons et les oiseaux) (Henrikson, 1994).
- **Favoriser la croissance et la fertilité :** Des études sur les poissons d'aquarium et la crevette ont montré les effets bénéfiques de *Spirulina platensis* en ce domaine (Kim *et al.* 2006).
- **Renforcer les défenses immunitaires :** La Spiruline est ajoutée aux granulés dans la nourriture des poissons d'élevage, plus souvent soumis à des infections virales ou bactériennes que les poissons sauvages, à cause de l'effet immunostimulant de *Spirulina platensis* (Watanuki *et al.* 2006).
- **Augmenter la pigmentation**
 - En aquariophilie pour accentuer la coloration des poissons d'ornement.,
 - En aquaculture pour améliorer la pigmentation des crevettes et des poissons.,
 - En agroalimentaire pour rendre les œufs et la chair de poulet plus attrayants au consommateur par les caroténoïdes qu'elle contient (Henrikson, 1994).
- **Améliorer les performances des animaux :** Elle est utilisée comme additif alimentaire pour les taureaux reproducteurs et les chevaux de course.
- **Elevage larvaire :** Elle est utilisée à hauteur de 1 à 10% de l'alimentation pour augmenter la résistance immunologique des larves (Henrikson, 1994) et utilisée aussi dans la production des proies vivantes comme l'Artémia et les daphnies.

Conclusion

Conclusion

L'or vert, l'aliment miracle, la spiruline vit dans les eaux salées deux fois moins que la mer elle doit être entre 15 à 20 g/l et alcalines (pH de 8 à 11). Elle pousse idéalement lorsque la température du milieu de culture est de 35°C à 40°C. La croissance optimale de la spiruline est obtenue pour un pH de 8 à 11,5. Très riche en nutriments.

La spiruline, cette cyanobactérie est aujourd'hui reconnue et utilisée dans les pays en voie de développement pour ses propriétés nutritionnelles pour lutter contre la malnutrition. Il est prouvé qu'une consommation régulière de spiruline permet à des enfants dénutris de suppléer aux besoins nutritionnels essentiels qu'une alimentation peu diversifiée ne peut leur apporter.

Dans les pays développés, même si la spiruline n'a suscité l'intérêt des scientifiques que tardivement, elle jouit aujourd'hui d'un intérêt grandissant grâce à ses multiples propriétés thérapeutiques. Ces effets bien qu'étant plus préventifs que curatifs, en font un complément alimentaire de choix pour prévenir la survenue de maladies tels que les maladies cardiovasculaires, les cancers ou les infections virales, mais aussi pour diminuer les effets secondaires de traitements médicamenteux lourds tels que le sont les traitements antinéoplasiques ou antirétroviraux.

Pour une fois, le terme d'aliment fonctionnel pourrait être employé à juste titre, tant le nombre et la qualité des études scientifiques portant sur la spiruline attestent de sa réelle valeur nutritionnelle et de certains effets thérapeutiques.

Au vu de toutes ces propriétés, les professionnels de l'industrie cosmétique, pharmaceutique ou agro-alimentaire, ont pris conscience de l'énorme potentiel commerciale de l'algue bleue. Pour le moment, les produits à base de spiruline sont encore peu nombreux, mais à l'heure actuelle où fleurit le concept de la nutrition-santé, il est certain que le marché des micro-algues alimentaires, avec comme chefs de files *Spirulina platensis* et *Chlorella vulgaris*, est à l'aube d'une croissance mondiale importante. Dans les années à venir, nos assiettes risquent fortement d'être remplies de micro-algues alimentaires sous une forme ou sous une autre.

Spirulina platensis apparaît comme l'aliment santé de demain. Au vu de tous ces éléments, l'algue bleue semble donner tout son sens au célèbre aphorisme d'Hippocrate : « Que ta nourriture soit ton médicament ».

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. AFAA, Association française pour l'algologie appliquée. (1982). Actes du premier symposium sur la spiruline *Spirulina Platensis* (Gom). Geitler de l'AFAA.
2. Antenna technologies. Malnutrition : Spiruline données scientifiques (2009). Disponible sur <https://www.antenna-france.org/wp-content/uploads/2014/06/spiruline-donnee-scientifiques.pdf> aquatiques- 523/ publié en 2005 modifié en 2015.
3. Aubé, J. (2014). *Structure et fonctionnement de tapis microbiens contaminés par des hydrocarbures* (Doctoral dissertation, Pau).
4. Babadzhanov A.S., Abdusamatova N., Yusupova F.M., Faizullaeva N., Mezhlumyan L.G. and Malikova M.Kh. *Chemical composition of Spirulina platensis cultivated in Uzbekistan* Chemistry of Natural Compounds. 2004 ; 40 (3) : p. 276-279.
5. Bartram, J., & Chorus, I. (1999). *Toxic cyanobacteria in water : a guide to their public health consequences, monitoring and management*. CRC Press.
6. Bujard, E., Baco, U., Mauron, J., Mottu, F., Nabholtz, A., Wuhrmann, J. J., & Clément, G. (1970). Composition and nutritive value of blue green algae (*Spirulina*) and their possible use in food formulations. In *3rd International Congress of Food Science and Technology*.
7. Charpy L., Langlade M.J. et Vicente N. *CSSD : " Les Cyanobactéries pour la Santé, la Science et le Développement"*. Colloque international. 3-6 mai 2004, pp. 1-6.
8. Charpy, L., Langlade, M. J., Alliod, R. (2008). La Spiruline peut-elle être un atout pour la santé et le développement en Afrique. *Rapport d'expertise pour le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche*.
9. Clément G., (1975). Production et constituants caractéristiques des algues *Spirulina platensis* et *S.maxima* *Ann. Nutr. aliment N29*, pp477-487.
10. Clément, G., Giddey, C. et Menzi, R. (1967). Amino Acid Composition and Nutritive Value of the Alga *Spirulina maxima*. *J. Sci. Fd. Agric.*, 18, pp 497-501.
11. Cruchot H., (2008). La Spiruline, Bilan et Perspective. Thèse docteur en pharmacie.

- Université de France-Comite, pp 332.
12. Danesi, E. D. G., Rangel-Yagui, C. D. O., Carvalho, J. C. M. D., & Sato, S. (2004). Effect of reducing the light intensity on the growth and production of chlorophyll by *Spirulina platensis*. *Biomass and Bioenergy*, 26(4), 329-335.
 13. Degbey H., Hamadou B., Oumarou H. *Evaluation de l'efficacité de la supplémentation en Spiruline du régime habituel des enfants atteints de la malnutrition sévère*. International Symposium on Cyanobacteria for Health, Science and Development. 2006. p. 104-108.
 14. Delpeuch F., Joseph A. et Cavelier C. *Consommation alimentaire et apport nutritionnel des algues bleues (Oscillatoris platensis) chez quelques populations du Kanem (Tchad)*. Annales de la Nutrition et de l'Alimentation. 1975; 29: p. 497-515.
 15. Doumandji, A., Boutekrabi, L., Saidi, N. A., Doumandji, S., Hamerouch, D., & Haouari, S. (2012). Etude de l'impact de l'incorporation de la spiruline sur les propriétés nutritionnelles, technologiques et organoleptiques du couscous artisanal. *Nat. Technol*, 6, 40-50.
 16. Dupire, J. (2011). *La spiruline: Un superaliment*. Guy Trédaniel, p151.
 17. Falquet J. et Hurni J-P. (2006). Spiruline: aspects nutritionnels. *Antenna Technologies*
 18. Farrar W-V., (1966). Techuitlatl, A Glimpse of Aztec Food Technology. *Nature*, 211,
 19. Fox, R. D. (1999). *La spiruline : technique, pratique et promesse*. France, 240p
 20. Girardin-Andréani C., (2005) *Spiruline : système sanguin, système immunitaire et cancer*. *Phytothérapie*, 4, 158-161.
 21. Goulamabasse T.R. , *La spiruline : activités thérapeutiques et son intérêt dans la lutte contre la malnutrition à Madagascar*. Thèse de doctorat en pharmacie, Université de Lille. Soutenue le, 20 juin 2018. 125p.
 22. Henrikson, (1994). *Earth food Spirulina, How this remarkable blue-green algae can transform your health and our planet*. Ronore Enterprises Inc., U.S.A.

23. Hoini M.A., 2017, Production de la Spiruline en Algérie (*Arthrospira platensis*) : Bilan et perspectives. Mémoire de master. **Université Abderrahmane MIRA-Bejaia. 48p.**
24. Hug, C., & von der Weid, D. (2011). Spirulina in the Fight Against Malnutrition. *Fondation Antenna Technologies*, Geneva, pp 30.
25. ISP. *Institution Intergouvernementale pour l'utilisation de la micro-algue Spiruline contre la malnutrition*. http://www.cisri.net/isp_02_fra.htm, page consultée le 08/10/2020.
26. Jarisoa, T., 2005, Adaptation de la spiruline du sud de madagascar a 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. 188p.
27. Jourdan J.P., (2012). Manuel de culture artisanale de spiruline : cultivez votre Spiruline, 226p.
28. Jourdan, J. P. (2006). Cultivez votre spiruline. *Edt. Antenna Technologie : 146p* <http://www.antenna.ch/documents/manuelJourdan2061.pdf>.
29. Kim. C.J, et al. (2006). Effet of *Spirulina platensis* and probiotics as feed additives on growth of shrimp *Fenneropenaeus chinensis*. *Journal of microbiology and biotechnology*.
- 30.
31. Kapoor R., Mehta U. *Iron bioavailability from Spirulina platensis, whole egg and whole wheat*. *Indian journal of experimental biology*. 1992 ; **30 (19)** : p. 904-907.
32. König C. Les algues : première lignée végétale. Disponible sur :
33. Langlade, m. J., alliod, r., & charpy, l. (2008). Utilisations de la spiruline autres que pour la malnutrition. in *colloque international «spiruline et développement»* (p. 129).
34. Loke, M. F., Lui, S. Y., Ng, B. L., Gong, M., & Ho, B. (2007). Antiadhesive property of microalgal polysaccharide extract on the binding of *Helicobacter pylori* to gastric mucin. *FEMS Immunology & Medical Microbiology*, 50(2), 231-238.

35. Manet, A. (2016). *La spiruline: indications thérapeutiques, risques sanitaires et conseils à l'officine* (Doctoral dissertation, Thèse d'exercice. Université Grenoble Alpes).
36. Nicoletti M. Microalgae Nutraceuticals. *Foods Basel Switz* 2016;5
37. 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, pp283-287.
38. Park HJ, Lee YJ et coll. (2008) A randomized double-blind, placebo-controlled study to establish the effects of *spirulina* in elderly Koreans. *Ann. Nutr. Metab.*, **52**, 8.
39. Perez R., (1997). Ces algues qui nous entourent : conception actuelle, rôle dans la biosphère, utilisations, culture. Editions IFREMER, pp16-23.
40. Pierlovisi C (2007) L'Homme et la Spiruline: Un avenir commun? Composition
41. Pierlovisi C., (2008). composition chimique de la spiruline. *In, colloque international sur la spiruline " la spiruline et le développement " formation et transformation de technologie en matière de culture de spiruline. Toliar-sud-ouest madagascar*, pp27.
42. Planchon, G., & Fuentes, C. (2014). *La spiruline pour tous: culture familiale*. Passerelle Company. pp341- 342.
43. Pulz O., Gross W. (2004). Valuable products from biotechnology of microalgae. *Applied Microbiology and Biotechnology*.
44. QUOC, K. P., Dubacq, J. P., Demandre, C., & Mazliak, P. (1994). Comparative effects of exogenous fatty acid supplementations on the lipids from the cyanobacterium *Spirulina platensis*. *Plant physiology and biochemistry (Paris)*, 32(4), 501-509.
45. Roger P.A. (2006) Les cyanobactéries : définition. Disponible sur : <http://pagespersorange.fr/cyanobactéries/pages/Introduction/definition.htm> 2006.
46. Saggai, S., Boutoutaou, D., & Manamani, R. (2015). Effet des monocouches d'Hexadecanol utilisées pour réduire l'évaporation des plans d'eau sur la spiruline (Résultats préliminaires). *Nature & Technology*, (13), 28.
47. Sall MG., Dankoko B., Badaine M., Ehu AE., et Kuakuwi N., (1999). La spiruline:une source alimentaire a promouvoir. *médecine d'Afrique noire*, 46(3), 141.

48. Sautier C., et Tremolieres J., (1976). *Food value of spirulina in humans*. Annales de la Nutrition Spirulina platensis et ses constituants : intérêts nutritionnels et activités thérapeutiques et de l'Alimentation, 30, pp 517-534.
49. Scheldeman, P., Baurain, D., Bouhy, R., Scott, M., Mühling, M., Whitton, B. 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*, 172(2), 213-222.
50. Sguera s., 2008, *spirulina platensis* et ses constituants interets nutritionnels et activites therapeutiques. Thèse de doctorat en pharmacie, universite henri poincare - nancy 1. 163p.
51. Simpure J., Zongo F., Kabore F., Dansou D., Bere A., Nikiema J-B., Pignatelli S., M Biondi D., Ruberto G., Musumeci S. *Nutrition Rehabilitation of HIV-Infected and HIV-Negative Undernourished Children Utilizing Spirulina* . Annals of Nutrition and Metabolism. 2005; **49**: p.373-380.
52. Trabelsi. L, Benouadah., Bassa.H., (2010). activités biologiques des métabolites excrètent par les cyanobactéries filamenteuse arthrospira platensis, *journal pharmacognosie*. Tunisie. pp 282.
53. Trop, M. (2009). Intérêt de la Spiruline chez les personnes vivant avec le VIH à Bangui (RCA). *Médecine Tropicale*, 69, 66-70.
54. Vicente, N. (2008). Spiruline et développement. in *colloque international «spiruline et développement»*. pp. 7.
55. Vidalo, J. L. (2008). *Spiruline: l'algue bleue de santé et de prévention*. Ed. du Dauphin.
56. Vonshak A. *Spirulina platensis (Arthrospira): physiology, cell-biology, and biotechnology*. London: Bristol, PA: Taylor & Francis; 1997.
57. Watanuki. H, Ota. K, et al. (2006). Immunostimulant effects of dietary Spirulina platensis on carp, Cyprinus carpio. *Aquaculture* 258.p 157-163.

58. Zarrouk C., (1966), Contribution à l'étude d'une cyanophycée. Influence de divers facteurs physiques et chimiques sur la croissance et la photosynthèse de *Spirulina maxima*. Thèse de doctorat, Paris.
59. Zongo F. et Zongo B., 2008. colloque international sur la spiruline «développement, 2, pp 283-287.
60. <http://spirulinafoodandfeed.com/>, consulté le 08/10/2020
61. <http://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/botanique-algues-vegetaux>
62. https://wiki.lowtechlab.org/wiki/Culture_de_la_spiruline, consulté le 09/10/2020.

عنوان المذكرة : سبيرولينا أرثروسبيريرا بلاتنسيس: الإنتاج, التكوين والاستخدامات العلاجية

المؤطر: لوني سي صافية

الإسم: وداد

اللقب: بن عرفة

ملخص: أثار سبيرولينا (*Arthrospira sp*) اهتمام العلماء في وقت متأخر من اليوم فقط ، وهو الآن يتمتع باهتمام متزايد بفضل خصائصه العلاجية والغذائية المتعددة. ينعكس هذا الاهتمام المتجدد في العديد من الدراسات المنشورة حول هذا الموضوع. في عملنا ، وصفنا جميع الجوانب البيولوجية للسبيرولينا (المورفولوجية ، التصنيفية ، الدورة البيولوجية ، البيئية). سمح لنا هذا الوصف بملاحظة اللدونة المورفولوجية الكبيرة وتكيفها الاستثنائي في بيئات متنوعة للغاية وقبل كل شيء معادية (درجات الحرارة المرتفعة والقلوية والملوحة). نظرة عامة على طرق الإنتاج المختلفة وتطور الإنتاج العالمي والإقليمي للسبيرولينا ، يكشف أن الإنتاج ينقسم إلى وضعين: الأول حرفي ويعتمد على عدة عوامل (مناخية وبيئية). والثاني هو الإنتاج الصناعي بعد ذلك ، توضح التركيبة الغذائية أن السبيرولينا تحتوي على مستويات عالية جدًا من العناصر الغذائية والعناصر النزرة المفيدة للإنسان والحيوان ، مما يفسر استخدامها العلاجي.

كلمات مفتاحية: سبيرولينا ، أرثروسبيريرا س ، إنتاج ، تركيبة غذائية ، استخدام علاجي

Memory title : Spirulina « Arthrospira platensis» : production, composition and therapeutic uses.

Name : benarfa

First name : widad

Directed by : lounici safia

Abstract : Spirulina (*Arthrospira sp*) did not arouse the interest of scientists until late in the day, and today it enjoys growing interest thanks to its multiple therapeutic and nutritional properties. This renewed interest is reflected in the many studies published on this subject.

In our work, we have described all the biological aspects of spirulina (morphological, taxonomic, biological cycle, ecological). This description allowed us to observe the great morphological plasticity and its exceptional adaptation in very varied and above all hostile environments (high temperature, alkalinity and salinity). An overview of the different production methods and the evolution of the global and regional production of spirulina, reveals that the production is divided into 2 modes: the first is artisanal and depends on several factors (climatic and environmental). The second is an industrial production

Next, the nutritional composition demonstrates that spirulina contains very high levels of nutrients and trace elements beneficial to humans and animals, which explains its therapeutic use.

Keywords: Spirulina, *Arthrospira sp*, production , nutritional composition, therapeutic use.

Titre du mémoire : La spiruline « *Arthrospira platensis* » : production, composition et utilisations thérapeutiques.

Nom: benarfa

Prénom: widad

Encadreur : lounici safia

Résumé : La spiruline (*Arthrospira sp*) n'a suscité l'intérêt des scientifiques que tardivement, elle jouit aujourd'hui d'un intérêt grandissant grâce à ses multiples propriétés thérapeutiques et nutritionnelles. Ce regain d'intérêt se traduit par les nombreuses études publiées sur ce sujet

Dans notre travail, nous avons décrit tous les aspects biologiques de la spiruline (morphologique, taxonomique, cycle biologique, écologique). 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). Un aperçu sur les différentes méthodes de productions et l'évolution de la production mondiale et régionale de la spiruline, révèle que la production est divisée en 2 modes : la première est artisanale et dépend de plusieurs facteurs (climatiques et environnementaux). La deuxième est une production industrielle

Ensuite, la composition nutritionnelle démontre que la spiruline contient des teneurs très importantes en nutriments et oligoéléments bénéfiques pour l'homme et pour les animaux ce qui explique son utilisation thérapeutique.

Mots clés : Spiruline, *Arthrospira sp*, production, composition nutritionnelle, utilisation thérapeutique.