

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الجيلالي بونعامة خميس مليانة

Université Djilali Bounaâma de Khemis Miliana

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département des Sciences de la Matière



## Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention d'un diplôme de Master.

**Spécialité:** Physiologie cellulaire et physiopathologie.

### Thème:

**Etude sur les effets bénéfiques de la spiruline**

**Soutenu le:** 26 juin 2021.

**Devant le jury composé de:**

Dr: bensehaila sarra.

**Présenté par:**

- Menal Zahra.
- Taders Djahida.
- Chergui Amer.

**Année universitaire:** 2020/2021.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۱۴۳۸



## Remerciements

*Avant tout, Nous remercions Dieu le Tout Puissant de nous avoir donné la force, le courage, la volonté, l'amour du savoir et surtout la patience pour pouvoir produire ce modeste travail.*

*Nous adressons nos remerciements les plus sincères à toutes les personnes qui nous ont permis d'évoluer dans la réflexion et l'élaboration de ce travail.*

*Nos remerciements s'adressent particulièrement à notre promoteur M. **bensehaila sarra** pour avoir dirigé ce mémoire. Nous le remercions Infiniment pour la confiance et le respect qu'il nous a toujours accordé et pour les idées qui nous ont beaucoup aidées à progresser. Sa haute compétence, ses qualités humaines, ses conseils judicieux ont été pour nous une source inestimable de réconfort et d'encouragements pour mener à terme ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de notre profonde gratitude.*

*Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à jury d'avoir accepté de présider ce. Que Mme ... Trouve ici le témoignage de nos profonds respects et de notre grande considération pour avoir accepté de juger ce mémoire.*

*Finalement, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à nos familles qui nous ont toujours soutenues et à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail. Ainsi que l'ensemble des enseignants qui ont contribué à notre formation.*



## *Dédicaces*

*Je dédie ce mémoire*

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

*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 Frères TOUFIK, AID, HOCINE, SLIMEN, AYOUB. Et mes sœurs  
(fatima, insaf, Sujood)*

*Je vous souhaite la réussite dans votre vie, avec tout le bonheur qu'il faut  
pour vous combler.*

*A toute ma famille et mes amis (es).*

*A ma chère amie et trinôme DJODJO ET AMER, avec laquelle j'ai partagé ce  
travail.*

*À toute ma famille, oncles, tantes, cousins, cousines, grands-parents, merci d'être  
toujours là à mes côtés .*

*Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à Charef el Medah Bousoubel  
AËK, Taan K, Bouacheri M, Lafress M. d'avoir accepté de présider ce.  
Trouve ici le témoignage de nos profonds respects et de notre grande considération  
pour avoir accepté de juger ce mémoire*

*À tous mes amis, tout d'abord ceux de la fac, Alice, , Institu.*

*À mes amis annéciens (MIMI, DJODJO, CHOCHO, MALOUKA, MARO,  
FIFI,...), que de belles rencontres et de beaux moments passés ensemble.*

*Enfin, je souhaiterais remercier toute de Marion qui m'avait accueillie dès la 4e, j'ai  
appris mon métier au contact de vous, quelle « fine équipe » sur laquelle je peux toujours  
compter et avec laquelle c'est un réel plaisir de travailler.*

**(ZAHRA)**



## *Dédicaces*

*Je dédie ce mémoire  
Aux personnes les plus chères au monde, à mes très chers parents ABD EL  
KADER, ZINEB.*

*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 Frères et mes sœurs et amis  
Je vous souhaite la réussite dans votre vie, avec tout le bonheur qu'il faut pour  
vous combler.*

*(Djahida)*



## *Dédicaces*

*Je dédie ce mémoire  
Aux personnes les plus chères au monde, à mes très chers parents  
LAARBI, NACIRA*

*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 Frères et mes sœurs et amis  
Je vous souhaite la réussite dans votre vie, avec tout le bonheur qu'il faut pour  
vous combler.*

*(AMER)*

## ***Résumé***

Le marché des compléments alimentaires est en pleine expansion à de nombreuses demandes des patients aboutissant à un conseil à base de compléments alimentaires: phytothérapie, micronutrition. ***La spiruline*** algue microscopique de composition riche et variée, est présentée comme ayant de nombreuses indications qu'il était intéressant de vérifier.

Cette composition lui confère de nombreuses indications pharmacologiques et thérapeutiques: Hypcholestérolémiant, hypoglycémiant, anti hypertenseur, aidant la lutte contre la malnutrition, l'anémie ferriprive, ayant un rôle préventif contre le cancer, renforçant le système immunitaire et le statut en antioxydants, luttant contre l'hyperactivité, ayant une action anti virale, améliorant l'endurance et les performances sportives, ayant un effet anti allergique, chélateur de métaux lourds, source de zéaxanthine, mais aussi anti-inflammatoire, et préventif de maladies neurodégénératives. ***La spiruline*** peut être utilisée en toute sécurité, exemple de métaux lourds, de toxines et de bactéries et n'entraînant ni surdosage en vitamine A ni déficit en vitamine B12, seuls de rare cas d'effets indésirables existent.

Son conseil à est simplifié car cette algue peut être bénéfique à tout âge et présente peu de contre-indications, d'interactions médicamenteuses, de précautions d'emploi et d'effets secondaires.

**Mots-clés:** *spiruline, Spirulina platensis, Athrospira platensis*, nutrition, complément alimentaire.

**Abstract:**

The food supplements market is booming at the pharmacy, many requests from patients leading to advice based on food supplements: herbal medicine, micronutrition... *Spirulina*, a microscopic algae of rich and varied composition, is presented as having numerous indications that it was interesting to check.

This composition gives it numerous pharmacological and therapeutic indications: Hypocholesterolemic, hypoglycemic, antihypertensive, helping the fight against malnutrition, iron deficiency anemia, having a preventive role against cancer, strengthening the immune system and antioxidant status, fighting against hyperactivity, having an anti viral action, improving endurance and sports performance, having an anti allergic effect, heavy metal chelator, source of zeaxanthin, but also anti-inflammatory, and preventive of neurodegenerative diseases. *spirulina* can be used safely, free of heavy metals, toxins and bacteria and causing neither vitamin A overdose nor vitamin B12 deficiency, only rare cases of side effects exist.

Its advice at the pharmacy is simplified because this algae can be beneficial at any age and has few contraindications, drug interactions, precautions for use and side effects.

**Keywords:** *spirulina*, *Spirulina platensis*, *Athrospira platensis*, nutrition, food supplement,



## التلخيص

يزدهر سوق المكملات الغذائية في الصيدلية ، وتؤدي العديد من الطلبات من المرضى إلى المشورة القائمة على المكملات الغذائية: الأدوية العشبية والتغذية الدقيقة ... يتم تقديم سبيرولينا ، وهي طحالب مجهرية ذات تركيبة غنية ومتنوعة ، على أنها تحتوي على العديد من الدلائل التي تشير إلى أنه من المثير للاهتمام التحقق منها . تمنحه هذه التركيبة العديد من المؤشرات الدوائية والعلاجية: نقص كوليسترول الدم ، نقص السكر في الدم ، ارتفاع ضغط الدم ، المساعدة في مكافحة سوء التغذية ، فقر الدم الناجم عن نقص الحديد ، دور وقائي ضد السرطان ، تقوية جهاز المناعة وحالة مضادات الأكسدة ، مكافحة فرط النشاط ، وجود تأثير مضاد للفيروسات ، تحسين القدرة على التحمل والأداء الرياضي ، له تأثير مضاد للحساسية ، خالب المعادن الثقيلة ، مصدر زياكسانثين ، ولكن أيضًا مضاد للالتهابات ، ووقائي من الأمراض التنكسية العصبية ... يمكن استخدام السبيرولينا بأمان ، وخالي من المعادن الثقيلة والسموم والبكتيريا ولا يسبب عدم وجود جرعة زائدة من فيتامين أ أو نقص فيتامين ب 12 ، توجد فقط حالات نادرة من الآثار الجانبية. نصحتها في الصيدلية مبسطة لأن هذه الطحالب يمكن أن تكون مفيدة في أي عمر ولديها القليل من موانع الاستعمال والتفاعلات الدوائية واحتياطات الاستخدام والآثار الجانبية.

**الكلمات الرئيسية:** سبيرولينا ، سبيرولينا بلاتنسيس ، أتروسيرا بلاتنسيس ، تغذية ، مكملات غذائية ، مستوصف .

## Table des matières

Abréviation: .....	
liste des Tableaux .....	
liste des Figures.....	
Introduction .....	15
Chapitre I:.....	16
Synthèse bibliographique .....	17
I.Origine de <i>la spiruline</i> : découverte et histoire .....	18
I.1.Découverte: une bactérie vieille comme le monde.....	18
I.2. Histoire de <i>la spiruline</i> : entre légende et réalité.....	19
I-3. Habitat et répartition géographique.....	20
II. Caractéristiques de <i>la spiruline</i> .....	21
II.1. Confusion générales liées à <i>la spiruline</i> .....	21
II. 1.1 Le terme de <i>spiruline</i> .....	21
II.1.2 Algue ou bactérie ?.....	22
II.2.Classification de la spiruline .....	22
II.2. 1. Histoire de la classification.....	22
II.2.2. Systématique de la spiruline.....	22
II.2.2.1.Genre .....	24
II.2.2.2. Espèces ou souches ? .....	25
II.3.Morphologies et caractères généraux.....	28
II..5.Croissance .....	28
II.4.Reproduction .....	29
II.5.Génome.....	30
III.Composition de <i>la spiruline</i> .....	30
III.1.composition de protéine .....	33
III.2. Lipides.....	34
III.3. Glucides .....	34
III.4. Composition en acides nucléiques.....	35
III.5. vitamines.....	35
III.6.Pigments .....	36
III.7.Enzymes.....	36
III.8.Minéraux et oligo-éléments.....	36

<b>Chapitre II:</b> .....	<b>33</b>
<b>Effet thérapeutique de la Spiruline</b> .....	<b>33</b>
<b>.Effets de la spiruline:</b> .....	<b>39</b>
<b>.1.1Pour l'être humain:</b> .....	<b>39</b>
<b>.1.1.1Effets thérapeutiques:</b> .....	<b>39</b>
<b>.1.1.2.Effets cosmétiques:</b> .....	<b>40</b>
<b>I.1.2.Pour les animaux:</b> .....	<b>40</b>
<b>III.Matériels et méthodes</b> .....	<b>48</b>
<b>III.1.Matériel végétal</b> .....	<b>48</b>
<b>.2.Analyse physico-chimique de <i>S. platensis</i></b> .....	<b>48</b>
<b>II.3.Détermination des teneurs en minéraux par spectroscopie d'absorption atomique.</b>	<b>50</b>
<b>II.4.Composition chimique des acides gras</b> .....	<b>50</b>
<b>II.5.Méthodes d'extraction</b> .....	<b>51</b>
<b>II.5.1.Extraction par l'eau</b> .....	<b>51</b>
<b>II.5.2.Extraction par sonification</b> .....	<b>51</b>
<b>II.5.3.Extraction par congélation</b> .....	<b>51</b>
<b>II.5.4.Extraction par solvant</b> .....	<b>52</b>
<b>II.5.5.Extraction par séparation aqueuse à double phase</b> .....	<b>52</b>
<b>II.5.6.Extraction par macération dans le glycérol</b> .....	<b>52</b>
<b>II.6.Caractérisation des extraits de phycocyanine</b> .....	<b>52</b>
<b>II.6.1Analyse des composés phénoliques</b> .....	<b>52</b>
<b>II.6.1.1.Polyphénols totaux</b> .....	<b>52</b>
<b>II.6.2.Activité antioxydante</b> .....	<b>53</b>
<b>II.6.2.1.Méthode au diphenylpicrylhydrazyl (DPPH)</b> .....	<b>53</b>
<b>II.6.2.2.Détermination du pouvoir réducteur par la méthode de FRAP(Bujard et <i>al.</i>,1970)</b> .....	<b>54</b>
<b>IV.Résultats et discussion</b> .....	<b>55</b>
<b>IV.1.Analyse physico-chimique de <i>S.platensis</i></b> .....	<b>55</b>
<b>IV.2.Détermination des teneurs en minéraux par spectroscopie d'absorption atomique</b>	<b>56</b>
<b>3.1.Détermination des polyphénols par HPLC</b> .....	<b>62</b>
<b>3.3.Les Flavonoïdes</b> .....	<b>63</b>
<b>4. Activité anti oxydante</b> .....	<b>63</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>67</b>

## 1. Abréviation:

**ACMA:** Association pour Combattre la malnutrition par l'algoculture.

**ADN:** Acide DésoxyriboNucléique.

**AGPI:** Acide Gras PolyInsaturé.

**ALA:** Acide  $\alpha$ -Linoléique.

**ARN:** Acide RiboNucléique.

**Ca-*Sp*:** calcium-spirulan.

**CIN:** Code international de nomenclature.

**CO<sub>2</sub>:** Dioxyde de carbone.

**COX :** Cyclo-Oxygénase.

**DHA :** Acide DocosaHexaénoïque.

**DOX :** Doxorubicine.

**EPA:** Acide EicoPentaénoïque.

**FDA:** Food and Drug Administration.

**GLA:** Acide Gamma-Linolénique.

**Hepia:** la haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève.

**HPLC:** Chromatographie en phase Liquide à Haute Performance.

**H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:** Peroxyde d'hydrogène.

**ICNB:** International code of nomenclature of bacteria.

**IL:** Interleukine.

**IRA:** l'Institut des Régions Arides.

**MDA:** Malondialdehyde.

**MMP:** Métaloprotéine.

**NKC/ NK:** Natural Killer Cell.

**NPU:** Utilisation Protéique Nette.

**OH<sup>°</sup>, O, HO:** radicaux libres.

**OMS:** Organisation mondiale de la santé.

**O<sub>2</sub>:** oxygène.

**SOD:** Super Oxyde Dismutase.

**TNF:** Tumor Necrosis Factor

**U.S.A:** United states of america.

**VEGF:** *vascular endothelial growth factor*

## 2-liste des Tableaux

N°	Tableau	référence
21	Confusion liées au terme de <i>spiruline</i>	(Vidal, 2008)
22	caractéristiques communes des cyanobactéries aux algues et aux bactéries	(BERNARD, 2014).
23	Classification suivant le CIN	(Vonshak, 1997).
24	Classification suivant l'ICNB	Nicoletti, 2016).
25	comparaisons morpho-anatomiques des genres <i>Spirulina</i> et <i>Arthrospira modifié</i>	Nordst et Gomont., 1892).
31	Composition chimique de <i>Spirulina platensis</i> selon la littérature	Georg et Michka., 1992)].
23	Principaux acides gras de <i>la Spiruline</i>	Georg et Michka., 1992)].
53	Composition des deux éluant en fonction du temps de l'opération	((Moukette et al., 2015).
54	Résultats de l'analyse physico-chimique de <i>S. platensis</i> Paramètre	(Bensehaila et al., 2017).
56	Composition de la poudre inorganique de <i>S.platensis</i> (mg/g)	(Bensehaila et al., 2017).
57	Composition en acides gras de <i>S. platensis</i>	(Bensehaila et al., 2017).
61	Détermination des polyphénols pour chaque Extrait de <b>la spiruline</b> par HPLC	(Lafri et al., 2017).
63	Concentration en flavonoïdes pour <i>la spiruline</i> (Algérienne et Tunisienne)	(Lafri et al., 2017).
65	Valeurs (en %) d'activité anti oxydante pour <i>la spiruline</i> (Algérienne et Tunisienne)	((Lafri et al., 2017).

### 3-liste des Figures

N°	Figure	référence
18	Frise chronologique	(Mollo et Noury , 2013 )
20	répartition géographique de <i>la spiruline</i>	(Fox, 1999).
26	Les différents aspects de <i>la spiruline</i>	Vincente, 2012
27	morphologie typique d' <i>Arthrospira platensie</i>	Antenna technologies, 2009):
29	Schéma de la structure d'une cyanobactérie	Moreau,2005)
29	cycle biologique de <i>La spiruline</i>	Cruchot, 2008).
34	Positionnement de <i>la Spiruline</i> par rapports à d'autres aliments en termes de taux de protéines.	(Costa et al., 2002)
36	Molécule de la chlorophylle.	Georg et Michka., 1992)].
46	Evolution du nombre de décès selon l'OMS	(Khan et al., 2005).
59	Concentrations et pourcentages de pureté de la phycocyanine des souches (algérienne et tunisienne) de <i>la spiruline</i>	Bensehaila et al; 2017).
60	La concentration des polyphénols totaux issue de la phycocyanine	(Lafri et al., 2017).



# Introduction

### 4-Introduction

Cette micro algue appelées algues bleues, de 3.5miliards d'années est consommée depuis des siècles par certains peuples et pour sa richesse nutritionnelle. Sont des bactéries photosynthétiques qui produisent de l'oxygène. Elles présentent une très grande diversité morphologique, elles peuvent être unicellulaires ou filamenteuses, regroupées en colonies, ou sous forme isolée.

Le genre *Arthrospira* renferme des cyanobactéries filamenteuses, dont fait partie une bactérie particulièrement intéressante *Arthrospira platensis* plus connue sous le nom de *Spiruline*. Riche en nutriments tels que protéines, glucides, lipides, vitamines et minéraux, elle est consommée depuis des siècles par certains peuples d'Afrique et d'Amérique.

Compte tenu de ses propriétés nutritionnelles, *la spiruline* est utilisée par certaines ONG pour lutter contre la malnutrition dans certains pays pauvre ou en voie de développement, mais aussi utiliser comme additif alimentaire ou alcaliment.

*La Spiruline* peut avoir des vertus thérapeutiques grâce notamment à l'un de ces principaux pigments, la phycocyanine, qui lui donne cette couleur bleu-vert, d'où l'intérêt grandissant de la part de la communauté scientifique internationale pour une possible utilisation comme source de produits à intérêt thérapeutiques. Certaines études ont mis en évidence des vertus thérapeutique de *la spiruline*, on peut citer : des activités sur le système immunitaire, des effets dans la lutte contre le cancer et le sida mais aussi contre le vieillissement cellulaire, des propriétés hépatoprotectrices et des propriétés anti-inflammatoires (Sguera, 2008).

En effet, il existe un intérêt mondial à utiliser des compléments alimentaires, pour la prévention ou le traitement d'une maladie et pour préserver sa santé.

Elle a été présentée comme le meilleur aliment pour l'avenir « best food for the future » lors de la conférence des Nations Unies sur l'Alimentation en 1974 et plusieurs structures au sein de l'ONU et de l'OMS oeuvrent pour l'utilisation de *la spiruline* pour lutter contre la malnutrition aiguë. Pour l'UNESCO c'est: « l'aliment idéal et le plus complet de demain » et pour la FDA « l'une des meilleures sources de protéines ».



### Objectifs du travail

- ✚ La première partie de cette mémoire permettra de découvrir *la spiruline*, son histoire, sa culture et production et sa composition.
- ✚ Puis la deuxième partie, sous forme de revue bibliographique permet de faire un point sur toutes les effets thérapeutiques qui peuvent être allouées à *la spiruline*.
- ✚ La troisième partie sera Les travaux ont porté sur l'évaluation de plusieurs méthodes d'extraction de la phycocyanine

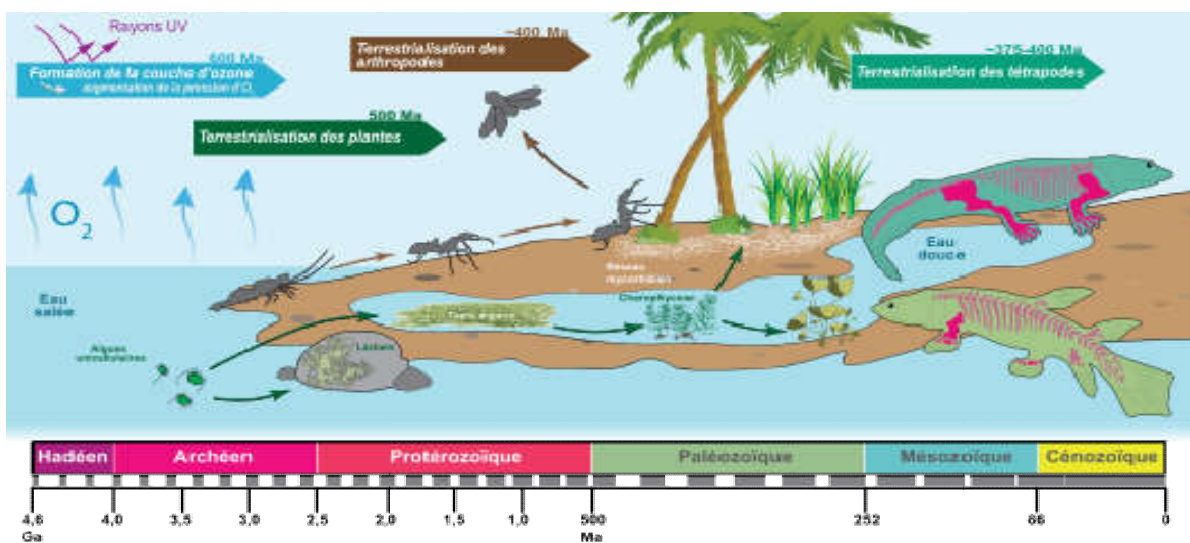


**Chapitre I:**  
**Synthèse bibliographique**

## I. Origine de *la spiruline*: découverte et histoire

### I.1. Découverte: une bactérie vieille comme le monde

Les cyanobactéries sont également appelées cyanophytes ou cyanophycées. Bien que connues sous le nom d'algues bleu-vert ou algues bleues, ces dernières sont des bactéries gram-négatifs photosynthétiques et non des algues. Leur existence date d'environ 3,5 milliard d'années. Et elles sont à l'origine de la production de l'oxygène que nous respirons sur terre. Elles sont capables d'assimiler l'azote de l'air. Elles sont ainsi permises la formation de la couche d'ozone qui nous protège contre les rayons nocifs du soleil (Lavoie et al., 2007). Ce qui fait des cyanobactéries, les plus anciennes formes de vie sur terre (Bernard, 2014). À la naissance de l'univers, ces cyanobactéries produisaient de l'oxygène à partir du dioxyde de carbone (concentration 100 fois supérieure à nos jours) pour les autres formes de vie présentes à ce moment-là. Elles ont ainsi rendu l'atmosphère respirable permettant une possible vie aérobie, et ont servi de nourriture aux poissons, mammifères marins et à l'espèce humaine. Elles existent toujours de nos jours et jouent un rôle dans le maintien de l'équilibre des proportions entre le gaz carbonique et l'oxygène (Mollo et Noury, 2013).



## I.2. Histoire de *la spiruline*: entre légende et réalité

*La spiruline* est utilisée par de nombreux peuples dans l'antiquité, puis par les Aztèques et les populations du lac Tchad qui la récoltaient à la surface des lacs grâce à des filets à mailles très fines. Séchée, elle était utilisée comme farine pour les tortillas et gâteaux. Plusieurs légendes entourent l'origine de l'utilisation de *la spiruline*. La légende raconte que les femmes enceintes consommaient abondamment le dihé, persuadées que la couleur sombre du dihé protégerait leurs fœtus du mauvais œil (Ciferri, 1983). Il existe près de 1500 espèces « d'algues bleues » dont 36 comestibles. Parmi elles, *la spiruline* est consommée des deux côtés de l'atlantique par les immémoriaux. La redécouverte de *la spiruline* est due à Turpin qui l'isola en 1827 à partir d'un échantillon d'eau douce, puis en 1844 deux chercheurs Wittrock et Nordstedt signalèrent la présence d'une micro-algue bleu-vert près de Montevideo.

- **Au XVème siècle:**

À leur arrivée dans la vallée du Mexique, les conquistadors espagnols découvrent « une nouvelle nourriture » que les Aztèques appelaient *le tecuitlat* signifiant « excrément de pierre » parce qu'ils pensaient qu'il était produit par les minéraux. Récolté à l'aide de filets très fins à la surface du lac Texcoco, il était ensuite transformé en gâteaux d'une couleur bleu-vert (Habib *et al.*, 2008)

À la fin du XVIème siècle le *tecuitlat* tomba dans l'oubli probablement après l'assèchement des lacs au profit des développements urbains et agricoles. Le lac Texcoco représente de nos jours le seul vestige de cette époque (Habib *et al.*, 2008).

Et en 1967, *la spiruline* fut nommée comme *wonderful future food source* par *the International Association of Applied Microbiology*.

En 1970, l'Américain Ripley FOX docteur en microbiologie voit en *la spiruline* un complément nutritionnel par excellence, et la solution au problème de la faim dans le monde. Il décide d'en faire un outil politique humanitaire.

En 1971, il fonde une association pour Combattre la Malnutrition par l'Algoculture qui développe le concept de ferme de spiruline (Fox, 1999).

En 1974, La FDA reconnaît les bienfaits de *la spiruline*. Cette même année, *the United Nations World Food Conference* déclare *la spiruline* comme « *best food for the future* ». Elle peut être légalement commercialisée comme nourriture ou complément nutritif si elle est étiquetée correctement et qu'elle ne contient pas de substances contaminées ou altérées et peut

être ainsi incorporée dans des produits alimentaires (pâtes, barre de céréales, composant de salade... Elle peut aussi être utilisée comme colorant alimentaire.

En 1996, l'OMS déclare *la spiruline* "meilleure nourriture pour l'avenir" (Lupatini et al., 2017).

### I-3. Habitat et répartition géographique

Les micro-algues utilisent l'énergie solaire, le dioxyde de carbone et les minéraux dans l'eau pour se développer, et leur taux de croissance est très **haut** (Becker, 1994). En outre, elles peuvent produire divers produits par photosynthèse pendant leur croissance. En ce sens, la micro algue *Spirulina platensis*, se développe naturellement dans les eaux des lacs en raison d'un pH alcalin (Vonshak, 1997); dans la mer et l'eau douce d'Asie, d'Afrique, d'Europe du Sud et d'Amérique du Nord (Hwang et al., 2011).

L'algue bleue se trouve dans les déserts arides (Vidallo, 2008), prospère naturellement dans les lacs salés et alcalins des régions chaudes du globe. *La Spiruline* est maintenant cultivée en U.S.A, en Inde, en Chine, en Thaïlande (Jourdan, 2016), en République Dominicaine, en Hongrie, en France, en Algérie, en Tunisie, en Ethiopie, au Pérou, au Mexique, etc (Fox, 1999).



Figure 02: répartition géographique de *la spiruline*

## II. Caractéristiques de *la spiruline*

### II.1. Confusion générales liées à *la spiruline*.

#### II. 1.1 Le terme de *spiruline*

A noter qu'il y a parfois malheureusement une véritable confusion entre les termes "*Spiruline*", "*Spirulina*" et "*Arthrospira*". Ces confusions proviennent à la fois d'erreurs de déterminations scientifiques dans les années 1950 et de la dénomination commerciale de certaines cyanobactéries alimentaires (Cruchot, 2008). Il faut retenir que le terme «*Spiruline*» correspond au nom commercial d'une cyanobactérie appartenant toujours au genre «*Arthrospira* ». «*Spirulina* » est le nom commercial anglais de la même cyanobactérie mais il désigne également un genre de cyanobactéries assez proche d'*Arthrospira*, et surtout non comestible. «*Arthrospira*» étant le nom scientifique (genre) d'un groupe de cyanobactéries auquel appartient *la Spiruline* alimentaire (Fox, 1999., Legiard, 2005).

*La Spiruline*, avait différents appellations dont: La Potion magique: Mentionnée par Christophe Colomb (Fox, 1999), le dihé : Par les Kanembous, tribu du Tchad (Vidal, 2008), le Tecuitlatl, fromage vert: Par les Aztèques (Vidal, 2008), Arc-en-ciel à ses nombreux pigments qui lui permettent de capter la quasi-totalité du spectre solaire. Les différentes confusions faites par rapport à l'emploi du terme *spiruline* sont regroupées dans le tableau ci-contre:

**Tableau 01:** Confusion liées au terme de *spiruline*

Spiruline	Spirulina	Arthrospira
-terme vernaculaire générique regroupant toutes les spirulines en vente sur le marché (Spirulina non comestible et Arthrospira Comestible). -Nom commercial Fracomphone de la cyanobactérie appartenant au genre Arthrospira.	-Nom scientifique et taxonomique d'une autre cyanobactérie très éloignée du genre Arthrospira qui n'est pas utilisé dans le cadre de l'alimentation. -Nom commercial anglophone de la cyanobactérie appartenant au genre Arthrospira.	-Nom scientifique et taxonomique d'une groupe de cyanobactéries auxquelles appartient la spiruline utilisée l'alimentation.

## II.1.2 Algue ou bactérie ?

*La Spiruline* est un procaryote gram négatif appartenant aux cyanobactéries. Même si les cyanobactéries autotrophes (groupe capables d'utiliser l'énergie de la lumière pour la photosynthèse (Roger, 2006)). Possédant des caractéristiques communes présentées dans le tableau ci-dessous (BERNARD, 2014).

**Tableau 02:** caractéristiques communes des cyanobactéries aux algues et aux bactéries

Algues	Bactéries
-Chlorophylle a -Deux photosystèmes I et II -Photosynthèse : production d'O <sub>2</sub> -pigment s photosynthétiques : phycobiliprotéines Eau : donneur d'électrons.	-Absence de membrane nucléaire -Absence de membrane plastidiale -Absence de mitochondries -Absence de réticulum endoplasmiques et dictyosome, paroi cellulaire gram négative : muréine.

## II.2. Classification de la spiruline

### II.2. 1. Histoire de la classification

*Arthrospiraplatensis* communément appelée (*spiruline*) et considérée à l'origine comme une Algue, a été décrite pour la première fois par (Wittrock et Nordsted., 1844) sous le nom de *Spirulina jeneriplantensis* 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 microorganisme « cyanobactérie », avec un préfixe d'origine Grec « cyano, cyan » du nom du pigment bleu la phycocyanine qui la compose (Nicoletti, 2016).

Cette nouvelle désignation est acceptée et figure pour la première fois au «Bergey's Manual of Determinative Bacteriology » en 1974 (Vonshak, 1997).

### II.2.2. Systématique de la spiruline

La classification taxonomique des cyanobactéries est gouvernée par deux codes: les codes botaniques et bactériologiques. Pour effectuer cette classification, nous avons interrogé plusieurs bases de données validées par l'agence canadienne d'inspection des aliments.

- Le CIN pour les algues, les champignons et les plantes

Selon ce code, la classification se base sur des critères morphologiques permettant une identification aisée des genres. Les cyanobactéries y portent pour nom: algue bleue, cyanophyte ou cyanophycée.

Cette classification botanique est proposée sur les sites « **catalogue of life2** » et « **ITIS3** » accessibles en ligne. Les données extraites de ses deux sites internet ont été résumées dans le tableau suivant:

**Tableau 03:** Classification suivant le CIN

Règne	Monera
Sous Règne	Negibacteria
division	cyanobacteria
Classe	Cyanophyceae
Ordre	Nostocales
Famille	Oscillatoriaceae
Genre	Arthrospira (stizenberger) ex gomont 1893
Espèce	- Arthrospira gomontiana setchell 1895. - Arthrospira jenneri stizenberger ex gomont 1893. - Arthrospira neopolitana

- L'ICNB « International Code of Nomenclature of Bacteria »  
Cette classification bactériologique est proposée sur plusieurs sites internet.
- La première classification est issue des sites internet **WoRMS4** « **World Register of Marine Species** » et **Cyano DB5**. On y retrouve les mêmes classifications.
- La deuxième classification est issue des sites internet **AlgaeBase6**, **NCBI7**, et **Uniprot8**. On y retrouve les mêmes classifications.
- Les données extraites de l'ensemble de ses cinq sites internet et portant sur la classification bactériologique de *la spiruline* ont été résumées dans le tableau suivant:



Tableau 04: Classification suivant l'ICNB.

	WoRMS/CyanoDB	Algaebase/NCBI/Uniprot
Empire		Prokaryota
Règne	Bacterie	Eubacteria
Sous règne	Gracilicutes	Negibacteria
Division	Cyanobacteria	Cyanobacteria
Classe	Cyanophyceae	Cyanophyceae
Sous classe	Oscillatoriophycidae	Oscillatoriophycidae
Ordre	Oscillatoriales	Oscillatoriales
Famille	Phormidiaceae	Microcoleaceae
Sous famille	Phormidio	
Genre	Arthrospira Stizenberger ex Gomont, 1892	Arthrospira Stizenberger ex Gomont



### II.2.2.1. Genre

Le genre *arthrospira* regroupe les microorganismes phototrophes obligatoires, filamenteux à trichomes bleu\_vert peu mobiles enroulés régulièrement en spires larges et très ouvertes. Ils sont pluricellulaires pourvus de vésicules de gaz pour atteindre la lumière indispensable à leur photosynthèse les spires réespacés régulièrement avec un diamètre constant ou bien relaxées de sorte à former un filament presque droit. Le nombre de spires varie de 3.5 à 11 µm et celui des spires de 20 à 100 µm. Parfois les spires au centre du trichome sont plus rapprochées qu'aux extrémités. Avec un diamètre de spire plus petit au centre et aux extrémités (Fox, 1999). Les deux espèces les mieux connues sont *Arthrospira platensis*, originaire d'Afrique et *Arthrospira maxima* originaire d'Amérique centrale. L'espèce qui nous intéresse pour ce mémoire est *Arthrospira platensis* (Nordst et Gomont., 1892).

Suivant les auteurs, les genres *Arthrospira* ou *Spirulina* sont proposés pour désigner la spiruline:

- *Spirulina* (de Turpin) représentant une forme aseptée.
- *Arthrospira* (de Stizenberger) représentant une forme avec un septum visible.
- À cela s'ajoutent des différences morpho-anatomiques présentées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 05:** Tableau de comparaisons morpho-anatomiques des genres *Spirulina* et *Arthrospira* modifié

	<i>Arthrospira</i>	<i>Spirulina</i>
<b>Trichomes</b>	Hélice ouverte	Hélice presque fermée
<b>Paroi cellulaire</b>	Visible si les vacuoles à gaz ne sont pas trop nombreuses	Difficilement visible (gaine non prononcée)
<b>Taille et spécificité des cellules</b>	6 à 12µm de large Possible constriction entre cellules adjacentes	2 à 4µm de large Peu ou pas de constriction entre cellules adjacentes Forme non fixe
<b>Mobilité</b>	Rotation	Permanente par rotation
<b>Reproduction</b>	Scission simple : fragmentation du trichome en hormogonies à partir des cellules nécridiques Toutes les cellules se divisent sauf les cellules apicales	Scission simple : Fragmentation du trichome en hormogonies (sans les cellules nécridiques) Toutes les cellules se divisent
<b>Génome</b>	ADN : 43% de G+C	ADN : 44 à 53% de G+C
<b>Représentation</b>		

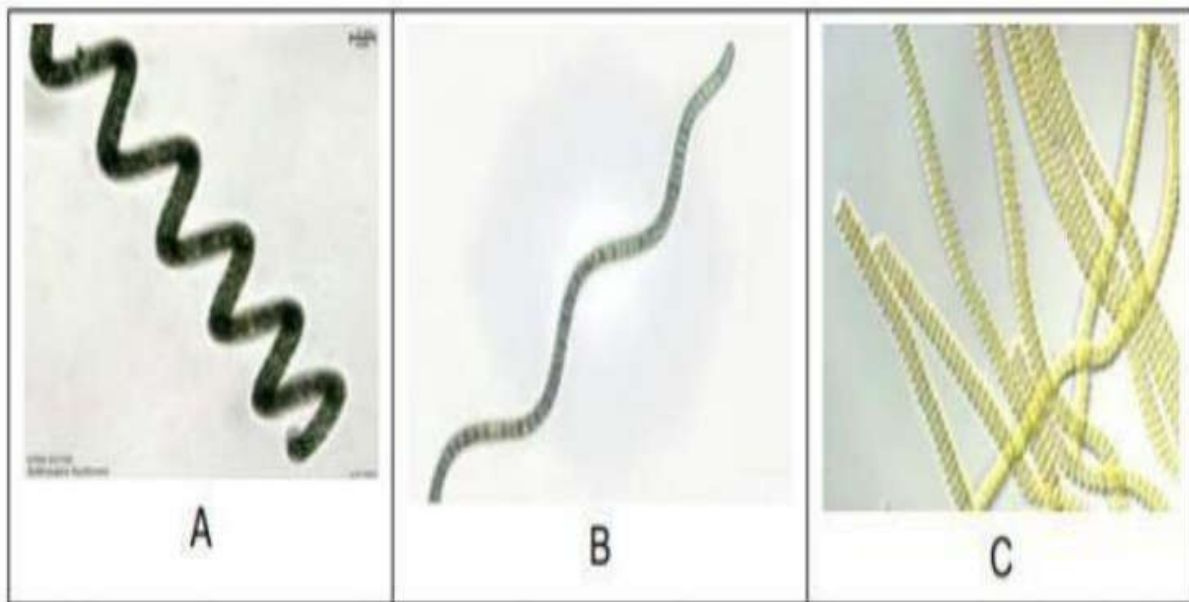
### II.2.2.2. Espèces ou souches ?

Une espèce se définit comme une entité réunissant des êtres vivants présentant un ensemble de caractéristiques morphologiques, anatomiques, physiologiques, biochimiques et génétiques communes. Les espèces sont regroupées en genres et divisées en sous-ensembles dénommés souches ou variétés (Cruchot H, 2008).

*La Spiruline* se présente sous forme de filaments constitués de cellules juxtaposées.

La reproduction de *la spiruline*, asexuée, se fait par division des filaments (Jourdan, 2016). Elle a une longueur moyenne de 250 µm quand elle possède 7 spires. Elle est composée de filaments mobiles (de 10 à 12 µm de diamètre) non ramifiés et enroulés en spirales d'où le nom de «*Spiruline*» (Geitler, 1932; Charpy *et al.*, 2008). Cette morphologie typique lui permet de se déplacer dans l'eau en adoptant le mouvement d'une vis (Muhling *et al.*, 2003).

Cependant, *les Spirulines* présentent différentes formes; telles que les formes spiralées (Figure 3). Cette particularité est en relation directe avec les conditions écologiques rencontrées dans leur habitat (Geitler, 1932; Charpyetal, 2008)



**Figure 03:** Les différents aspects de *la spiruline* (Vincente, 2012)

Les deux espèces les plus souvent retrouvées pour l'alimentation sont *Arthrospira platensis* et *Arthrospira maxima*. Elles sont souvent nommées par le nom de genre *Spirulina* dans la littérature. Les différences entre ces deux espèces sont les suivantes:

❖ *Arthrospira platensis*: se caractérise par des trichomes atteignant 350µm de long et entre 6 et 12,45 µm de diamètre ; ils sont un peu rétrécis au niveau des articulations. Les tours de spires ont un diamètre de 20 µm à 50 µm diminuant légèrement vers les extrémités.

*Arthrospira maxima*: se caractérise par des trichomes de 70 à 80 µm de long de 7 à 9 µm de diamètre et légèrement effilés aux extrémités; ils forment une spirale régulière de 3 à 8 tours et de 40 à 60 µm de diamètre. Les cellules constituantes des trichomes mesurent entre 5 à 7 µm de long et ne rétrécissent pas au niveau des articulations (Cruchot H, 2008).

En effets, en plus de la forme de *spiruline* spiralée classique, on trouve parfois des formes ondulées ou droites. Selon son origine, de nombreuses souches (*paracas, lonar...* etc) ont pu être décrites (figure4). Selon (Jourdan, 2011), les souches droites sont génétiquement de vraies *spirulines* mais elles présentent des inconvénients liés le plus souvent, à la difficulté d'être récoltées. Toutes les souches droites ne sont pas inintéressantes, les «longues» sont

faciles à récolter et les «endémiques» qui cohabitent avec les *Paracas* (souche ondulée) sans les envahir, ce qui ne rend pas le récolte très difficiles. (Zhou et al.,2013) ont caractérisé également différentes souches *d'arthrospira platensis* présentant différentes formes. L'opinion *d'Arthrospira* et de *Spirulina* en tant que deux genres distincts a été partagée par plusieurs auteurs plus récents (Desikachary, 1959; Rippka et al., 1981; Anagnostidis et Komarek, 1988).

La séparation entre ces deux genres a été affirmée à plusieurs reprises, sur la base de nombreuses caractéristiques telles que l'hélicité et la taille du trichome (Desikachary, 1959 Hindak., 1985), la structure de la paroi cellulaire et la structure des pores (Guglielmi et Cohen-Bazire., 1982a, 1982b), les vésicules gazeuses (Guglielmi et al., 1993), les thylakoïdes (Anagnostidis et Komarek., 1988), la motilité et la fragmentation du trichome (Anagnostidis et Komarek., 1988), teneur en G et C (Herdman et al., 1979) et la catalogue en oligonucléotide de l'ARNr 16S (Guglielmi et al., 1993; Giovannoni et al., 1988, 1992). Actuellement, 50 souches *d'Arthrospira* recensées à travers le monde ont été étudiées pour en décrire la diversité génétique. L'association Antenna technologies, en collaboration avec l'université de Genève, a effectué ce travail de classification de différentes souches *d'Arthrospira*. Ce travail repose sur le séquençage génétique d'un ADN hypervariable, mais spécifique des cyanobactéries. Leur conclusion est qu'il n'existerait que deux espèces génétiquement différentes parmi ces souches. Ces deux espèces sont *Arthrospira platensis* initialement originaire du Kanem (Tchad) et *Arthrospira geitleri* ou maxima originaire du Mexique.

En ce qui concerne les souches, on distingue (Antenna technologies, 2009):

- **Les souches spiralées:** les filaments ont la forme d'une queue de cochon telle que le type « *lonar* » d'Inde.
- **Les souches ondulées:** les filaments sont en spirale étirée telle que le type « *paracas* » du Pérou.
- **Les souches droites:** les filaments sont très étirés donnant l'impression d'être rectilignes tel que le type M2.

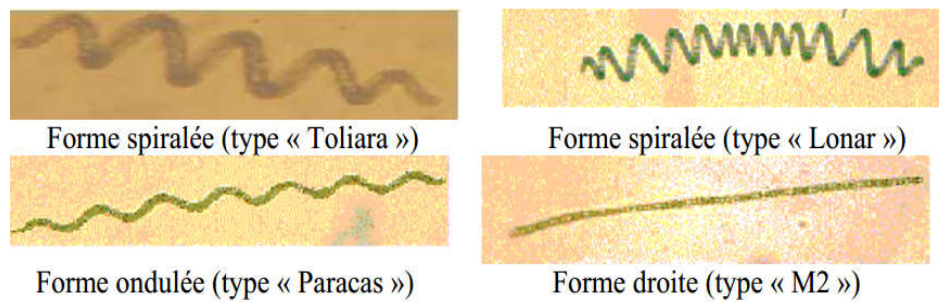


Figure 04: morphologie typique d'*Arthrospira platensis*.

### II.3.Morphologies et caractères généraux

*La spiruline* est une micro-algue uni ou multicellulaire et filamentaire. C'est une bactérie grâce à sa structure procaryote qui possède une membrane pluristratifiée de 4 couches. Son nom dérive de la configuration physique spiralée et hélicoïdale de ses filaments, en latin *spira* signifie enroulement. Les filaments prennent une forme hélicoïdale uniquement quand l'environnement est favorable (liquide ou milieu de culture). Les vacuoles de gaz font flotter les filaments et leur permettent de se protéger d'un ensoleillement excessif mais aussi d'atteindre les fonds remplis de sels nutritifs. Quand la température est trop élevée (70°C sur les rochers chauds dans les régions tropicales ou désertiques), *la spiruline* passe en état de repos et ne se reproduit plus. Les filaments prennent des formes irrégulières voire linéaires. De couleur habituellement bleu-vert qui devient blanc nacré, *la spiruline* a un goût sucré car les protéines se transforment en sucres polysaccharides sous l'effet de la chaleur.

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

### II..5.Croissance

*La spiruline* est une espèce photo **autolitotrophe** (grâce à ses pigments chlorophylliens), aérobie. Par conséquent, elle est dotée des photosystèmes I et II (Merceron, 2006). La photosynthèse constitue alors la clé de sa croissance. Pour sa photosynthèse, *la spiruline* a besoin d'eau, de carbone, et d'éléments nutritifs dont l'azote en particulier. Elle assimile une source de carbone minéral (le CO<sub>2</sub> atmosphérique) et la convertit en énergie biochimiquement utilisable représentée par le glucose. Son point commun avec les autres cyanobactéries est qu'elle ne possède pas le cycle de Krebs complet (Fox, 1999). L'énergie lumineuse est captée par des pigments assimilateurs représentés par les chlorophylles. La chlorophylle de *la spiruline* et des autres bactéries photosynthétiques se situe dans les régions



spécialisées de leur membrane cellulaire: les **phycobilisomes** des **thylakoïdes**. La photosynthèse est divisée en deux phases: une série de réactions dites "lumineuses" et une série de réactions dites "obscur"(Moreau,2005)



Figure 05: Schéma de la structure d'une cyanobactérie.

## II.4.Reproduction

*La spiruline* se reproduit par bipartition (scission simple). C'est une reproduction asexuée, par segmentation des filaments (Cruchot, 2008). Le filament de *spiruline* à maturité forme des cellules spéciales appelées nécriides. Elles se différencient des autres cellules par leur aspect biconcave et sont assimilées à des disques de séparation. À 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 et prendre la forme typique **hélicoïdale**. Sa vitesse de multiplication est particulièrement rapide dès que la température dépasse 30°C à l'ombre; lorsque ces conditions sont réunies et que le milieu est favorable, le temps de génération est très court (7 heures) (Cruchot, 2008).

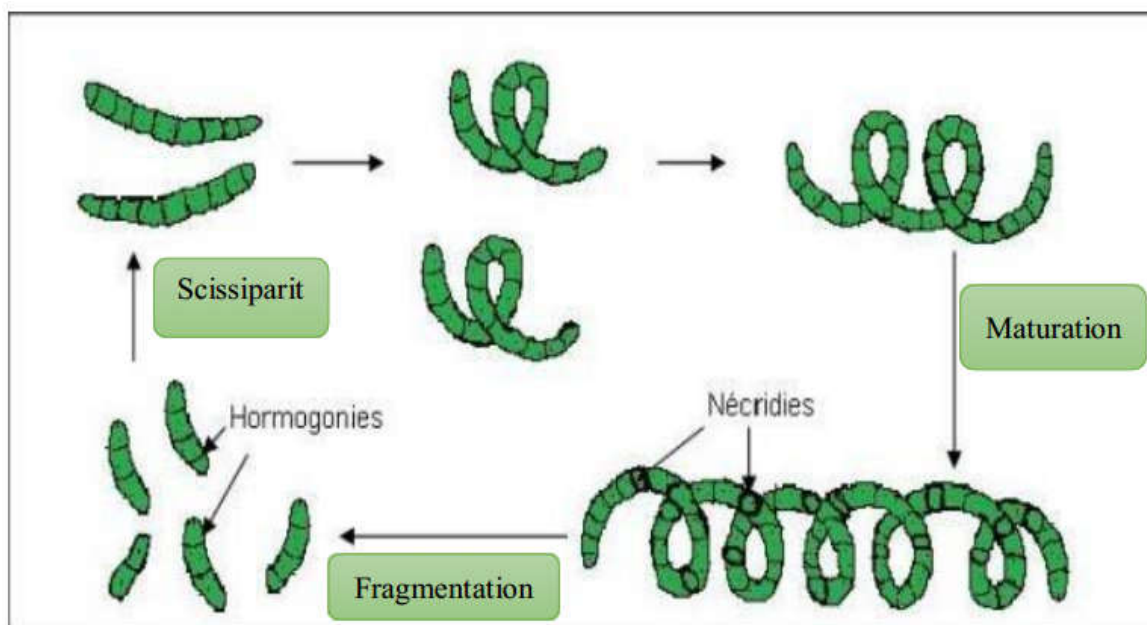


Figure 06: cycle biologique de *La spiruline*

## II.5.Génome

Un consortium Génevois réunissant plusieurs acteurs que sont: **Antenna technologies**, **Biorigin SA** et **Fasteris** (deux entreprises privées), et **Hepia** est à l'origine du séquençage du génome *d'Arthrospira platensis*. Cette carte génétique de *la spiruline* a fait l'objet d'un enregistrement auprès de la **GenBank®**. Cette base de données collecte toutes les séquences d'ADN, qui sont accessibles au public. En effet, un enregistrement à la **GenBank®** a pour but d'empêcher le brevetage de *la spiruline*.

Depuis, sept souches *d'Arthrospira* ont vu leurs génomes entièrement séquencés: *Arthrospira sp. PCC8005*, *A. platensis NIES-39*, *A. platensis C1*, *A. maxima CS-328*, *A. platensis Paraca PO (WGS)*, *A. platensis YZ* et *Arthrospira sp. TJS091* (Furmaniak *et al.*, 2017).

## III.Composition de *la spiruline*

Notre corps est un organisme complexe, pour le maintenir en forme, nous devons lui fournir les éléments nutritifs, l'énergie et la vitalité dont il a besoin. Connu comme «l'aliment parfait de la nature», *la Spiruline* est l'aliment nutritif le plus riche. En 1984, le statut d'« aliment non traditionnel » a été attribué par le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique [« *La Spiruline, une algue pour l'homme et la planète* » (Georg et Michka., 1992)].

Les méthodes d'investigation analytiques (spectroscopie, chromatographie, ...) ont permis d'identifier et de doser l'ensemble des constituants de *la Spiruline* avec une grande

précision. Chacun des éléments composant *la Spiruline* apporte ses actions propres et l'effet global de l'ensemble s'y ajoute pour donner un effet synergique lié à un dosage naturel idéal. La composition de *la spiruline* varie selon les conditions de culture, la période de récolte, l'origine géographique, le procédé de récolte, de séchage, de broyage, de conditionnement, mais aussi par le taux d'ensoleillement et par le fait que certains industriels supplémentent les milieux de culture afin que *la spiruline* produite soit plus riche en fer, en zinc ou encore en acides gras.

En général la *spiruline* est composée de **70% de protéines, 20% de glucides, 5% de lipides, 7% de minéraux et de 3 à 6% d'eau**. Cette composition est très complète et variée: avec un excellent apport en protéines, une bonne répartition des lipides, des glucides, des vitamines, des minéraux et des oligo-éléments.



Tableau 06: Composition chimique de *Spirulina platensis* selon la littérature.

	a /100 g	b /100g	b /10 g	c /100 g	d %	e %
Protéines	-	60 g	-	55-70 g	-	-
--Acides aminés essentiels (mg)	1000	-	-	-	-	-
Histidine	3500	-	-	-	1,6%	-
Isoleucine	5380	-	-	-	3,5%	-
Leucine	2960	-	-	-	5,4%	-
Lysine	1170	-	-	-	2,9%	-
Méthionine	2750	-	-	-	1,4%	-
Phénylalanine	2860	-	-	-	2,8%	-
Acides aminés non essentiels (mg)						
Alanine	4590	-	-	-	4,7%	-
Arginine	4310	-	-	-	4,3%	-
Acide aspartique	5990	-	-	-	6,1%	-
Cystine	590	-	-	-	1,6%	-
Acide glutamique	9130	-	-	-	9,1%	-
Glycine	3130	-	-	-	3,2%	-
Proline	2380	-	-	-	2,7%	-
Sérine	2760	-	-	-	3,2%	-
Tyrosine	2500	-	-	-	3%	-
Glucides (g)	17,8	16 g	-	15-23 g	-	-
Fibre diététique	7,7	-	-	2-4 g	-	-
Sucres	1,3	-	-	-	-	-
Lactose	< 0,1	-	-	-	-	-
Polysaccharides	-	-	460mg	2000-4000mg	-	-
Lipides (graisse totale)	4,3	6 g	-	3-5 g	-	-
Graisse saturée	1,95	-	-	-	-	-
Graisse polyinsaturée	1,93	-	-	-	-	-
Graisse de Monosaturated	0,26	-	-	-	-	-
Cholestérol	< 0,1	-	-	-	-	-
Acides gras	-	-	-	-	-	8%
palmitique (16:0)	-	-	-	-	29,6%	25-60%
palmitoléique(16:1) oméga-6	-	-	-	-	5%	0,5-10%
stéarique (18:0)	-	-	-	-	2,2%	0,5-2%
oléique (18:1) oméga-6	-	-	-	-	2,7%	5-16%
linoléique (18:2) oméga-6	-	-	-	-	13,7%	10-30%
gamma-linolénique(18:3 oméga-3	1080 mg	-	-	1000-1350mg	23,6%	8-40%

	a /100 g	b /100 g	b /10 g	c /100 g	d %	d /10g	
Vitamines	Vitamine A (Béta-caroténe)	352.000 IU	17000 IU	-	100-200mg	-	24000UI 14mg
	Vit B1	0,5 mg	10-35mg	-	3-5mg	-	0,35mg
	Vit B2	4,53 mg	0,2-0,4 mg	-	1,5-4mg	-	0,40mg
	Vit B3	14,9 mg	1,2 mg	-	10-14mg	-	1,6
	Vit B6	0,96 mg	0,8 mg	-	0,4-0,6mg	-	0,8mg
	Vit B8	-	0,5 mg	-	-	-	5mmg
	Vit B9	-	-	-	-	-	0,1mg
	Vit B12	162 mcg	0,15-0,20mg	-	0,2-0,25mg	-	0,29mg
	Vit E	-	1 mg	-	5-10mg	-	1,2mg
	Vit D	-	-	-	-	-	1200UI
	Vit K	1090 mcg	0,2 mg	-	-	-	0,2mg
	Ac. Folique	-	0,1 mg	-	50-150mg	-	-
Ac.Panto	-	10 mg	-	0,5-1,5mg	-	-	
Phyto-nutriments	Chlorophylle	1,2%	100mg	-	900-1200mg	-	1,2%
	Caroténoïdes	504 mg	30-40mg	-	300-400mg	-	0,4%
	B-carotene	-	-	-	-	-	0,18%
	Phycocyanine	17,2%	110mg	-	1000-1600mg	-	>16,5%
Minéraux	Minéraux	-	11g	-	-	-	-
	Calcium	468 mg	-	25-50mg	600-1200 mg	0,7%	-
	Phosphore	961 mg	-	80mg	-	0,8%	-
	Fer	87,4 mg	-	7-10 mg	55-150mg	0,18%	-
	Zinc	1,45 mg	-	0,3 mg	2-4mg	0,03%	-
	Magnésium	319 mg	-	20-40 mg	350-500mg	0,4%	-
	Sodium	641 mg	-	90-120 mg	-	0,09%	-
	Cuivre	0,47 mg	-	0,12 mg	-	1,8%	-
	Manganèse	3,26 mg	-	0,5 mg	-	0,1%	-
	Chrome	25,5 mcg	-	0,25 mg	-	0,25%	-
	Sélénium	25,5 mcg	-	0,1 mg	10-30mg	1,9%	-
Potassium	-	-	-	-	140%	-	
Humidité	-	7%	-	5-7%	-	-	

a: Gabriela Gutierrez-Salmeán et al, 2015

b : Jean Louis Vidalo, 2008; Spirulina platensis-ferme EARTHRISE (U.S.A) Analyse standards « valeurs moyennes observées en routine »

c: Jean Louis Vidalo, 2008; Dogguang Dong Hi Biotech. Co Ltdd : Jean Louis Vidalo, 2008; Spiruline H.T.P.A (à haute teneur en principes actifs) (Institut Hippocampe –Genève)

e : Spiruline aspects Nutritionnels J. Falquet J.-P. Hurni Antenna Technologies 2006

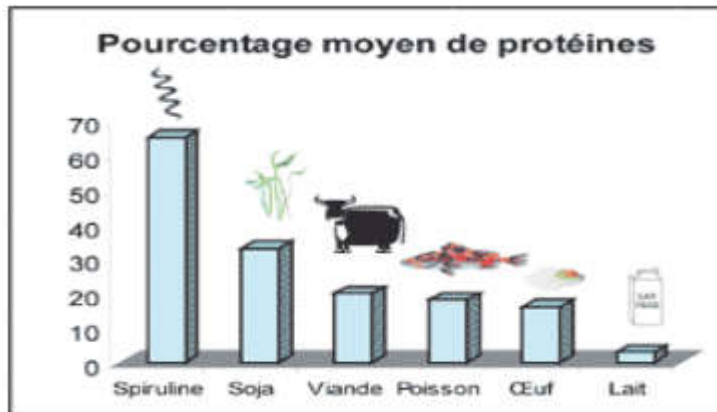
Tableau 07: Principaux acides gras de *la Spiruline*

Profil typique des acides gras de la Spiruline ( <i>Arthrospira</i> sp)	
Acides gras	% des acides gras totaux
Palmitique	(16:0) 25-60%
Palmitoléique (16:1) oméga-6	0.5-10%
Stéarique (18:0)	0.5-2%
Oléique (18:1) oméga-6	5-16%
Linoléique (18:2) oméga-6	10-30%
Gamma-linolénique (18:3) oméga-6	8-40%
Alpha-linolénique (18:3) oméga-3	Absent

### III.1.composition de protéine

Indispensables à la vie, les protéines sont les molécules organiques les plus abondantes dans le corps humain, responsables de la structure et de la constitution chimique des individus, les protéines sont sous forme d'enzymes, d'hormones, d'anticorps, réparant les tissus, et essentiels à l'équilibre acido-basique. 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. La teneur en protéines de *la Spiruline* est élevée 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. Elle représente 10 à 11% de la masse humide, soit 60 à 70% de sa matière sèche. Ce pourcentage est bien plus élevé que celui du poisson (25%), du soja (35%), de la poudre de lait (35%) et des céréales (14%). Concernant les protéines, la NPU est une notion importante. Elle est estimée entre 53 et 61% soit 85 à 92% de celle de la caséine. Elle est déterminée par la digestibilité et calculée à partir du pourcentage d'azote absorbée, en effet, en terme de valeur, la NPU peut aller de 0 à 1 (ou 100), avec une valeur de 1 (ou 100) indiquant une utilisation de 100% de l'azote alimentaire comme protéine et une valeur de 0 indiquant qu'aucune partie de l'azote fourni n'a été convertie en protéine. Ce micro-organisme ne possède pas de paroi cellulosique mais une enveloppe relativement fragile, constituée de polysaccharides. Cette faible teneur en cellulose explique sa digestibilité de l'ordre de 75 à 83% (Costa et al., 2002). De ce fait, *la Spiruline* ne nécessite pas de cuisson ni même l'administration d'un traitement spécial pour une bonne digestibilité protéique. Au bout de 18 h, 85% des protéines sont digérées et assimilées. La

NPU de *la spiruline* est de 83% à 90% et est d'autant plus intéressante lorsqu'elle est comparée à celle des **lentilles (30%), de la viande de bœuf (15%) ou du lait**



**Figure 07:** Positionnement de *la Spiruline* par rapports à d'autres aliments en termes de taux de protéines.

### III.2. Lipides

Selon les modes d'extraction, ou la souche de *spiruline* utilisée, les lipides totaux peuvent correspondre de 5,6 à 11% du poids sec. La teneur en cholestérol est faible (3,25 mg /10g) ; une cuillère à soupe de *spiruline* contient 1,3 mg de cholestérol et 36 kcal. *La spiruline* contient peu d'acides gras saturés (par ex. palmitique, stéarique, arachidique) mais de nombreux acides gras **polyinsaturés (AGPI)** (25 à 60 % des lipides totaux). Elle est l'une des rares sources d'**acide  $\gamma$ -linoléique (GLA)** (30 - 35 % des AGPI) et d'**acide linoléique**. Le taux de **GLA** peut être augmenté (de + 1,2 à + 1,6 %) si la culture se fait avec une alternance de lumière/obscurité. Le **GLA** est présent dans les huiles d'onagre, de bourrache, de pépin de cassis, de chanvre et dans *la spiruline*, c'est un oméga 6 indispensable à la synthèse des leucotriènes et des prostaglandines. *La spiruline* n'apportant que des oméga 6, il est important de compléter l'alimentation avec une source d'oméga 3, du poisson gras par exemple. En effet ni l'**acide  $\alpha$ -linoléique (ALA)** ni l'**acide eicosapentaénoïque (EPA)** ni l'**acide docosahexaénoïque (DHA)**, trois oméga 3 ne sont détectés par chromatographie dans des échantillons de spiruline.

### III.3. Glucides

Les glucides représentent 15 à 25% de la matière sèche *des spirulines*. Les parois cellulaires *des spirulines* s'apparentent à celles des bactéries Gram positives puisqu'elles sont formées de glucosamines et d'acide muramique associés à des peptides. Bien que non digestibles, ces parois sont relativement fragiles et rendent le contenu cellulaire très accessible aux enzymes de digestion: c'est là un avantage important par rapport aux organismes pourvus de parois celluloses (levures, chlorelles...).

Les glucides simples (**fructose, glucose et saccharose**) sont en faible quantité comme le glycérol, mannitol et sorbitol. Cette faible proportion fait de *la spiruline* un aliment peu calorique. Deux substances glucidiques sont importantes:

- le **méso-inositol** phosphate, excellente source de phosphore,
- et le **calcium-spirulan** un polysaccharide composé de rhamnose, fructose et en quantité moindre de ribose, mannose, glucose, xylose, soufre et calcium. Il a été isolé par plusieurs équipes, et fait l'objet de nombreuses recherches qui seront abordées plus loin.

#### III.4. Composition en acides nucléiques

La teneur en acides nucléiques (ADN et ARN) est un point nutritionnel important car la dégradation biochimique d'une partie de leurs composants (les purines: adénine et guanine) produit en dernier lieu de l'acide urique. Or, une élévation du taux d'acide urique plasmatique peut produire à la longue des calculs rénaux et des crises de goutte. On admet généralement que la dose maximum admissible à long terme d'acide nucléique se situe aux alentours de 4 g par jour, pour un adulte. Il faudrait, donc consommer 80 g de spiruline sèche pour atteindre cette dose (la quantité de *spiruline* usuellement consommée ne dépasse pas 10 g de matière sèche). On peut donc raisonnablement penser que la teneur en acides nucléiques de *la spiruline* ne pose pas de problèmes, même à long terme et pour des doses élevées. Il faut ajouter que l'ARN produit deux fois plus d'acide urique que l'ADN, pour une même teneur en purines et que l'élévation du taux d'acide urique dépend aussi de multiples facteurs, tels que l'âge, le sexe ou encore l'obésité... Chez *Spirulina platensis*, on rapporte des valeurs de 4,2 à 6% d'acides nucléiques totaux dans la matière sèche. La proportion d'ADN serait d'un quart à un tiers par rapport à l'ARN. Ces chiffres sont à mettre en rapport avec d'autres aliments. La teneur en acides nucléiques des *spirulines* est très inférieure à celle de la généralité des unicellulaires.

#### III.5. vitamines

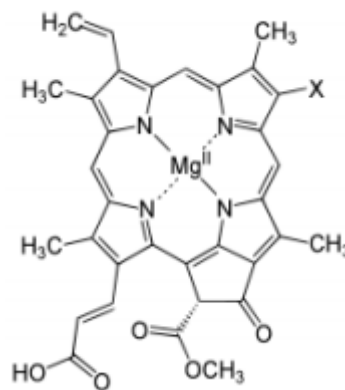
Les vitamines sont des composés organiques qui agissent en petites quantités et ayant un rôle dans le développement, le fonctionnement et l'entretien de l'organisme. Hormis la vitamine D qui est synthétisée au niveau de la peau, les vitamines doivent être apportées par l'alimentation en quantité minimales, quelques milligrammes voire microgrammes par jour. Les carences mettent du temps à s'installer mais peuvent se traduire par de la fatigue, des troubles de la mémoire mais aussi des maladies tels que le scorbut (carence en vitamine C), le béribéri (carence en vitamine B1)... Il existe 13 vitamines décrites et de nombreuses fonctions peuvent et leur seront encore attribuées, comme un rôle préventif contre des maladies telles que le cancer, la cataracte, les pathologies osseuses, maladies cardio-vasculaires,

malformations fœtales et déficit de l'immunité. Pour rappel, *la spiruline* ne contient pas de vitamine C. *La spiruline* contient une large gamme de vitamines.

Les valeurs du tableau n°06 sont variables car elles concernent différentes productions avec des procédés de conservation variés. En effet, les vitamines sont sensibles à la chaleur. D'après certaines études, les teneurs en vitamines seraient diminuées d'environ un tiers dans le cas de séchage sur des tambours chauffants. La granulométrie du produit final intervient également dans la préservation immédiate et la conservation à long terme des vitamines notamment pour le  $\beta$ -carotène. Une granulométrie plus élevée permettrait une meilleure conservation. Dans ce cas, le séchage par pulvérisation est déconseillé.

### III.6.Pigments

*La spiruline*, cette algue qu'on dit bleue mais que nous voyons verte et qui donne aux plumes des flamants leur couleur rose, contient toutes sortes de pigments. Elle contient des chlorophylles dont la chlorophylle *a* (typique des végétaux), des caroténoïdes dont le principal est le  $\beta$ -carotène et des **phycobiliprotéines** telles la **phycocyanine** et la phycoérythrine. Les teneurs en pigments de *Spirulina platensis*.



**Figure 08:** Molécule de la chlorophylle.

### III.7.Enzymes

*La spiruline* contient une quantité intéressante de **SOD** (**su** (1.000 à 4.000 UI/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.

### III.8.Minéraux et oligo-éléments

La différence entre minéraux et oligo-éléments est qu'un minéral excède 1/10 000 du poids du corps alors qu'un oligo-élément est présent dans des quantités 10 fois moindre; ainsi les besoins en minéraux sont de l'ordre du gramme alors que les besoins en oligo-élément

sont de l'ordre du milligramme ou microgramme. *La spiruline* contient tous les minéraux essentiels (7 % du poids sec). Selon le pH et la composition du milieu de culture, elle absorbe plus ou moins les minéraux d'où des teneurs variables. Concernant le fer, il est 2 à 3 fois mieux assimilé que celui des légumes ou de la viande. En effet, le fer de *la spiruline* n'est pas à l'état libre mais chélaté à des acides aminés qui vont favoriser son absorption.



***Chapitre II:  
Effet thérapeutique de la  
Spiruline***

Il existe nombreuses études précliniques et quelques études cliniques indiquent plusieurs effets bénéfiques: réduction du taux de cholestérol, effet anti-tumoral, amélioration du système immunitaire, augmentation des lactobacilles intestinaux, réduction de la néphrotoxicité provoquée par les métaux lourds et les médicaments, la protection contre les rayons ( Dargent L. *Spirulina platensis* et ses constituants intérêts nutritionnels et activités thérapeutiques).

## I.Effets de la *spiruline*:

### I.1.Pour l'être humain:

#### I.1.1.Effets thérapeutiques:

*Les Spirulines* sont des cyanobactéries aux multiples propriétés thérapeutiques:

- **anti-oxydante:** elle diminue le stress oxydant (Sguera, 2008).
- **anti-inflammatoire:** l'activité anti-inflammatoire est constatée lors d'une administration per os avant l'induction de la réaction inflammatoire (Sguera, 2008).
- **Anticancéreuse:** le calcium-*spirulan* agit par prévention de l'adhésion et de la migration des cellules tumorales vers la lame basale (Sguera, 2008).
- **Antivirale:** *la spiruline* bloque l'adsorption et la pénétration virale dans la membrane cellulaire (Sguera, 2008).
- **Activité antibactérienne:** Certaines études préliminaires in vitro d'extraits de *spiruline* sur quelques bactéries pathogènes (*E. coli* et *S. aureus*) ont permis d'observer un potentiel antimicrobien efficace (Qureshi et al., 1995).
- **Effets contre l'hyperlipidémie:** la consommation régulière de *spiruline* diminue le taux de cholestérol. Le premier rapport sur la réduction du cholestérol sanguin par *la Spiruline* a été réalisé sur des rats par (Devi et al., 1983).
  - **Effets contre le diabète:** la fraction soluble dans l'eau de la *Spiruline* a la propriété de diminuer le taux de glucose dans le sérum (Takai et al., 1991).
- **Effets contre l'hypertension:** (Iwata et al., 1990) ont remarqué une suppression de l'hypertension chez les rats, suite à un apport de *Spiruline*.
- **Effets contre l'obésité:** (Becker et al., 1986) ont montré qu'une supplémentation en *Spiruline* de 2,8 g 3 fois par jour pendant 4 semaines entraînait une réduction du poids corporel chez les obèses.



- **Immunomodulateur:** différentes études ont démontré que la *spiruline* était incontestablement un puissant tonifiant du système immunitaire (Qureshi, 1994, 1995, 1996).
- **Effets protecteurs contre les radiations:** d'après (Schwartz et al., 1987), les molécules protectrices présentes dans l'extrait de *Spiruline* agissent comme facteurs stabilisants de l'ADN. On observe alors une diminution des micronucleus induits par les rayons  $\gamma$  (Belay, 2002).
- **Hépatoprotection:** Les actions de *la spiruline* ou de ses composants sont donc plus préventives que curatives (Sguera, 2008).

### I.1.1.2.Effets cosmétiques:

*La spiruline* renferme toutes les vitamines et minéraux nécessaires pour avoir une peau, des cheveux et des ongles sains. La vitamine A permet un bronzage plus rapide et plus uniforme, la vitamine B5 permet à la peau de conserver son hydratation et sa souplesse et la vitamine B8, en diminuant l'excrétion de sébum, réduit la principale cause de chute des cheveux (Algosopette, 2017). La phycocyanine est utilisée dans cosmétologie pour la variété de couleurs qu'elle peut donner mélangé avec d'autres composés.

### I.1.2.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.
- **La spiruline porte plusieurs activités thérapeutiques et nous nés seules choisie à l'activité anticancéreuse.**

En France, le nombre de cancer a augmenté de 63% durant ces 20 dernières années, selon l'institut national du cancer, un homme sur deux et une femme sur trois seront touchés par cette maladie et il est responsable d'un décès sur trois chez l'homme et d'un sur quatre chez la femme.

- **Un mode de vie sain,** peut permettre de prévenir du cancer, avec un régime alimentaire à base de végétaux, peu de protéines animales, peu de graisses mono-insaturées de sel et de potassium; la pratique d'un exercice aérobie; la prise de faible dose d'aspirine (75 mg/j); la faible consommation d'alcool et de tabac, et éviter la contamination microbienne en conservant correctement les aliments (**Dupire, 2011**).
- **Des études épidémiologiques (Rothwell et al., 2010),**montrent que l'apport en soja est associé à un risque diminué de cancer de la prostate, du sein, de l'ovaire et du cancer colorectal, les végétaliens ont un risque de cancer diminué et l'incidence de nombreux cancers est plus faible chez les japonais que chez les américains (obésité, graisses mono-insaturées, résistance à l'insuline).
- L'apport d'oméga 3 à longues chaînes (EPA, DHA) qui peuvent agir comme inhibiteur compétitif de la liaison à la COX-2 diminue le risque de cancer du sein, de la prostate et du côlon. Un statut en vitamine D élevé diminue le risque de divers cancers, notamment colorectal mais des études de grande ampleur manquent.
- Pour revenir à **la spiruline** qui est une source de phycocyanine, un homologue de la bilirubine, si les études chez l'homme manquent, il en existe de très encourageantes avec la bilirubine, où la mortalité par cancer est statistiquement moins élevée quand le taux de bilirubine est supérieur.
- En quoi **la spiruline** peut-elle apporter un effet anticancéreux? (préventif ou curatif) :  
Par sa composition:
- **en polysaccharides** qui améliorent l'activité enzymatique des endonucléases, enzymes réparatrices des dommages de l'ADN pouvant aboutir à des cancers,

- **en antioxydant.** Les plans anti-cancer français indiquent de pratiquer une activité physique régulière et de consommer 5 fruits et légumes par jour; vu l'appauvrissement des sols et donc des fruits et légumes en minéraux et vitamines, si 5 fruits et légumes n'apportent plus assez d'antioxydants, l'alimentation peut être complétée par de **la spiruline**.
- **en calcium-spirulan (Ca-SP)**, un polysaccharide dont l'administration IV de 100 mg a montré une diminution des métastases pulmonaires sur des cellules colonisées par des tumeurs pulmonaires
- **En effet le Ca-SP** inhibe l'invasion tumorale avec une diminution du nombre de colonies, il empêche l'adhésion tumorale par inférence aux mécanismes d'adhérence et de migration (**Ismail et al., 2009**).
- **l'extrait total de spiruline** augmente la durée de vie de souris atteinte de lymphosarcome.
- **Chez des hamsters** atteints de tumeurs buccales, une régression totale des lésions.
- **Chez 30% des animaux** après 4 semaines de prise de **spiruline** est observée. **La spiruline** totale est chimio préventive contre la carcinogenèse mammaire induite par le 30mg/kg de DMBA (diméthylbenz[a]anthracène).
- **Chez le rat**, avec une réduction de l'incidence des tumeurs passant de 87 à 13% dans le groupe **spiruline** + DMBA en réduisant l'expression de ki-67 (qui est un marqueur de prolifération cellulaire) et des œstrogènes (**Ismail et al., 2009**), résultats à approfondir chez des femmes ayant des risques de cancers du sein familiaux.
- **En phycocyanine C** qui a été étudiée dans la chimio prévention du cancer du côlon chez le rat. Le nombre et la taille des tumeurs et des lésions sont réduites sur des coupes histologiques (**Saini et al., 2014**) par une liaison au VEGF- récepteur ainsi que par une diminution de l'expression de plusieurs molécules: MMP-2 et 9, des métalloprotéines angiogéniques, empêchant la formation de néo-vaisseaux et donc la croissance de la tumeur. Elle bloque le cycle cellulaire dans le stade G-1 mais ne favorise pas toujours l'apoptose. Elle est cytotoxique et cytostatique.
- **in vitro** sur le carcinome à cellule squameuse; et elle empêche le développement d'une tumeur chez des hamsters et chez des souris via le développement du système immunitaire.
- **In vitro**, elle a aussi un effet anti-COX-2 sélectif, et inhibe le cycle cellulaire, en affectant l'expression de P53, régulant l'expression de cytokines pro-inflammatoires (IL-1, 2 et TNF $\alpha$ ) et de facteurs de transcription (Janus kinase 3) et Stat3 (activateur

de la transcription) ce qui inhibe la progression des tumeurs (**Saini et al., 2013**). Elle bloque aussi des voies de signalisation (PI3-K et Akt) qui sont sur exprimées lors de cancers (**Saini et al., 2012**). Une méta-analyse a conclu que l'aspirine utilisée quotidiennement chez l'homme à des doses anti-agrégant plaquettaire (75 mg/jour) (**Rothwell et al., 2010**) pour prévenir des maladies cardiovasculaires protège contre la mortalité du cancer colorectal (-20 % après 20 ans). Cette protection serait due à l'inhibition de la COX-2 (**McCarty et al., 2012**).

- **En effet ces résultats** ne sont obtenus que sur les adénocarcinomes qui sur expriment COX-2, est-ce que la phycocyanine de part son activité anti-COX-2 pourrait avoir le même résultat? Au vu de ses résultats *in vitro* ou chez l'animal quelques études chez l'homme existent:
- **Tout d'abord** pour montrer l'effet préventif de **la spiruline** sur le taux d'incidence des cancers, étude réalisée en **1995** sur 77 patients atteints de leucoplasie, lésion précancéreuse orale (due à la chique de tabac) au Kerala, étude ni randomisée ni en double aveugle.
- **Les auteurs** observent dans 45% des cas une régression complète de la leucoplasie après 1 an de supplémentation à 1 g de **spiruline** par jour. Ils n'ont pas pu déterminer quel 39 constituant de **la spiruline** avait conclu à cet effet mais après un an d'arrêt thérapeutique 45 % des lésions étaient revenues (**Houston et al., 2002**).
- **La spiruline** peut aussi augmenter l'efficacité d'un traitement par chimiothérapie comme le montre l'étude sur un groupe de plantes (MB6) vendu à Taïwan à base de soja fermenté, de thé vert, de **spiruline**, d'extrait de pépin de raisin, de curcumine et **d'Antrodia camphrata mycelium**.
- **60 patients** atteints de cancer colorectal métastasé et traité par un protocole anticancéreux FOLFOX4 ont participé à une étude en double aveugle MB6 à 6 gélules de 320 mg/j vs placebo pendant 16 semaines (**Chen et al., 2014**).
- **Les patients** ont été suivis 77 semaines après. MB6 augmente l'efficacité de la chimiothérapie et prolonge la durée de vie par rapport à la chimiothérapie seule. Il n'y a eu aucune progression de la maladie dans le groupe MB6; le taux de réponse globale est supérieur dans le groupe MB6 (42 vs 39 %) et surtout, le complexe de plantes MB6 ne diminue pas l'efficacité de FOLFOX4; il n'y a aucune interférence avec l'effet cytotoxique, améliorant même la tolérance de la chimiothérapie et diminuant les effets indésirables (6 vs 13).

- **La progression de la maladie** est plus lente et la qualité globale de survie meilleure. Le mécanisme d'action de MB6 n'est pas connu, il serait multi factoriel et dû aux différents composants.
- **Cette étude chez l'homme** confirme les études animales, MB6 augmentant la durée de vie sans progression de la tumeur et surtout sans les effets indésirables des anticancéreux, malgré les limites de l'étude: la taille de l'échantillon: 60 personnes, aucune recherche sur la dose optimale ni les ingrédients véritablement actifs dans le mélange mais ce résultat est encourageant et mérite de poursuivre les recherches avec seulement de *la spiruline*.
- **De plus la spiruline** a un rôle de protection contre les effets secondaires des traitements anticancéreux:
- **le cisplatine**, un anticancéreux largement utilisé de nos jours entraîne une néphrotoxicité par augmentation des EROs avec nécrose du tissu rénal, or l'injection intrapéritonéale de 1000 mg/kg de *spiruline* 4 jours avant l'injection de 6 mg/kg de cisplatine chez le rat permet de diminuer la peroxydation lipidique par l'apport d'antioxydant, réduit le taux de créatinine et d'urée et améliore les résultats histologiques (**Khan et al., 2005**).
- **la doxorubicine** est un antibiotique anthracycline utilisé comme anti néoplasique contre de nombreuses tumeurs solides et hématopoïétiques mais ayant comme principal effet indésirable d'entraîner des lésions cardiaques importantes avec une insuffisance cardiaque congestive liée à la génération d'espèces réactives de l'oxygène (EROS: O<sub>2</sub><sup>°</sup>, OH<sup>°</sup>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), à la diminution des enzymes anti-oxydantes et à un dysfonctionnement mitochondrial. Les radicaux libres attaquent les membranes des cardiomyocytes, la cellule 40 ayant moins d'antioxydant ne peut se défendre. Cette cardiomyopathie est irréversible après une dose aiguë ou une dose cumulée sur plusieurs cures de chimiothérapie.
- **Une étude** indienne a prouvé que le prétraitement par 10nM de phycocyanine ou 50mg/ml de *spiruline* sur des cardiomyocytes de rats adultes permettait de protéger les cellules de la doxorubicine par diminution des ROS sans interférer avec l'action anti-tumorale (**Khan et al., 2006**).
- **D'autres effets** indésirables de la DOX (augmentation du volume d'ascite, de la peroxydation lipidique, de la congestion du foie, et du stress oxydatif) ont aussi été étudiés chez 80 souris (**Khan et al., 2005**).

- **Les résultats** montrent que l'injection de *spiruline* avant l'injection intra-péritonéale de DOX protège de manière significative les souris contre les effets cardiotoxiques de la DOX: la mortalité baisse à 26 % dans le groupe *spiruline* vs 53% dans le groupe placebo. Elles ont moins de liquide d'ascite ( $0,91 \pm 0,2$  vs  $2,05 \pm 0,58$  ml). La peroxydation lipidique évaluée par le MDA augmente dans les 2 groupes mais l'augmentation est atténuée par *la spiruline*, les enzymes anti-oxydantes ont significativement augmenté dans le groupe *spiruline* + DOX et les résultats histologiques montrent une faible amélioration au niveau du remodelage cardiaque dans le groupe *spiruline* et surtout ils montrent que la *spiruline* ne compromet pas l'activité anti-tumorale de la DOX.
- **Au contraire** il y a même une augmentation de l'apoptose avec *la spiruline*, peut-être que la *spiruline* aurait un rôle anti-tumoral?
- **Pour conclure**, la *spiruline* réduit la cardiotoxicité induite par la DOX et la néphrotoxicité induite par le cisplatine sans effet d'interférence avec l'anticancéreux, cet effet prometteur serait à développer chez l'homme pour vérifier que les mêmes résultats soient obtenus.
- **Les nombreux modes** d'action des composants (antioxydant, anti-radicalaire, anti-Cox2, cicatrisant, stimulant immunitaire, stimulant des NKC), font que la *spiruline* est prometteuse dans la prévention contre le cancer, un mode de vie sain, quelques complémentations (AGE, Vitamine D, *spiruline*) peuvent permettre de réduire l'incidence du cancer. Si ce n'est pas le rôle du pharmacien de conseiller *la spiruline* pendant l'chimiothérapie, elle peut être utile lors de la convalescence.

## Mortalité

Estimation de l'évolution du nombre de décès selon l'OMS exprimé en millions



Figure 09: Evolution du nombre de décès selon l'OMS.



***Chapitre III***  
***Matériels et méthodes***



## Objectifs:

Les travaux ont porté sur l'évaluation de plusieurs méthodes d'extraction de la phycocyanine issue de deux types de *spiruline* provenant des régions de Tamanrasset (Algérie) et de Djerba (Tunisie) pour déduire la méthode optimale d'obtention d'une grande masse de phycocyanine.

## III. Matériels et méthodes

### III.1. Matériel végétal

La *spiruline* algérienne est produite artisanalement dans des bassins où les conditions de culture et de production sont maîtrisées (Hiri, 2013). La souche algale utilisée est dénommée Behatam, elle est située à 1824 m d'altitude près de Tamanrasset dans le Sahara algérien, à la Guelta Taguemart. La récolte de nos échantillons a été faite durant le mois de juin 2014. Les feuilles de la plante sont ensuite séchées, broyées et conservées dans des flacons en verre à l'abri de la lumière et de l'humidité pour les besoins de l'étude.

La souche tunisienne dénommée « *Spirulina platensis* » provient de la région de Milita Djerba. Elle est produite en paillettes au niveau de la station de Djerba, représentant un environnement le plus adapté à sa croissance.

### I.2. Analyse physico-chimique de *S. platensis*

Un pH-mètre a été utilisé pour déterminer le pH d'une solution à 4 % de *S. platensis* (4 g de poudre de *S. platensis* diluée dans 100 ml d'eau distillée). La détermination du taux d'humidité a été faite selon la méthode officielle de l'American Oil Chemists Society (AOCS) en 1990 (Lynch, 2001).

Les résultats ont été exprimés en pourcentage poids d'eau par rapport au poids initial, par l'équation suivante:

$$H = \frac{m1 - m2}{m1 - m0} \times 100$$

H: est le taux d'humidité exprimé en pourcentage (%) en masse.

m0: est la masse en grammes de la capsule vide.

m1: est la masse en grammes de la coupelle et de l'échantillon

m2: est la masse en grammes de la coupelle et du résidu sec.

Il est à noter que cette méthode ne mesure pas seulement la teneur en eau. Nous recommandons d'utiliser le terme « perte de masse », comme terme correct au lieu de celui déjà utilisé « humidité », car la détermination de la perte n'est pas seulement l'eau, mais tous les composés volatils dans les conditions opératoires du séchage (Meste, 2002).

La teneur en protéines a été déterminée à l'aide de la méthode de Kjeldahl, les résultats ont été exprimés à l'aide de l'équation suivante:

$$P = \frac{1.4 \times N \times (V1 - V0)}{m} \times 6.25$$

P: est le rapport protéique exprimé en pourcentage (%) en poids

N: est l'acide chlorhydrique normal.

V1, V0: sont les volumes de titrage de l'échantillon et du blanc.

M: est la masse en grammes de l'échantillon initial.

6,25 est le facteur de conversion de la protéine de *S. platensis*.

La méthode colorimétrique à l'anthrone décrite dans la méthode de recherche a été appliquée pour mesurer la teneur totale en sucres solubles.

Un dixième d'un échantillon de gramme séché (éclaté, finesse: passé à travers 100 mesh) a été pesé dans un tube à centrifuger de 10 ml, et 6 à 7 ml d'éthanol à 80 % y ont été ajoutés. L'échantillon a été chauffé dans un bain-marie à 80°C pendant 30 min, puis centrifugé (3000 tr/min) pendant 5 min.

Le surnageant a été collecté et l'extraction a été répétée deux fois (3000 tr/min pendant 10 min chacune) (Xinglu et al., 2011).

Le surnageant total a été recueilli dans un flacon et de l'éthanol à 80 % a été ajouté à un volume total de 50 ml.

En suite, 1 ml de solution a été prélevé et 1,5 ml d'eau a été ajouté, suivi de 6,5 ml de réactif anthrone.

L'échantillon a été mélangé et incubé à température ambiante (18-30°C) pendant 15 minutes pour permettre le développement de la couleur.

L'absorbance à la longueur d'onde de 620 nm a été mesurée après refroidissement de l'échantillon.

$$\text{Content of total soluble sugar \%} = \left\{ \left[ C \times \left( \frac{V}{a} \right) \right] / (W \times 10^5) \times 100 \right\}$$

Où, est la teneur en glucose obtenue en se référant à la courbe étalon (µg).

V: est le volume total de la solution extraite (mL).

A: est le volume de solution échantillon pour le développement de la couleur (mL).

W: est le poids de l'échantillon (g).

La teneur en matière grasse est déterminée par la méthode d'extraction Soxhlet en utilisant l'hexane comme solvant (NF V 03-905). 50 g d'échantillon ont été placés dans le Soxhlet et ajoutés à 500 ml d'hexane dans le ballon, et la température a été réglée à 60°C.

Ensuite, la majeure partie du solvant a été éliminée à l'aide de l'évaporateur rotatif. Le flacon contenant le lipide a été placé dans une étuve pendant 30 min à 103°C, puis dans un dessiccateur pendant 30 min. Le poids de lipides a été obtenu par différence entre le poids final et le poids initial du flacon. Les résultats sont donnés par la formule suivante:

$$\text{Fat content (\% MS)} = (A - B) \times \frac{100}{C} \times \frac{\text{MS}}{100}$$

A: est le poids de la balle + extrait en grammes.

B: est le poids de la fiole vide en grammes.

C: est le poids de l'échantillon en grammes

MS est le pourcentage de matière sèche.

La teneur en cendres (minérales) a été estimée à incinération dans un four à moufle à 550°C afin d'obtenir la totalité des cations sous forme de carbonate et autres sels inorganiques anhydres (AOCS., 1990).

### III.3.Détermination des teneurs en minéraux par spectroscopie d'absorption atomique

La spectrométrie d'absorption atomique est une méthode d'analyse élémentaire qui utilise la propriété d'excitation des atomes par l'ajout d'une énergie externe en tant que fréquence de rayonnement électromagnétique (photon) définie (Lynch, 2001).

Les éléments minéraux (Mg, Cu, Fe, ZN, K et Na) ont été déterminés par spectrométrie d'absorption atomique de type (Varian AA 240) liée à l'atomiseur à flamme (GTA 120).

En effet, la concentration de minéraux en ppm a été déterminée à l'aide de courbes standard préparées.

### III.4.Composition chimique des acides gras

La composition en acides gras de *S. platensis* a été déterminée par chromatographie en phase gazeuse (GC). La matière grasse testée a été obtenue par estérification par soxhlet de *S. platensis*. 0,35 g de *S. platensis* dans un flacon de 100 ml ont été ajoutés à 6 ml d'une solution de méthanol (2 g de NaOH dans 100 ml de méthanol) pendant 10 min à 70°C) ; a été ajouté après 7 ml de BF<sub>3</sub> (2 min à 70°C), puis 5 ml de N-heptane (1 min), et ajusté à 100 ml avec une solution saturée de NaCl. Après décantation de la solution, la phase lipidique est récupérée.

La condition pour l'analyse GPC comprenait: instruments, Chromatography Chrompack avec détecteur CP9002, injecteur FID SPLIT 1/100, gaz vecteur: Azote, colonne DB23 (longueur de la colonne: 30 m ; diamètre de la colonne: 0,32 mm; épaisseur du film: 0,25 m); températures: injection, 250°C; détecteur, 250°C; programmation de la température dans la colonne, la température de départ était de 150°C et la température finale, était de 220°C; la vitesse d'augmentation de la température était de 4°C/min, la quantité injectée est de 0,2 L; la vitesse du papier était de 0,5 cm/mN.

### III.5.Méthodes d'extraction

#### III.5.1.Extraction par l'eau

Une suspension de 4 % de *spiruline* dans l'eau a été préparée à l'obscurité. La solution obtenue, subit une décantation puis une centrifugation (9000 tours/15 mn) à 4°C. On prélève alors le surnageant lequel subit une dilution (facteur 100) avec de l'eau. On a mesuré ensuite la densité optique de la solution à 615 nm, 652 nm, 620 nm et 280 nm. Le calcul du taux (%) en phycocyanine est effectué selon la formule de (M'Baye et al., 2011).

% en phycocyanine:

$$1,873 \times (\text{Abs}620 - 0.474 \times \text{Abs}652) = f/C$$

Avec:

C: % de la concentration de *spiruline* sèche mise à tremper dans l'eau autour de 4 %.

F: le facteur de dilution en volume.

#### III.5.2.Extraction par sonification

On met 10 mg de *spiruline* en suspension dans 100 ml de tampon phosphaté, la solution est mise sous l'action de l'ultrason E 3010 NA pendant 5 min suivie d'une centrifugation (9000 tours/15min à 4°C). On prélève le surnageant et on ajoute de nouveau au culot 100 ml de tampon et on le remet à l'action de l'ultrason pendant 2 à 3 min, puis centrifugation afin de prélever de nouveau le surnageant et le mélanger avec le premier et mesurer les absorbances à 615, 652, 620 et 280 nm. Le taux (%) en phycocyanine est calculé selon la formule de (Bennett et al., 1973).

$$PC = [\text{Abs}615 - 0,474 \times \text{Abs}652] / 5,34$$

La pureté de phycocyanine est déduite selon la formule: Ab620/Ab280.

Avec:

Ab à 620 nm indiquant la concentration de la phycocyanine.

Ab à 280 nm indiquant la concentration totale des protéines.

#### III.5.3.Extraction par congélation

On met 100 mg d'algues secs dans 200 ml de tampon. La solution subit des cycles de congélation/décongélation (congélation à -20°C) jusqu'à l'éclatement des cellules. La solution obtenue subit une première centrifugation. Au surnageant, on ajoute 20% de sulfate d'ammonium saturé ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), on le laisse reposer pendant 2 heures. Après une deuxième centrifugation, on ajoute au surnageant obtenu 45% de sulfate d'ammonium saturé.

Enfin une troisième centrifugation est effectuée directement et le culot est récupéré. Des lectures de spectrophotométrie sont effectuées à des absorbances de 615nm, 620nm, 652nm et 280nm.

$$PC \text{ (mg/ml)} = (\text{Ab}615 - 0,474 \times \text{Ab}652) / 5,34$$

### III.5.4.Extraction par solvant

On verse 4 g de *spiruline* dans 120 ml de tampon phosphate, au début on l'incube à l'obscurité à 4 °C pendant 12h (pour permettre la lyse des cellules à l'hypotonie de mise), puis centrifuger pour la première fois et récupérer le surnageant bleu.

Ensuite, on ajoute 120 ml du tampon phosphate au précipité et incubé 12h à l'obscurité. Après la deuxième centrifugation, les deux surnageants sont mélangés afin de lire l'absorbance à 615, 652, 620 et 280 nm. Le calcul du % en phycocyanine est basé sur de l'équation de (Chen et al., 2006).

$$PC \text{ (mg/ml)} = (Ab_{615} - 0,474 \times Ab_{652}) / 5,34.$$

### III.5.5.Extraction par séparation aqueuse à double phase

Une solution de *spiruline* de 90 % est préparée à l'obscurité. On lui rajoute une solution de 40% de polyéthylène glycol (PEG): 40 g PEG dans 60 g d'eau, ensuite une solution de sels de phosphates à 20%: mélange de 10 g de K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> et 10 g de KH<sub>2</sub> PO<sub>4</sub> dans 60 g d'eau (on a utilisé une solution glucosée à 20% et on a comparé le rendement d'extraction) (Bulgariu al., 2008).

En se référant à la méthode d'Albertson [4] on a prélevé 1g de 40 % (W/W) de PEG, 1,25 g de 20 % (W/W) de sels phosphates + 0.5 g de *spiruline* et 2.25 g d'eau. Après mélange, le composé mis à l'obscurité, subit une agitation pendant 20 min à l'aide d'un agitateur, puis une centrifugation, mesure de volumes de phases, de lecture de l'absorbance à 620, 652, 615 et 280 nm. Le calcul du pourcentage en phycocyanine et de sa pureté est basé sur les équations suivantes:

$$PC \text{ (mg/ml)} = (Ab_{615} - 0,474 \times Ab_{652}) / 5,34.$$

### III.5.6.Extraction par macération dans le glycérol

En s'inspirant des travaux de (Pottcher, 2014). On a mélangé 800 g de poudre de *spiruline* algérienne dans un volume de 60 /40 eau/glycérol. On laisse macérer pendant 15 j à température ambiante à l'obscurité. Une filtration frontale lente est ensuite effectuée, avec un filtre compatible alimentaire (filtre en nylon, finesse de 25 µm).

Nous avons suivi le même protocole pour *la spiruline* tunisienne au sein du Laboratoire de l'Institut des Régions Arides (IRA) (Médenine, Tunisie). Le calcul de pourcentage de la phycocyanine est réalisé selon les formules suivantes:

$$PC \text{ (mg/ml)} = (Ab_{615} - 0,474 \times Ab_{652}) / 5,34.$$

## III.6.Caractérisation des extraits de phycocyanine

### III.6.1Analyse des composés phénoliques

#### III.6.1.1.Polyphénols totaux

On fait diluer l'extrait de la phycocyanine algérienne ainsi que celui de la souche tunisienne, puis on met 0,5 ml de chaque dilution dans des tubes à essai pour chacune d'elles. On ajoute 5ml d'eau distillée et 0,5 ml de réactif de Folin à 10%. Après 3 mn on ajoute 0.5 ml de carbonate de sodium 20%. La lecture des absorbances est faite à 760 nm, après agitation et repos d'une heure à l'obscurité.

La concentration en composés phénoliques totaux est déterminée en se référant à la courbe d'étalonnage obtenue en utilisant l'acide gallique comme standard d'étalonnage (Brand et al., 1973).

### III.6.1.2. Quantification des composés phénoliques par chromatographie (HPLC)

La chromatographie liquide haute performance (HPLC, Waters Alliance 2695) avec détection UV (détecteur UV 24889 et un logiciel empower V3) a été utilisée pour l'identification et la détection du profil phénolique de l'extrait. La phase mobile est de composition gradiente. Elle est composée de deux solvants A et B dont la proportion est mentionnée dans le tableau suivant:

**Tableau 08** : Composition des deux éluant en fonction du temps de l'opération (**Moukette et al., 2015**).

Proportion (%)		
Temps(mn)	Solvant A (Acétonitrile)	Solvant B (H <sub>2</sub> O,PH 2,5)
<b>Initial</b>	<b>2</b>	<b>98</b>
<b>5,00</b>	<b>2</b>	<b>98</b>
<b>15,00</b>	<b>5</b>	<b>95</b>
<b>17,00</b>	<b>100</b>	<b>0</b>
<b>25,00</b>	<b>100</b>	<b>0</b>

### III.6.2. Activité antioxydante

Le pouvoir antioxydant de la phycocyanine a été mesuré par deux méthodes:

#### III.6.2.1. Méthode au diphenylpicrylhydrazyl (DPPH)

Une quantité de 12 mg de DPPH a été solubilisée dans 50 ml de méthanol. De la solution mère, on prélève 3 ml pour faire la dilution dans 7 ml de méthanol. Pour *la spiruline* algérienne: On prend 0,21 ml de l'extrait de phycocyanine dans 1,94 ml de la solution de DPPH et on fait une incubation à l'obscurité pendant 30 min à 20°C.

Le même protocole est utilisé pour la détermination de l'activité antioxydante pour *la spiruline* tunisienne. La lecture de l'absorbance s'est effectuée à 517 nm. L'activité antioxydante pour chacune des solutions a été calculée selon la formule:

$$\text{Delta-DPPH} = \text{ADPPH} - [\text{A517}] \text{ simple}$$

### III.6.2.2. Détermination du pouvoir réducteur par la méthode de FRAP (Bujard *et al.*, 1970)

Un volume de 1 ml de phycocyanine algérienne ou tunisienne a été mélangé à 2,5 ml de tampon phosphate (0,2 M, pH 6,6) et 2,5 ml de solution aqueuse d'hexacyanoferrate de potassium K<sub>3</sub> [Fe (CN)<sub>6</sub>] à 1 %. Après 30 mn d'incubation à 50 °C, nous avons ajouté 2,5 ml de la solution d'acide trichloracétique à 10 % au mélange, qui a ensuite subi une centrifugation pendant 10 mn. Un aliquote (2,5 ml) de surnageant est combiné à 2,5 ml d'eau distillée et à 0,5 ml de solution aqueuse de FeCl<sub>3</sub> à 0,1 % puis l'absorbance a été mesurée à 700 nm.



## ***Résultats et discussion***



## Résultats et discussion

### IV. Résultats et discussion

#### IV.1. Analyse physico-chimique de *S.platensis*

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur *S. platensis* sont présentés dans le tableau 09.

**Tableau 09:**Résultats de l'analyse physico-chimique de *S. platensis* Paramètre (Bensehaila et al., 2017).

Composition	<i>S. platensis</i>
Potentiel d'hydrogène (pH)	7.81 ±0.05
Humidité (%)	5.42 ± 0.031
Protéines (%)	60.32± 0.15
Lipides (%)	7.28 ±0.021
Taux de sucres totaux (%)	17.63 ±0.133
Taux de cendres (%)	6.88 ± 0.05
Apport calorique (kcal)	369.28

La composition variétale dépend des conditions de croissance et des techniques de production de *S. platensis*; quelques différences ont été observées. Il a été remarqué que le pH de *S. platensis* était de  $7,81 \pm 0,05$ , un pH légèrement basique. L'humidité (teneur en eau) est la teneur en eau de la poudre de *S. platensis*, mesurée en pourcentage d'eau par rapport à son poids sec. Il est de  $5,42 \pm 0,031\%$  pour notre test; cette valeur est similaire à celle trouvée par des travaux antérieurs: 4 à 6 % par (Espiard et al.,2002) et 4 à 7 % par ( Pierlovisi et al., 2007).

*S. platensis* est riche en protéines car elles représentent 50 à 70 % de sa matière sèche (Clément, 1975; Fox, 1999).Les valeurs les plus élevées sont obtenues lorsque la récolte a lieu au début de la période d'éclairement.

En revanche, en comparaison avec d'autres sources de protéines végétales moins riches, *S.platensis* est consommable dans son ensemble (Dillon et al., 1995). Cette valeur ( $60,32 \pm 0,15\%$ ) était très intéressante par rapport à la teneur moyenne en protéines de certaines graines de légumineuses: haricot (22%), pois (22%) et même soja (38%). *S.platensis* apparaît comme l'une des espèces végétales les plus riches en protéines (Léonard et Compère, 1967).

L'incorporation de poudre de *S.platensis* a entraîné des améliorations considérables de la teneur en protéines du produit alimentaire (Rodríguez De Marco et al., 2014). Les teneurs

## Résultats et discussion

en protéines de *S.platensis* présentent une digestibilité très élevée (83-90% contre 95,1% pour la caséine pure) en raison de l'absence de parois cellulosiques.

Par conséquent, la cuisson n'est pas nécessaire pour augmenter la disponibilité des protéines (Hoseini et al., 2013). Les principaux constituants protéiques ayant des effets bénéfiques significatifs sur la santé sont les phycobiliprotéines, la phycocyanine C et l'allophycocyanine (à un rapport d'environ 10:1), qui ont des groupes prothétiques tétrapyrroles linéaires (phycocyanobiline) liés de manière covalente à des résidus cystéine spécifiques des protéines.

Les phycocyanines constituent environ 15 à 25 % du poids sec des microalgues (Bermejo et al.,1997; Romay et al., 2003). Les phycocyanines peuvent être considérées comme un colorant alimentaire naturel sûr dans les aliments non acides tels que les chewing-gums, les confiseries et les produits laitiers (Downham et Collins., 2000).

La teneur en glucides était de  $17,63 \pm 0,133\%$ , et cette valeur est similaire aux valeurs d'autres chercheurs qui représentaient 13,6 à 25% de glucides de la matière sèche de *S.platensis*. La paroi de *S. platensis* en tant que bactérie à Gram négatif, est composée de glucosamine et d'acide muramique associés à des peptides (Quillet, 1975).

La paroi cellulaire de *S. platensis* contient environ 0,5 % de sa teneur en glycogène en poids sec (Quillet,1975; Fox,1999). Le principal composant polymère de *S.platensis* est un polysaccharide ramifié, structurellement similaire au glycogène. Des polysaccharides anioniques de haut poids moléculaire avec des activités antivirales et immunomodulatrices ont été isolés de *S.platensis* (Parages et al., 2012).

$$C = \frac{m_3 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100$$

C: est la cendre, exprimée en pourcentage (%) en poids.

m0: est la masse en grammes du creuset vide.

m1: est la masse en grammes du creuset et de l'échantillon.

m2: est la masse en grammes du creuset et de son contenu (cendres) après incinération.

### IV.2.Détermination des teneurs en minéraux par spectroscopie d'absorption atomique

Les résultats analytiques de la composition minérale de la poudre de *S. platensis* sont présentés dans le tableau 10:

## Résultats et discussion

**Tableau 10:** Composition de la poudre inorganique de *S.platensis* (mg/g) (Bensehaila et al.,2017).

Poudre inorganique	Fe	Zn	CA	Na	K
<i>S. platensis</i> (Bensehaila et al.,2017)	0.88	0.009	0.22	27	20
<i>S. platensis</i> Johnson et Shubert, 1986	0.58-1.8	0.021-0.040	1.3–14	4.5	6.4– 15.4

*S. platensis* est riche en fer biodisponibilité qui est deux à trois fois supérieure à celle de la viande, et s'avère très utile pour améliorer la carence en fer-anémie associée souffrant de malnutrition protéino-énergétique (Pierlovisi, 2007).

*S.platensis* est également une bonne source de magnésium biodisponible chez l'homme. Le potassium est richement représenté chez *S.platensis*; atout intéressant dans les pays industrialisés où le rapport sodium/potassium est souvent trop élevé.

Enfin, il est possible d'enrichir les souches de *S.platensis* en quelques oligo-éléments (zinc, sélénium, etc) (Falque, 2012).

Les niveaux élevés de plusieurs micronutriments, en particulier les minéraux (fer 0,58-1,8, calcium 1,3-14, phosphore 6,7-9,0 et potassium 6,4-15,4 g/kg) dans *S.platensis*, qui en ont fait un complément nutritionnel approprié pour les végétariens, sont dus à l'absorption de ces éléments pendant la croissance.

Par conséquent, la teneur en minéraux de *S.platensis* dépend de la source et des conditions de culture. Le calcium, le phosphore et le magnésium sont présents en quantités comparables à celles trouvées dans le lait. *S.platensis* est considéré comme un aliment riche en fer, avec une teneur en fer dix fois plus élevée que dans les aliments riches en fer courants. L'absorption du fer de *S. platensis* est 60 % supérieure à celle du sulfate ferreux (présent dans les suppléments de fer) (Falquet ,2012).

## Résultats et discussion

### IV.3.Composition chimique des acides gras

les pourcentages des composants identifiés par CPG comme indiqué dans le tableau 11 :

**Tableau 11.** Composition en acides gras de *S. platensis* (Bensehaila et al., 2017).

Composition	nomenclature	Sommaire (%) (Bensehaila et al., 2017).	Sommaire (%) (Pascaud, 1993)
Acide aurique	C 12:0	3.10	-
Acide myristique	C 14:0	3.60	0.2-0.5
acide palmitique	C 16:0	42.79	25
Acide palmitoléique (Oméga 6)	C 16:1	0.52	3.8
acide stéarique	c 18:0	1.81	1.7
Acide oléique (Oméga 6)	C 18 :1	0.33	16.6
Linoléique acide (Oméga 6)	C 18:2	9.43	12
Acide gamma linoléique (Oméga 6)	C 18:3	18.41	40.1
Acide béhénique	C 22:0	20.01	Traces

Le profil en acides gras de *S.platensis* varie selon la souche étudiée *S.platensis* contient principalement des acides gras polyinsaturés essentiels pour 18 atomes de carbone, en particulier les oméga-6 ( $\omega$ 6). C'est en effet l'une des meilleures sources d'acide gamma linoléique (18:3 $\omega$ 6) après le lait humain et certaines huiles végétales coûteuses selon (Pierlovisi; 2007).

*S.platensis* contient principalement des acides gras polyinsaturés essentiels pour 18 atomes de carbone, en particulier les oméga-6 ( $\omega$ 6). C'est en effet l'une des meilleures sources d'acide gamma linoléique (18 :3 $\omega$ 6) après le lait humain et certaines huiles végétales coûteuses selon (Pierlovisi; 2007).

La présence d'acide gamma-linolénique, C18: 3 oméga-6 a été notée en raison de sa rareté dans les aliments courants et de sa valeur alimentaire présumée élevée (Kay, 1991; Cohen et Voushak., 1991; Otles et Pire., 2001).

Les acides gras oméga-3 et oméga-6 de *S.platensis* empêcheraient l'accumulation de cholestérol dans l'organisme. Ceci peut expliquer en partie la diminution du cholestérol et des triglycérides observée dans les expériences de ( Ramamoorthy et Premakumari., 1996) et de (Samuels et al., 2002).

*S.maxima* et *S platensis* contiennent de l'acide linoléique  $\gamma$  (GLA), qui comprend respectivement 10 à 20 et 49 % de leurs acides gras. *S.platensis* peut être considéré comme

## Résultats et discussion

---

une bonne source de GLA. *S.maxima* contient également des acides oléique et linoléique insaturés ainsi que de l'acide palmitique saturé, qui constituent plus de 60 % de ses lipides. Le monogalactosyl- et le sulfoquinovosyl-diacylglycérol ainsi que le phosphatidylglycérol sont les principaux lipides de *S.platensis* (20-25 % chacun) (Petkov, 1988; Toyub et al., 2011).

Selon (Hayashi, 1996 et Lee et al., 1998), les activités antivirales et immunomodulatrices des polysaccharides de *S.platensis* sont discutées dans les sections connexes. Une fraction de polysaccharide sulfaté à propriété antivirale (*spirulan* calcique) a été largement purifiée et s'est avérée être composée de rhamnose, 3-O-méthylrhamnose (acofriose), 2,3-di-O-méthylrhamnose, 3-O-méthylxylose, acides uroniques et sulfate.

La teneur en matière grasse est de 7,28 % en poids sec; *S.platensis* peut être considéré comme ayant une teneur en protéines très élevée et moins de sources de matières grasses. Cette caractéristique lui confère l'avantage d'être relativement facile à éloigner des phénomènes d'oxydation des lipides et de rancissement.

Les lipides représentent généralement 6 à 8% du poids sec de *S.platensis* mais ce pourcentage peut atteindre 11%. La composition lipidique totale est caractérisée par un équilibre entre les acides gras saturés et les acides gras polyinsaturés (Hudson et al., 1974).

Les teneurs en lipides de *S.platensis*, sont séparées en une fraction saponifiable (83%) et une fraction non saponifiable (17%), contenant des pigments essentiels, de la paraffine, des stérols et de l'alcool terpénique. La moitié des lipides totaux sont des acides gras et du cholestérol (< 0,1 mg/100 g de masse sèche de *S.platensis*) (Gershwin et al., 2008), qui est un composant de la fraction stérolique de *S.platensis* (Clement, 1975).

*S.platensis* est riche en minéraux ( $6,88 \pm 0,05$  %) dans notre étude; *S.platensis* contient tous les minéraux essentiels à l'organisme: fer, magnésium, manganèse, potassium, calcium, phosphore, zinc et sélénium (peu fréquent). Pendant ce temps, *S.platensis* est l'une des meilleures sources naturelles de fer selon (Fox, 1999).

Le pouvoir calorifique de *S.platensis* n'est pas très élevé (369,28 kcal/g), il est facilement restitué par sa valeur protéique et vitaminique, par rapport à d'autres aliments énergétiques comme les céréales.

*S.platensis* représente une source de composés naturels importants pour la nutrition humaine; sa qualité nutritionnelle correspond aux mesures standard, par rapport à d'autres recherches.

On peut conclure que *S.platensis* cultivé se caractérise par une haute qualité nutritionnelle. Ce *S.platensis* se caractérise par une teneur élevée en protéines allant jusqu'à  $60,32 \pm 0,15\%$  du poids sec.

## Résultats et discussion

C'est l'aliment le plus riche connu aujourd'hui car la teneur en protéines est deux fois celle du soja et plus de trois celle de la viande ou du poisson. Les glucides représentent  $17,63 \pm 0,133\%$  du poids sec. C'est un aliment peu calorique.

Les lipides totaux varient entre  $7,28 \pm 0,021\%$  du poids sec. Il apporte des minéraux et oligo-éléments tels que le fer, le magnésium, le manganèse, le phosphore, le sélénium et le zinc. *S.platensis* contient des acides gras polyinsaturés essentiels à 18 atomes de carbone.

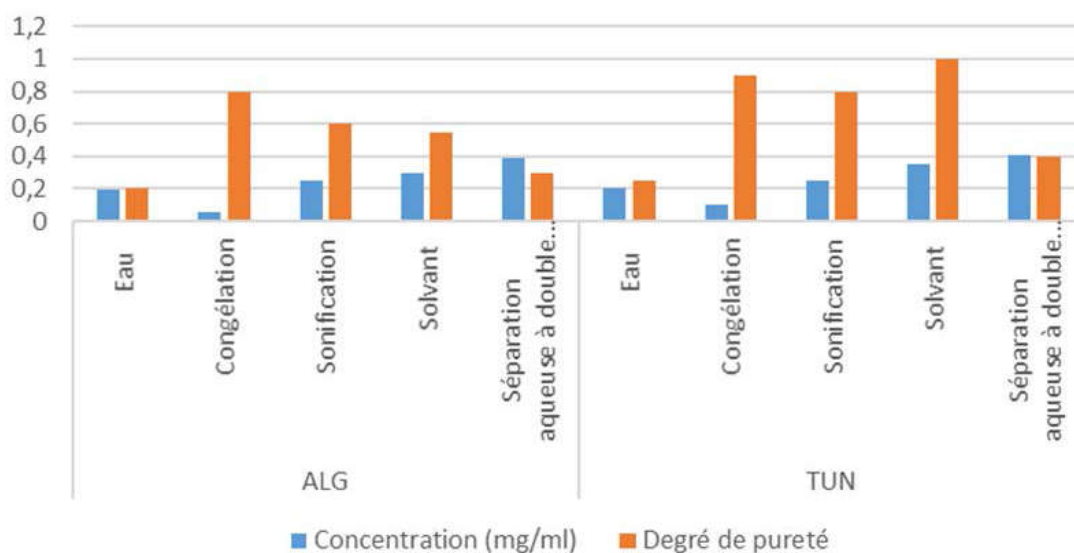
### • *Extraction de phycocyanine*

La concentration en phycocyanine de *la spiruline* sèche varie entre 0,06-0,39 mg/ml pour la souche algérienne et 0,20-0,41 mg/ml pour la souche tunisienne.

On remarque ainsi que l'extraction aqueuse à deux phases a donné des concentrations supérieures en C-phycocyanine comparativement aux autres méthodes (congélation et eau) pour les deux souches (algérienne et tunisienne) (0,39 vs 0,19 mg/ml) et (0,41 vs 0,20).

Un effet significatif du pays de production sur la concentration d'extraction est observé, et ce quelque soit la méthode d'extraction utilisée.

En effet, que ce soit pour les valeurs minimales ou maximales enregistrées, les valeurs des concentrations de *la spiruline* tunisienne sont significativement supérieures à celles observées pour *la spiruline* algérienne. Nous avons regroupé les différentes concentrations et les rapports de pureté selon les méthodes d'extraction au niveau de la figure 10:



**Figure 10:** Concentrations et pourcentages de pureté de la phycocyanine des souches (algérienne et tunisienne) de *la spiruline* (Bensehaila et al; 2017).

## Résultats et discussion

- *Extraction par macération avec le glycérol*

A la fin de la filtration, nous avons obtenu avec *la spiruline* algérienne une concentration de phycocyanine de 0,625 mg/ml avec une pureté de l'ordre de 1,37 avec environ 2,5 l de filtrat (phycocyanine) et 7,5 l de retentât (retenu par le filtre).

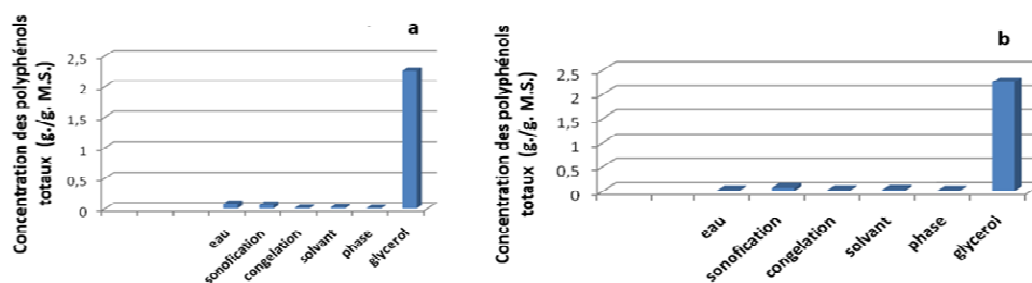
Par contre avec *la spiruline* tunisienne nous avons obtenu une concentration de 1,90 mg/ml et un rendement de 2,3 soit un taux de rendement plus élevé de 50%. Ces différences de valeurs pourraient être liées aux conditions de culture, au climat, à la souche mère, ou encore aux moyens de séchage.

- *Caractérisation de phycocyanine*

- *Polyphénols totaux*

Nous avons regroupé les différentes concentrations selon les méthodes d'extraction au niveau de la figure 11. On remarque que la concentration des polyphénols totaux à partir des différentes méthodes d'extractions de C-phycocyanine est comprise entre 4 et 22 mg/g de matière sèche pour la souche algérienne et 6 et 25 mg/g de matières sèches pour la souche tunisienne. Les phycocyanines sont riches en poly phénols.

**Bujard et al., 2015**) à 4,9 µg/g. (Nos résultats sont supérieurs à ceux obtenus par Toutefois nous avons noté que la concentration des polyphénols totaux la plus élevée est obtenue par la méthode d'extraction par glycérol (25 et 22 g/gms). Cependant la souche tunisienne a donné des valeurs supérieures en poly phénols par rapport à la souche algérienne (25 vs 22 g/gms).



**Figure 11:** La concentration des polyphénols totaux issue de la phycocyanine (**Lafri et al., 2017**).

Concernant la pureté, l'extraction par la congélation a donné des valeurs de pureté supérieures aux autres méthodes (par sonification, par solvant) (0,80 vs 0,60) et 0,80 vs 0,55). Une pureté de C-phycocyanine de 0,7 est considérée comme grade alimentaire, 3,5 comme grade réactive, par contre si elle est supérieure 4, elle est considérée comme grade analytique (**Rito-Palomares al., 2001**). Ces valeurs indicatives permettent d'affirmer que cette extraction est de l'ordre alimentaire.

## Résultats et discussion

Un effet significatif du pays de production sur le degré de pureté est observé, et ce quelque soit la méthode d'extraction utilisée.

Toutefois, que ce soit pour les valeurs minimales ou maximales enregistrées, les valeurs des degrés de pureté de *la spiruline* tunisienne sont significativement supérieures à celles observées pour *la spiruline* algérienne.

D'après (Silveira *et al.*, 2007).la pureté d'extraction est de l'ordre de 0,40 avec une extraction de phycocyanine de l'ordre de 3,73 mg/ml avec l'eau et 4,20 mg/ml avec le tampon phosphate (Benedetti *et al.*, 2004) ont obtenu une pureté de 2,74 avec une extraction avec sulfate d'ammonium à 50%.

Toutefois, une concentration de phycocyanine de l'ordre de 2,67 mg/ml et un rendement de 0,79 ont été obtenu en utilisant l'extraction aqueuse à double phase.(Rito-Palomares *al.*, 2001).Alors qu'(Antelo *et al.*, 2010)ont obtenu par la même méthode une pureté de 5,1 et une concentration de phycocyanine de l'ordre de 1,11 mg/ml.

### 3.1.Détermination des polyphénols par HPLC

Nous avons regroupé au niveau du tableau 04 les composés polyphénoliques et flavonoïdes détectés dans chaque extrait selon le temps de rétention.

**Tableau 12:** Détermination des polyphenols pour chaque Extrait de *la spiruline* par HPLC (Lafri *et al.*, 2017).

Temps de rétention		Polyphénols
Extrait 1	2,17	Inconnu
	18,17	Pyrogallol
	18,53	Rutin
	19,0	Acide vanilline
Temps de rétention		Polyphénols
Extrait 2	2,15	Inconnu
	2,4	Inconnu
	4,9	Acide gallique
	18,17	Pyrogallol
	18,53	Rutin
	18,99	Quercitine
Temps de rétention		Polyphénols
Extrait 3	2,11	Inconnu
	2,314	Inconnu
	18,17	Pyrogallol
	18,85	Inconnu
	18,99	Quercitine



L'identification des pics sur le chromatogramme se fait grâce à des échantillons standards en se basant sur le temps de rétention des molécules analysées, a permis d'identifier au niveau des extraits, la présence des composés polyphénoliques dans *Spirulina platensis* d'acides phénoliques et de composés flavonoïdes tels le pyrogallol, l'acide gallique, le rutin et la quercétine.

### 3.3. Les Flavonoïdes

Les concentrations des flavonoïdes obtenues par différentes méthodes d'extraction sont représentées dans le tableau 13:

**Tableau 13:** Concentration en flavonoïdes pour *la spiruline* (Algérienne et Tunisienne) (Lafri et al., 2017).

Méthode d'extraction		Eau	Sonification	Congélation	Solvant	En phase	Glycérol
Flavonoïde (mg/g)	<i>Spiruline</i> algérienne	0,33	0,27	1,878	2,12	0,25	3,4
	<i>Spiruline</i> tunisienne	0,45	0,32	2,1	2,9	0,75	4,5

La concentration la plus élevée est obtenue par la méthode d'extraction par glycérol pour les deux souches (algérienne et tunisienne) avec des valeurs respectives de 3,4 mg/g et 4,5 mg/g. Par contre, les concentrations les plus faibles sont obtenues par les méthodes d'extraction par sonification et par l'eau (0,33mg/g, 0,45 mg/g) respectivement.

La phycocyanine Tunisienne montre des valeurs plus élevées par rapport à la phycocyanine Algérienne en flavonoïde quel que soit la méthode d'extraction utilisée.

### 4. Activité anti oxydante

Les résultats de l'activité anti oxydante sont représentés dans le tableau 14:

**Tableau 14:** Valeurs (en %) d'activité anti oxydante pour *la spiruline* (Algérienne et Tunisienne) ((Lafri et al., 2017).

Méthode d'extraction		Eau	Sonification	Congélation	Solvant	En phase	Glycérol
Activité anti oxydante(%)	.Souche algérienne	0,2	0,16	0,01	0,23	0,06	0,6
	.Souche tunisienne	0,4	0,13	0,015	0,33	0,09	1,4

Nous avons obtenu une activité qui varie de 0,2 à 0,6% pour la souche Algérienne et une activité qui varie de 0,4 à 1,4% pour la souche Tunisienne.

Composés phénoliques qui disposent d'un pouvoir antiradicalaire important.

Il est à noter enfin, que la souche algérienne, en pleine culture et de production artisanale au Sahara, espace de soleil et d'eau de la chaleur et des sels minéraux se doit à être valorisée. Sa production est simple à mettre en oeuvre car la souche est maintenant disponible sur place. Une caractérisation plus poussée de cette souche par les techniques de résonance magnétique (RMN) permettrait de lui donner sa valeur indicative pour des éventuelles valorisations principalement en cosmétique.

La quantification de l'activité antioxydante d'un extrait par le biais du pouvoir réducteur (PR) implique la capacité des antioxydants analysés à transformer le fer (III) en fer (II), grâce à leur faculté donatrice d'électrons.

Les travaux entrepris sur *la spiruline* avaient pour but une évaluation de différentes méthodes d'extraction pour un meilleur rendement d'extraction. Les résultats obtenus ont montré que l'extraction aqueuse à double phase a donné des valeurs supérieures comparativement aux autres méthodes (par l'eau, solvant). La caractérisation de la phycocyanine de souche algérienne a permis de déterminer en termes de rendement les composés phénoliques, en flavonoides et surtout son activité antioxydante. ainsi, différentes extractions sur *S.platensis* ont été réalisées par des solvants afin d'étudier l'activité antioxydante des composés phénoliques contenus dans cette souche algale. L'analyse s'est faite par chromatographie liquide de haute performance (HPLC).

L'extraction des polyphénols a montré une richesse de *la spiruline* en polyphénols totaux, ainsi que les composés phénoliques qui disposent d'un pouvoir antiradicalaire important.

Il est à noter enfin, que la souche algérienne, en pleine culture et de production artisanale au Sahara, espace de soleil et d'eau de la chaleur et des sels minéraux se doit à être valorisée. Sa production est simple à mettre en oeuvre car la souche est maintenant disponible sur place. Une caractérisation plus poussée de cette souche par les techniques de résonance magnétique (RMN) permettrait de lui donner sa valeur indicative pour des éventuelles valorisations principalement en cosmétiq.



***Conclusion générale***

*La spiruline* n'a suscité l'intérêt des scientifiques que tardivement, elle jouit aujourd'hui d'un intérêt grandissant grâce à ses multiples propriétés thérapeutiques et nutritionnelles. Ce regain d'intérêt se traduit par les nombreuses études publiées que nous avons consultées pour réaliser notre travail et qui portent sur tout ce qui caractérise *la Spiruline*. En premier lieu nous avons décrit tous les aspects biologiques de *la spiruline* (morphologique, taxonomique, cycle biologique, écologique et en fin phylogénétique).

Ensuite, les analyses nutritionnelles démontrent que *la spiruline* contient des teneurs très importantes en nutriments et oligoéléments bénéfiques pour l'homme et pour les animaux.

Nous avons réalisé une culture au laboratoire, les résultats obtenus démontrent que la pH-mètre est un facteur très important dans le développement de *la spiruline* même si le milieu est favorable et correctement alcalin ce qui s'est traduit par une faible production de la biomasse.

Compte tenu de toutes ces données, notre travail reste préliminaire, il paraît d'une grande utilité de poursuivre la présente étude tout en élargissant le champ des expérimentations et d'approfondir les recherches scientifiques et technologiques, dans le futur. Nous envisageons d'entreprendre les différentes activités de recherche suivantes:

Identification génétique, taxonomique, phylogénétique et caractérisation biochimique de la souche algérienne (la souche de la région de Tamanrasset).

L'utilisation de la spiruline cultivée dans l'aquaculture et l'aliment de bétail.

L'utilisation de la spiruline en agriculture "Biofertilisant" et engrais naturel.

**.Références bibliographiques**

1. Antelo F.S. Anschau, A. Costa. J.A.V. and Kalil, S.J. (2010). Extraction and Purification of C-phycoyanin from *Spirulina* platensis in Conventional and Integrated Aqueous Two-Phase Systems. Journal of the Brazilian Chemical Society, 21(5): 921-926.
2. Antenna technologies. Malnutrition: *Spiruline* données scientifiques 2009. Disponible sur <https://www.antenna-france.org/wp-content/uploads/2014/06/spiruline-donnees-scientifiques.pdf> (dernière consultation Novembre 2017).
3. . Becker, et al. (1986). Clinical and biochemical evaluations of *spirulina* with regard to its application in the treatment of obesity. Inst. Chem. Pfanz in Nutrition Reports Int'l, Vol. 33, No. 4, pg 565. Germany.
4. Becker Ew. (1994). Microalgas: biotechnologie et microbiologie; La presse de  
l'Universite de Cambridge:Cambridge, Royaume-Uni.
5. Belay A. (2002). The potentiel application of *Spirulina* (Arthrospira) as a nutritional and therapeutic supplement in health management. The Journal of the American Nutraceutical.; 5 (2): p. 26-49.
6. Benedetti. S. Benvenuti. F. Pagliarani. S. Francogli. S. Scoglio. S. and Canestrari. F. (2004). Antioxidant properties of a novel phycocyanin extract from the blue-green alga Aphanizomenon flos-aquae. Life Sciences 75: 2353 – 2362.
7. Bennett. A. and Bogorad. L. (1973). Complementary chromatic adaptation in a filamentous blue-green alga. J. Cell Biol . 58: 419 – 435.
8. Bermejo R, Talavera EM, Alvarez-Pez JM, Orte JC (1997). Chromatographic purification of phycobiliproteins from *Spirulina* platensis. High-performance liquid chromatographic separation of their alfa and beta subunits. J. Chromatogr. A. 778:441-50.

9. Bernard C. Les cyanobactéries et leurs toxines. *Rev Francoph Lab* 2014;2014:53–68.
10. Brand-Williams. W. Cuvelier. M.E. and Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity, *Lebensmittel-Wissenschaft und – Technologie /Food Science and Technology*, 28: 25-30.
11. Bujard, E., Baco, U., Mauron, J., Mottu, F., Nabholtz, A., and Wuhrmann J.J., Clément, G., (1970). Composition and nutritive value of blue green algae (*Spirulina*) and their possible use in food formulations. 3rd International Congress of Food Science and Technology.
12. Bulgariu, L., and Bulgariu, D., (2008). Cd (II) extraction in PEG (1550)–(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> aqueous two-phase systems using halide extractants. *J. Serb. Chem. Soc.* 73 (3) :341–350.
13. Charpy L., Langlade M-J., Alliod R. *La Spiruline peut-elle être un atout pour la santé et le développement en Afrique?* Marseille: IRD; 2008.
14. Chen, T., Wong, Y.S., and Zheng, W., (2006). Purification and characterization of selenium-containing phycocyanin from selenium-enriched *Spirulina* platensis. *Phytochemistry* 67(22): 2424-2430.
- 15.. Chen WT-L, Yang T-S, Chen H-C, Chen H-H, Chiang H-C, Lin T-C, et coll. (2014) Effectiveness of a novel herbal agent MB-6 as a potential adjunct to 5-fluoracil-based chemotherapy in colorectal cancer. *Nutr Res N Y N.* 34 :585-94.
16. Ciferri O. *Spirulina*, the edible microorganism. *Microbiol Rev* 1983;47:551–78.
17. Clément G (1975). *Spirulina*, a protein-rich food alga. conférence du Caire. institut français du Pétrole. division Applications: 1-18.
18. Cohen Z, Voushak A (1991). Fatty acid composition of *Spirulina* and *Spirulina*-like cyanobacteria in relation to chemotaxonomy. *Phytochemistry.* 30:205-206.

19. Cruchot H. La spiruline: bilan et perspectives. Thèse d'exercice. Université de Franche-Comté. Faculté de médecine et de pharmacie, 2008.
20. Desikachary, T.V. (1959). Cyanophyta. Indian Council of Agriculture Research, Monographs on Algae. p. 686. New Delhi, India.
21. Devi M. A., Venkataraman L.V. (1983). Hypocholesterolemic effect of blue-green algae *spirulina* in albino rats in Nutrition Reports Int'l, 28:519-530. India.
22. Dillon JC, Phuc AP, Dubacq JP (1995). Nutritional value of the alga *Spirulina*. World Rev Nutr Diet. 77:32-46.
23. Downham A, Collins P (2000). Colouring our foods in the last and next millennium. J. Food Sci. Technol. 35:5-22.
24. Dr Dupire J. (2011). *La spiruline* un super aliment. 151p.
25. Espiard E (2002). Introduction to the industrial processing of fruits. Ed. Tech and Doc Lavoisier. pp147-155
26. Falquet, J. (2012). The Nutritional Aspects of *Spirulina*, Antenna Technologies.
27. Fox RD. *La spiruline: technique, pratique et promesse*. Aix-en-Provence: Edisud; 1999.
28. Furmaniak MA., Misztak AE., Franczuk MD., Wilmotte A., Waleron M., Waleron KF. Edible Cyanobacterial Genus Arthrospira: Actual State of the Art in Cultivation Methods, Genetics, and Application in Medicine. *Front Microbiol* 2017;8:2541.
29. Geitler L. (1932). Cyanophyceae. In : Rabenhorst's Kryptogamenflora von Deutschland, Osterreich und der Schweiz''. Leipzig Germany: Ed. 2. Volume:14: 673-
30. 1196.
31. Gershwin ME, Belay A (2008). *Spirulina* in Human Nutrition and Health. CRC Press. Taylor & Francis Group. Boca Raton: London, New York. 1-27.

- 32.. Guglielmi, G., Rippka, R. et Tandeau Demarsac, N. (1993). Main properties that justify the different taxonomic position of *Spirulina* spp. and *Arthrospira* spp. Among cyanobacteria. Bull. Inst. Oceanogr. Vol. 12: 13-23.
- 33.Habib MAB. (2008) A review on culture, production and use of *Spirulina* as food for humans and feeds for domestic animals and fish. 33 p Disponible sur <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0424e/i0424e00.pdf> (dernière consultation mars 2016).
- 34.Hayashi T, Hayashi K, Maeda M, Kojima I (1996). Calcium *spirulan*, an inhibitor of enveloped virus replication, from a blue-green alga *Spirulina platensis*. J. Nat. Prod. 59:83-87.
- 35.Henrikson, (1994). Earth food *Spirulina*, How this remarkable blue-green algae can transform your health and our planet. Ronore Enterprises Inc., U.S.A.
- 36.Hindak, F. (1985). Morphology of trichomes in *Spirulina fusiformis* Vorochnin from Lake Bogoria. Kenya. Arch. Hydrobiol./Suppl. Vol. 71: 201-218.
- 37.Hiri 2013 <http://www.les-sahariens.com/theme/actualites/>
- 38.Hoseini SM, Khosravi-Darani K, Mozafari MR (2013). Nutritional and Medical Applications of *Spirulina* Microalgae. Mini-Reviews in Medicinal Chemistry. 13:1231-1237.
- 39.Houston M .(2002) The Potential Application of *Spirulina (Arthrospira)* as a Nutritional and Therapeutic Supplement in Health Management. Disponible sur: <http://biomatsa.com/uploads/spirulinareprintJANA.pdf> (dernière consultation le 19 oct 2015).
- 40.Hudson BJB, Karis IG (1974). The Lipids of the Alga *Spirulina*. J. Sci. Fd. Agric. 25:759-763.
- 41.Ismail MF, Ali DA, Fernando A, et coll. (2009) Chemoprevention of rat liver toxicity and carcinogenesis by *Spirulina*. *Int J Biol Sci.* 5 :377-87.



- 
42. Jourdan, (2006). Manuel de culture artisanale de *spiruline*. Edition 2006, Révision mars 2013.
43. Kay RA (1991). Microalgae as food and supplement. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 30:555-573.
44. Khan M, Shobha JC, et coll. (2005) Protective effect of *Spirulina* against doxorubicin-induced cardiotoxicity. *Phytother Res*. 12 : 1030-7.
45. Khan M, Varadharaj S, et coll. (2006) C-phycoerythrin ameliorates doxorubicin-induced oxidative stress and apoptosis in adult rat cardiomyocytes. *J Cardiovasc Pharmacol*. 1: 9-20.
46. 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*.
47. Lafri et al., *Revue Agrobiologia* (2017).
48. Lee JB, Hayashi T, Hayashi K, Sankawa U, Maeda M, Nemoto T, Nakanishi H (1998). Further purification and structural analysis of calcium *spirulan* from *Spirulina* platensis. *J. Nat. Prod*. 61:1101-1104.
49. Le Meste M (2002). Glass transition and food technology: a critical appraisal. *J. Food Sci*. 67:2444-2458.
50. Léonard J, Compère P (1967). *Spirulina* platensis, a blue algae of great nutritive value due to its richness in protein. *Bull. Jard. Bot. Nat. Bruxelles* (1 Suppl.) 37:1-23.
51. Lupatini AL., Colla LM., Canan C., Colla E. Potential application of microalga *Spirulina* platensis as a protein source. *J Sci Food Agric* 2017;97:724–32.
52. Lynch J (2001). Physicochemical analysis of Industrial Catalysts Characterization practice manual. TECHNIP Editions. 31p.
53. M'Baye, B.K., Lô, B.B., and Bassene, E., (2011). Etude des caroténoïdes, des phycocyanines et des protéines de *la spiruline* en Mauritanie. ScienceLib Editions Mersenne, 3, (110906). ISSN 2111.4706pp. M'Baye, B.K., Lô,

- B.B., and Bassene, E., (2011). Etude des caroténoïdes, des phycocyanines et des protéines de *la spiruline* en Mauritanie. ScienceLib Editions Mersenne, 3, (110906). ISSN 2111.4706pp.
54. McCarty MF. (2012) Minimizing the cancer-promotional activity of cox-2 as a central strategy in cancer prevention. *Med Hypotheses*. 78 : 45-57.
55. Mollo P, Noury A. *Le manuel du plancton*. Paris: C. L. Mayer; 2013. dsipo sur [http://docs.eclm.fr/pdf\\_livre/360LeManuelDuPlancton.pdf](http://docs.eclm.fr/pdf_livre/360LeManuelDuPlancton.pdf) 271117.
56. Moukette Moukette, B., Pieme, C.A., Nya Biapa, P.C., Njimou, J.R. and Ngogang Yonkeu, (2015). Radicals quenching potential, protective properties against oxidative mediated ion toxicity and HPLC phenolic profile of a Cameroonian spice: *Piper guineensis*. *Toxicology Reports*; 2:792–805.
57. Muhling M., Belay A., Brian A W., (2005). Variation in fatty acid composition of *Arthrospira (Spirulina)* strains. *Journal of Applied phycology*, vol. 17, p. 137-146.
58. Nicoletti M. Microalgae Nutraceuticals. *Foods Basel Switz* 2016;5.
59. Otle S, Pire R (2001). Fatty acid composition of *Chlorella* and *Spirulina* microalgae species. *J AOAC Int*. 84(6):1708-14.
60. Parages ML, Rico RM, Abdala-Díaz RT, Chabrigón M, Sotiroudis TG, Jiménez C (2012). Acidic polysaccharides of *Arthrospira (Spirulina) platensis* induce the synthesis of TNF- $\alpha$  in RAW macrophages, *J Appl Phycol*. 24:1537-46.
61. Petkov GD (1988). Furnadzieva S.T. Fatty acid composition of acylolipids from *Spirulina platensis*. *C. r. bulg. Acad. Sci*. 41: 103-4.
62. Pierlovisi C (2007). L'Homme et *la Spiruline*: Un avenir commun? Composition chimique, intérêts alimentaires et activités biologiques. Paris V-René Descartes, Faculté des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques, Paris (162).
63. Pottcher F. (2014). Procédé d'extraction et de stabilisation de phycocyanine et ses applications. WO 2014045177 A1.

- 
64. Quillet M (1975). Research on carbohydrate substances produced by *Spirulina*. Ann. Nutr. Alim. 29:553-561.
65. Qureshi M. (1994). Immune enhancement potential of *spirulina* in chickens. Journal of Poultry Science; 73: p.
66. Science; 73: p.
67. Qureshi M.A., Ali R.A., Hunter R.L. (1995). Immunomodulatory effects of *Spirulina* platensis Supplementation in chickens. Poultry Disease Conference; 44: p. 171-121.
68. Qureshi M.A. (1996). *Spirulina* platensis exposures enhances macrophage phagocytic function in cats. Immunopharmacology and Immunotoxicology. 1996; 18: p. 457-463.
69. Ramamoorthy A, Premakumari S (1996). Effect of supplementation of *Spirulina* on hypercholesterolemic patients. Journal of Food Science and Technology 33:124-128.
70. Rito-Palomares, M., Nunez L., and Amador D., (2001). Practical application of aqueous two-phase systems for the development of a prototype process for C-Phycocyanin recovery from *Spirulina maxima*, J. Chem. Tech. Biotech., 76: 1273–128.
71. Rodríguez De Marco E, Steffolani ME, Martínez CS, León AE (2014). Effects of *Spirulina* biomass on the technological and nutritional quality of bread wheat pasta. LWT - Food Science and Technology. 58:102-108.
72. Roger P.A. (2006) Les cyanobactéries : définition. Disponible sur : <http://pagesperso-orange.fr/cyanobacteries/pages/Introduction/definition.htm> 2006.
73. Romay C, Gonzalez R, Ledon N, Ramirez D, Rimbau V (2003). C-Phycocyanin: A Biliprotein with Antioxidant, Anti-Inflammatory and Neuroprotective Effects. Curr. Protein Pept. Sci. (4): 207-16.
74. Rothwell PM, Wilson M, Elwin C-E, Norrving B, Algra A, Warlow CP, et coll.(2010) Long-term effect of aspirin on colorectal cancer incidence and

- mortality: 20-year follow-up of five randomised trials. *Lancet Lond Engl.* p 1741-50.
- 75.Saini MK, Sanyal SN. (2014) Targeting angiogenic pathway for chemoprevention of experimental colon cancer using C-phycoyanin as cyclooxygenase-2 inhibitor. *Biochem Cell Biol Biochim.* 92 :206-18.
- 76.Schwartz, J. et Shklar, G. (1987). Regression of experimental hamster cancer by beta-carotene and algae extracts. *J. Oral. Maxillofac. Surg.* Vol. 45(6).
- 77.Samuels R, Mani UV, Iyer UM, Nayak US (2002). Hypocholesterolemic effect of *Spirulina* in patients with hyperlipidemic nephrotic syndrome. *J. Med. Food.* 5:91-96.
- 78.Silveira, S.T., Burkert , J.F.M., Costa, J.A.V., Burkert C.A.V., and Kalil, S.J., (2007). Optimization of phycocyanin extraction from *Spirulina* platensis using factorial design. *Bioresource Technology*, 98: 1629–1634.
- 79.Takai et al. (1991). Effect of water soluble and water insoluble fractions of *spirulina* over serum lipids and glucose resistance of rats in *J. Japan Soc. Nutr. Food Science*, 44:273-277.
- 80.Toyub MA, Uddina MZ, Miahb MI and Habib MAB. (2011). Growth performance and nutritional analysis of *Spirulina* platensis in different concentrations of papaya skin powder media. In: *Bangladesh J. Sci. Industr. Res.* 46(3):333-338.
- 81.Vidalo J-L. *Spiruline: l'algue bleue de santé et de prévention*. Paris: Ed. du Dauphin; 2008.
- 82.Vonshak A. *Spirulina platensis (Arthrospira): physiology, cell-biology, and biotechnology*. London: Bristol, PA: Taylor & Francis; 1997.
- 83.Watanuki. H, Ota. K, et al. (2006). Immunostimulant effects of dietary *Spirulina* platensis on carp, *Cyprinus carpio*. *Aquaculture* 258.p 157-163.
- 84.Xinglu L, Qiufeng H (2011). Relationships between Leaf and Stem Soluble Sugar Content and Tuberos Root Starch Accumulation in Cassava. *J. Agric. Sci.* Vol. 3. No.

85. Zhou C. R., Tang J., Jin Y., Guo B. J. Effects of C-phycocyanin from *Spirulina platensis* on immune function in mice. *Journal of Jinan University (Natural Science & Medicine Edition)* 1998 ;(5):93–97.