

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA  
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA TERRE  
DEPARTEMENT D'AGRONOMIE



Réf : ...../UAMOB/F.SNV.ST/DEP.AGRO/20

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**  
**EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER**

**Domaine : SNV    Filière : Sciences Alimentaires**  
**Spécialité : Agroalimentaire et Contrôle de Qualité**

**Présenté par :**

**TOUDERT Mebarka et BOUZIDI Ounissa**

*Thème*

**Intérêt de l'utilisation de la spiruline dans les aliments  
fonctionnels**

**Soutenu le : 30 / 09/2020**

**Devant le jury composé de:**

<b>Nom et prénom</b>	<b>Grade</b>	
Mme BOURFIS Nassima	MAA	Présidente du jury
Mme TAOUDIAT Aldjia	MAB	Examinatrice
M. MALIOU Djamil	MAB	Encadreur

*Année Universitaire : 2019/2020*

## **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. MALIOU DJAMIL 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 Mme BOURFIS NASSIMA d'avoir accepté de présider ce jury.*

*Que Mme TAOUDIAT ALDJIA 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. 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 YACINE, ABDESLAM et MOHAMED. 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 binôme Mebarka, avec laquelle j'ai partagé ce travail.*

*A toute la promotion de la 2eme Master agroalimentaire et contrôle de qualité.*

*Ouanissa*

*Je dédie ce mémoire*

*Aux personnes les plus chères au monde, à **mes très chers parents**. Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour et ma profonde gratitude pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance. Que ce travail soit le fruit de vos prières et sacrifices, qui m'ont été d'un grand secours pour atteindre cette étape de ma vie, et que Dieu tout puissant vous procure santé, bonheur et longue vie.*

*A mon cher frère **sofiane***

*A ma chère sœur **saoussene***

*A mes amies*

*A ma chère amie et binôme **ouanissa**, avec laquelle j'ai partagé ce travail.*

*A toute la promotion de la 2<sup>ème</sup> Master agroalimentaire et contrôle de qualité.*

*Mebarka*

# Table des matières

## Liste des figures

## Liste des tableaux

## Liste des sigles et abréviations

I.	INTRODUCTION .....	1
II.	PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
II.1	Les aliments fonctionnels .....	3
II.1.1	Généralités sur les aliments fonctionnels .....	3
II.1.1.1	Définitions .....	3
II.1.1.2	Origine des aliments fonctionnels.....	4
II.1.1.3	Les aliments fonctionnels dans le monde .....	5
II.1.1.4	Positionnement des aliments fonctionnels.....	5
II.1.1.5	Les différentes catégories d'aliments fonctionnels .....	6
II.1.2	Fonctions et allégations autour des aliments fonctionnels .....	7
II.1.2.1	Fonctions des aliments fonctionnels .....	7
II.1.2.1.1	Les fonctions de renforcement .....	7
II.1.2.1.2	Les fonctions de réduction du risque.....	8
II.1.2.1.3	Les produits pour les excès et les déficiences.....	8
II.1.2.1.4	Rétablissement .....	9
II.1.2.2	Les allégations autour des aliments fonctionnels.....	11
II.1.2.2.1	Allégations nutritionnelles .....	11
II.1.2.2.2	Allégations nutritionnelles fonctionnelles .....	11
II.1.2.2.3	Allégations santé .....	12
II.1.2.2.4	Allégations thérapeutiques .....	12
II.2	Caractéristiques et propriétés de la spiruline .....	13
II.2.1	Généralités sur la spiruline .....	13
II.2.1.1	Définition et principales caractéristiques .....	13
II.2.1.2	Spiruline et cyanobactéries .....	14
II.2.1.3	Croissance.....	15
II.2.1.4	Ecologie.....	16
II.2.1.5	Reproduction.....	16
II.2.1.6	Classification taxonomique .....	17
II.2.1.7	Historique .....	18
II.2.1.8	Habitat et répartition géographique.....	19
II.2.2	Principales applications de la spiruline .....	20
II.2.2.1	En cosmétique .....	20
II.2.2.2	En Médecine .....	21
II.2.2.3	En agroalimentaire .....	21

II.2.2.4	En alimentation humaine .....	21
II.2.3	La composition chimique de la spiruline.....	22
II.2.3.1	Composition en protéines et acides aminé .....	23
II.2.3.2	Les lipides.....	24
II.2.3.2.1	Acides gras ou fraction saponifiable .....	25
II.2.3.2.2	La fraction insaponifiable .....	26
II.2.3.3	Les glucides .....	27
II.2.3.4	Les vitamines .....	27
II.2.3.4.1	Vitamines liposolubles .....	27
II.2.3.4.2	Vitamines hydrosolubles.....	29
II.2.3.5	Minéraux et oligo-éléments.....	30
II.2.3.6	Pigments .....	32
II.2.4	Les activités thérapeutiques de la spiruline .....	37
II.2.4.1	Activité antibactérienne.....	37
II.2.4.2	Activité antioxydante .....	37
II.2.4.3	Activité antivirale.....	37
II.2.4.4	Activité anticancéreuse.....	38
II.2.4.5	Activité anti-hypercholestérolémiant .....	38
II.2.4.6	Autres effets.....	39
II.3	Aliments fonctionnels à base de spiruline .....	40
II.3.1	Intérêt de l'utilisation de la spiruline dans les aliments fonctionnels .....	40
II.3.1.1	Valeur nutritionnelle .....	40
II.3.1.2	Valeur énergétique .....	40
II.3.1.3	Valeur sensorielle.....	40
II.3.1.4	Valeur fonctionnelle.....	41
II.3.2	Exemples d'aliments fonctionnels à base de spiruline.....	42
II.3.2.1	Produits céréaliers .....	43
II.3.2.2	Produits laitiers .....	45
II.3.2.3	Produits gras .....	46
II.3.2.4	Boissons.....	47
III.	<b>CONCLUSION</b> .....	48
	<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : Schéma du positionnement des aliments fonctionnels .....	6
<b>Figure 2</b> : Les différents aspects de la spiruline .....	13
<b>Figure 3</b> : La structure d'une cyanobactérie .....	15
<b>Figure 4</b> : Cycle biologique de la spiruline.....	17
<b>Figure 5</b> : Répartition géographique de la spiruline.....	20
<b>Figure 6</b> : Diagramme de positionnement de la spiruline par rapport à d'autres aliments en termes de protéines .....	23

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b> : Récapitulatif de certains facteurs fonctionnels retrouvés dans les aliments.....	10
<b>Tableau 2</b> : Différences morphologiques entre <i>Spirulina</i> et <i>Arthospira</i> .....	18
<b>Tableau 3</b> : Composition en acides aminés de la spiruline .....	24
<b>Tableau 4</b> : Composition en pourcentage des principaux acides gras pour trois espèces de spiruline .....	25
<b>Tableau 5</b> : Vitamines liposolubles contenues dans la biomasse de <i>Spirulina platensis</i> .....	28
<b>Tableau 6</b> : Teneur en vitamines hydrosolubles ( $\mu\text{g}$ ) par gramme de matière sèche de Spiruline.....	29
<b>Tableau 7</b> : Composition en minéraux de la spiruline en $\mu\text{g/g}$ de sa matière sèche .....	30
<b>Tableau 8</b> : Teneurs en pigments exprimés en mg pour 10g de matière sèche de <i>Spirulina platensis</i> .....	33
<b>Tableau 9</b> : Composition nutritionnelle de la spiruline et rôle de chaque composant .....	34
<b>Tableau 10</b> : Composition en vitamines et rôle de chaque composant .....	34
<b>Tableau 11</b> : Composition en minéraux et rôle de chaque composant.....	35
<b>Tableau 12</b> : Composition en acides aminés essentiels et rôle de chaque constituant.....	36
<b>Tableau 13</b> : Produits céréaliers (Couscous et biscuits) supplémentés avec la spiruline .....	43
<b>Tableau 14</b> : Produits céréaliers (Raviolis et pâtes alimentaires) supplémentés avec la spiruline ....	44
<b>Tableau 15</b> : Produits laitiers supplémentés avec la spiruline .....	45
<b>Tableau 16</b> : Produits gras à base de spiruline.....	46
<b>Tableau 17</b> : Boisson enrichie en spiruline.....	47

## Liste des sigles et abréviations

°C : Degré Celsius

µg : Microgramme

µm : Micromètre

ADN : Acide désoxyribonucléique

AGL : Acide gamma-linolénique

ARN : Acide Ribonucléique

CMV : Cytomégalovirus

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

G + C : Guanine + Cytosine

G : gramme

HDL : lipoprotéines de haute densité

HSV : Herpès simplex virus

Kg : Kilogramme

Kcal : Kilocalorie

Mg : Milligramme

NPU : Utilisation protéique nette

PGE<sub>1</sub> : Prostaglandine E 1

PS-I : photo système I

PS-II : photo système II

UV : Ultra-violet

VIH: Virus de l'Immunodéficience Humaine

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

# I.INTRODUCTION

La science de la nutrition a évolué d'une approche préventive des déficiences alimentaires, qui a conduit à l'établissement de recommandations diététiques inscrites dans des directives nationales ou internationales ; vers la promotion du rôle de l'alimentation dans le maintien d'un état de santé ou dans la réduction du risque de maladies. Ce contexte est très favorable au développement de la demande en aliments fonctionnels, compte tenu de leurs caractéristiques et leur capacité à améliorer la santé des individus à travers des nutriments et des substances bioactives ayant entre autres des propriétés antioxydantes ou anticancéreuses **(Weststrate et al., 2002)**.

Les aliments fonctionnels à base de spiruline connaissent un engouement majeur de la part des scientifiques à travers leurs recherches, mais également de la part de la population qui s'intéresse de plus en plus à son bien-être. La spiruline est une bactérie photosynthétique avec production d'oxygène, appartenant au grand groupe des « cyanobactéries » anciennement appelées algues bleues, qui comptent parmi l'une des premières formes de vie apparues sur Terre. Les spirulines appartiennent plus précisément au genre *Spirulina* ou *Arthrospira*, la plus étudiée et l'intéressante d'entre elles est dénommée : *Spirulina platensis* (ou *Arthrospira platensis*) **(Sguera S, 2008)**.

La spiruline a été proposée dans l'alimentation humaine par plusieurs diététiciens et nutritionnistes pour sa facilité de culture, sa haute productivité et son faible coût de production, mais aussi pour ses qualités nutritionnelles indéniables. En effet, elle est considérée comme une source alimentaire non conventionnelle pouvant contenir jusqu'à 70% de protéines. De plus, elle est riche en sels minéraux, en oligo-éléments et en nombreuses vitamines (B1, B2, B12, E,) **(Sall et al., 1999)**. Tout cela laisse présager qu'actuellement, cette cyanobactérie est l'une des meilleures solutions pour la production d'un aliment fonctionnel de haute qualité.

Outre ses propriétés nutritionnelles avérées, la spiruline est également connue aujourd'hui comme étant une source de produits ayant diverses vertus thérapeutiques. De ce fait, ce microorganisme connaît un regain d'intérêt de la part des grandes entreprises qui se sont lancées dans sa culture à une échelle industrielle **(Pascaud M, 1993)**.

Cela nous a amené à nous intéresser à ce sujet et à y consacrer notre travail, dont l'objectif est de :

- Démontrer l'intérêt de la spiruline dans l'alimentation humaine.
- Démontrer l'intérêt de l'incorporation de la spiruline dans les aliments fonctionnels.
- Synthétiser quelques recherches faites sur les aliments fonctionnels à base de spiruline.

- Proposer des perspectives pour les aliments à base de spiruline.

Le présent travail s'articulera autour de trois chapitres comme suit:

- Le premier chapitre présentera une synthèse bibliographique sur les aliments fonctionnels.
- Ensuite, le deuxième chapitre permettra de découvrir les caractéristiques de la spiruline ainsi que son intérêt nutritionnel.
- S'en suivra, le troisième chapitre où nous nous intéresserons aux aliments fonctionnels à base de spiruline développés dans d'autres recherches.

## **II.PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE**

# **CHAPITRE I : Les aliments fonctionnels**

## II.1 Les aliments fonctionnels

### II.1.1 Généralités sur les aliments fonctionnels

#### II.1.1.1 Définitions

Qu'ils s'appellent aliments-santé, alicaments, nutraceutiques ou aliments fonctionnels, tous se rejoignent sur un point : ils prétendent prévenir et / ou soigner des maladies et redonner force, forme et beauté.

Un « aliment fonctionnel » est un terme dont les définitions varient selon les auteurs qui s'y réfèrent. Nous devons la première définition à un pionnier dans le domaine, le Professeur Roberfroid. Pour lui, « un aliment fonctionnel est un aliment qui affecte les fonctions du corps d'une manière ciblée, de façon à en obtenir des effets positifs sur des fonctions physiologiques, par le fait qu'il contient des ingrédients qui améliorent la santé et qui pourront en temps utiles, justifier des revendications de santé » (**Forum sur les aliments fonctionnels, 1998**).

La seconde est d'origine japonaise, et se rapporte aux "Foods for Specified Health Use" dénommés FOSHU : « un aliment fonctionnel est un aliment qui, sur la base de la connaissance concernant la relation entre des aliments ou des composants d'aliments et la santé, est susceptible d'avoir des effets favorables sur la santé et qui a été autorisé à porter un étiquetage revendiquant que si une personne l'utilise à un usage de santé particulier, elle peut s'attendre par sa consommation, à en obtenir l'usage de santé » (**Bradbury et al., 1996**).

L'absence de consensus universel d'une définition unique des aliments fonctionnels fait que chaque pays en a une interprétation propre à lui. Les deux définitions précédentes ne sont donc pas les seules existantes. Nous avons réuni quelques autres définitions provenant de sources différentes, qui montrent l'imprécision ou la disparité de ce terme.

Certaines sont simples:

- « Aliment qui fournit des bénéfices santé au-delà de la nutrition de base » (**IFIC Foundation, 1995**).

- « Aliment ou produit alimentaire commercialisé avec un message de bénéfice pour la santé » (**Riemersma,1996**).

D'autres sont en revanche plus élaborées :

- « Aliment ressemblant en apparence à un aliment traditionnel et qui est consommé dans le cadre de la nourriture habituelle, mais qui est capable d'exercer des effets physiologiques démontrés ou de réduire le risque d'une maladie chronique au-delà de la fonction nutritionnelle de base (**Federal,1994**).
- « Aliment qui contient des composants potentiellement bénéfiques incluant tout produit, composant ou mode alimentaire qui peut fournir un bénéfice pour la santé au-delà de ceux dépendant des nutriments traditionnels qu'il contient » (**Food and Nutrition Board of the National Academy of Science,1998**).

### II.1.1.2 Origine des aliments fonctionnels

La recherche sur les aliments fonctionnels débuta il y a près de quarante ans au Japon, lorsque le ministère de l'éducation lança une bourse universitaire en faveur de 86 programmes de recherche portant sur l'analyse et le développement systématique des fonctions alimentaires. Ces recherches engendrèrent à la fin des années 80 et au début des années 90, le parrainage, par le ministère de l'éducation japonais, d'autres programmes d'études centrés sur deux thèmes : l'analyse de la fonction de régulation physiologique des aliments et l'analyse des aliments fonctionnels et de la conception moléculaire (**Boudouhi et al., 2006**).

En 1991, le ministère de la santé et des affaires sociales japonais instaure également une réglementation de l'étiquetage pour les denrées alimentaires à usage diététique déclaré. On détermina alors quatre catégories alimentaires que la loi sur l'amélioration nutritionnelle décrivit comme « aliments à usage diététique spécifique » et sur lesquels, il est admis d'inscrire les effets sanitaires spécifiques, et qui ont pour but d'améliorer l'état de santé des personnes. Aux Etats-Unis, la loi sur l'étiquetage et sur l'éducation en matière de nutrition (Nutrition Labelling and Education Act), mise en application en 1994, autorise l'emploi d'allégations sanitaires sur les aliments contenant certains ingrédients. Ces ingrédients doivent avoir été scientifiquement reconnus être en relation avec certaines maladies par l'office de contrôle pharmaceutique et alimentaire.

L'Union Européenne a quant à elle misé sur la recherche pour renforcer sa position concurrentielle dans l'industrie alimentaire. La recherche européenne doit être parmi les premières à reconnaître le rôle que joue la modification des fonctions corporelles par les composants alimentaires pour maintenir et améliorer bien-être et santé, ainsi que pour réduire les risques de maladies graves (**Forum sur les aliments fonctionnels, 1998**).

### II.1.1.3 Les aliments fonctionnels dans le monde

De l'avis de plusieurs auteurs, le marché japonais représente le principal marché des aliments fonctionnels dans le monde. Ainsi, il est considéré comme étant une filière à fort potentiel de croissance et à développement rapide et cela malgré qu'elle soit l'une des plus anciennes dans le pays.

Le marché européen des aliments fonctionnels se chiffrait en 1999 à 18 milliards US\$ (**Hilliamet al., 2000**). Le taux de croissance de la demande européenne est de 7 à 10 % (**Castelet al., 2002**). La Grande-Bretagne, la France et l'Allemagne représentent plus de la moitié de cette demande. Cependant, le marché des aliments fonctionnels représente moins de 1% du marché alimentaire en Europe (**Menrad ,2003**).

Les différentes évaluations du marché des aliments fonctionnels aux États-Unis oscillent autour de 18 milliards de US\$ (**Hilliamet al.,2000**). De plus, les estimations du taux de croissance de la demande d'aliments fonctionnels en Amérique du nord sont assez semblables à celles de l'Europe et varient annuellement entre 7 et 10 % (**Westratet al., 2002**).

### II.1.1.4 Positionnement des aliments fonctionnels

En se basant sur le besoin qu'ils satisfont et le degré technologique utilisé pour leur fabrication, comme nous pouvons le voir sur le schéma de positionnement (Figure 1), les aliments fonctionnels peuvent être placés entre aliments et médicaments. Les aliments sont définis comme « une substance qui, ingérée par un être vivant, est capable d'assurer son entretien, sa croissance et de couvrir ses dépenses énergétiques », quant aux médicaments ils sont considérés comme étant une « substance ou composition présentée comme possédant des propriétés curatives ou préventives à l'égard des maladies humaines ou animales » (**Boudouhi et al., 2006**).

De plus, les aliments fonctionnels se différencient des compléments alimentaires de par leur forme. En effet, ces derniers sont des produits destinés à être ingérés pour compléter les apports obtenus à travers une alimentation courante, afin de pallier l'insuffisance réelle où

supposée des apports journaliers. Ce sont des gélules, pilules ou des substrats comestibles contenant des vitamines, des minéraux et d'autres types d'ingrédients. Cependant, un aliment fonctionnel est un produit qui devrait faire partie du régime quotidien et qui, par son goût, son apparence ou son odeur, ne se différencie pas d'un aliment ordinaire (Boudouhi et al., 2006).

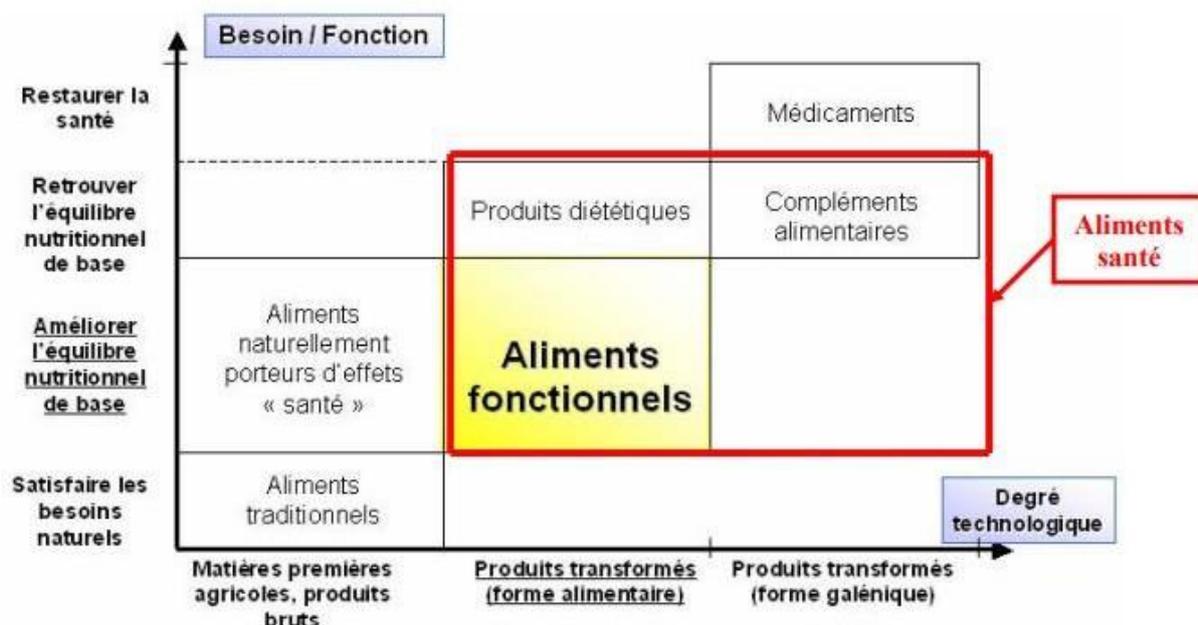


Figure 1 : Schéma du positionnement des aliments fonctionnels ( Boudouhi et al., 2006)

Ils se différencient également des produits "diététiques" (figure 1) qui sont destinés à une alimentation particulière et qui font l'objet d'une formulation ou d'un procédé de fabrication spécifique pour se distinguer de l'aliment courant et répondre à des besoins physiologiques particuliers soit en raison d'une maladie, soit en raison d'une situation physiologique hors de la normale (par ex. convalescence, grossesse, activités sportives intenses) (Boudouhi et al., 2006).

Il est communément admis qu'un aliment fonctionnel est un aliment qui exerce un effet bénéfique spécifique sur une ou plusieurs fonctions du corps auxquelles il s'adresse en particulier. Cet effet va au-delà des effets nutritionnels habituels.

### II.1.1.5 Les différentes catégories d'aliments fonctionnels

La classification telle que nous la connaissons aujourd'hui a été développée lors du forum consacré aux aliments fonctionnels, qui s'est déroulé le 1er et 2 décembre 1998 à Strasbourg (Forum sur les aliments fonctionnels, 1998). Il a été déclaré qu'un produit alimentaire peut être rendu fonctionnel selon cinq approches :

**En éliminant** un composant connu ou identifié pour ses effets nocifs sur le consommateur (protéine allergénique, par exemple).

**En augmentant** la concentration d'un composant naturel dans un aliment afin d'atteindre une concentration susceptible d'induire les effets escomptés, soit par :

- Stimulation par un micronutriment en vue d'atteindre un apport journalier qui soit supérieur à celui recommandé (mais compatible avec les directives diététiques en matière de prévention contre les maladies)
- Augmentation de la concentration d'un composant non nutritif dont les effets bénéfiques sont étayés par des données.

**En ajoutant** un composant normalement absent de la majorité des aliments, mais dont les effets bénéfiques sont prouvés (antioxydant non vitaminique ou fructosane prébiotique, par exemple).

**En remplaçant** un composant (généralement un macronutriment) dont la consommation est souvent excessive et provoque donc des effets nocifs (graisses, par exemple), par un autre composant aux effets bénéfiques reconnus (inuline de la chicorée, par exemple).

**En améliorant** la biodisponibilité des composants alimentaires (ou en les modifiant) aux effets bénéfiques reconnus.

## II.1.2 Fonctions et allégations autour des aliments fonctionnels

### II.1.2.1 Fonctions des aliments fonctionnels

Les aliments fonctionnels peuvent avoir plusieurs fonctions dans le métabolisme et les processus de régulation biologiques. Les plus importantes sont les suivantes :

#### II.1.2.1.1 Les fonctions de renforcement

Plusieurs des produits actuellement développés ont un rôle de renforcement sur le système immunitaire, les capacités intellectuelles et physiques. Deux groupes de personnes sont principalement visés par la fonction de renforcement du système immunitaire : les personnes âgées et les enfants présentant des carences alimentaires. Dans le groupe des produits ayant un effet de renforcement du système immunitaire, on retrouve les produits à base de probiotiques et prébiotiques (yogourts additionnés de probiotiques, par exemple) et de produits à haute teneur en vitamines (vitamine A et vitamine D) (Doyon et al., 2006).

Le renforcement des capacités physiques concerne surtout la tranche de la population la plus jeune s'adonnant de manière intensive aux activités physiques. Plusieurs boissons énergisantes se sont positionnées sur ce créneau. Toutefois, selon la définition retenue, les boissons énergisantes ne sont pas des aliments fonctionnels, puisque la preuve de leur bienfait n'a pas encore à ce jour été documentée. Finalement, le renforcement des capacités intellectuelles et la gestion du stress sont des préoccupations majeures des consommateurs de pays comme la France ou l'Allemagne. Dans les produits chargés de renforcer les capacités intellectuelles et d'aider à la gestion du stress, nous retrouvons les produits à haute teneur en fer ou en zinc (Doyon et al., 2006).

### **II.1.2.1.2 Les fonctions de réduction du risque**

De l'étude de la situation de la santé publique et épidémiologique actuelle, il ressort que la gestion des maladies du système cardio-vasculaire constitue un défi de taille pour les populations et les services de santé publique de nombreux pays. Plusieurs aliments fonctionnels présents sur le marché concernent donc ce risque : produits contenant des probiotiques, des prébiotiques ou encore des acides gras poly insaturés (Omega-3 et Omega-6).

Les aliments réduisant les risques de cancers font aussi l'objet de développement. Ce sont des aliments fonctionnels contenant des probiotiques, des prébiotiques, des nutriments antioxydants ou des folates. Des risques plus généraux comme ceux liés à la vieillesse sont également concernés. Les aliments fonctionnels riches en substances minérales aideront par exemple à réduire les risques d'ostéoporose (Doyon et al., 2006).

### **II.1.2.1.3 Les produits pour les excès et les déficiences**

Les excès et les déficiences alimentaires constituent un des défis des chercheurs et de l'industrie des aliments fonctionnels. Il existe un besoin et une opportunité pour des aliments fonctionnels traitant des déficiences cliniques classiques comme celles émergeant dans des sous-groupes particuliers. Ainsi, des aliments riches en micronutriments doivent être disponibles afin de répondre aux besoins des consommateurs et des responsables de la santé publique (Lajolo, 2002).

À titre d'exemple, en Amérique latine le régime alimentaire est essentiellement basé sur le manioc, les haricots, le maïs et les patates. Ces produits sont tous reconnus comme étant pauvres en micronutriments, ce qui permet de souligner l'importance de l'ingestion de

produits riches en substances telle que les acides foliques, le zinc, le sélénium et le calcium. Dans les pays développés, la situation demeure différente, le problème résidant dans le contrôle des surplus de poids et de l'obésité (**Lajolo, 2002**).

### **II.1.2.1.4 Rétablissement**

Les aliments fonctionnels peuvent faciliter le rétablissement suite à certaines maladies. Il s'agit principalement des produits de la sphère colorectale qui aident à rétablir la flore intestinale suivant une gastro-entérite (probiotiques). (**Doyon et al., 2006**).

Le tableau 1 présente certains facteurs fonctionnels et des aliments dans lesquels ils sont susceptibles de se retrouver.

**Tableau 1 : Récapitulatif de certains facteurs fonctionnels retrouvés dans les aliments**

Facteurs fonctionnels	Effets physiologiques et «santé» bénéfiques	Sources du facteur fonctionnel	Référence
<b>Probiotiques (addition de microbes vivants à des aliments).</b>	Effets anti-cancérigènes (colon et rectum). Stimulation du système immunitaire. Réduction des triglycérides et/ou du mauvais cholestérol ⇒ Effets systémiques sur les lipides du sang et donc réduction des risques de maladies coronariennes.Effets sur les pathogènes ⇒ Protection contre les gastro-entérites. Effets sur l'absorption de minéraux Réduction des risques d'ostéoporose.Amélioration de la tolérance au lactose et gestion des allergies.	Essentiellement des produits laitiers.	<b>(Gill et Rowland ,2003)</b>
<b>Prébiotiques (Produits non digérable mais bénéfiques à la flore digestive)</b>	Fonction de renforcement antiinfectieux ou d'atténuation (recherches en cours)	Essentiellement des produits laitiers.	<b>(Rastall et al., 2000)</b>
<b>Syn-biotiques (les probiotiques et les prébiotiques sont combinés)</b>		Essentiellement des produits laitiers.	<b>(Roberfroid, 2000)</b>
<b>Anti-oxydants</b>	Réduction des risques de tumeurs. Réduction des risques de cataractes. Réduction des risques de maladies cardio-vasculaires. Réduction des risques d'arthrites.	Canneberges,bleuets, Tomates,huile de palme, huile d'olive vierge.	<b>(Deckere et Verschuren,2000)</b>
<b>Fibres diététiques (non digestibles et non absorbées ⇒ action au niveau intestinal)</b>	Effets sur le métabolisme des glucides et des lipides en jouant sur la viscosité, la rétention d'eau, les propriétés d'absorption et de liaison et la taille des particules. ⇒ Réduction des risques d'obésité, de diabète, de maladies cardiovasculaires. ⇒ Réduction des risques de maladies du colon. Effets sur la microflore intestinale par le biais des produits et des résidus de la fermentation des fibres. ⇒ Réduction des risques de diabète, de maladies cardiovasculaires. ⇒ Réduction des risques de cancer du côlon. ⇒ Amélioration du fonctionnement du colon.	Céréales et produits céréaliers ,racines,tubercules et fruits .	<b>(Guillon et al., 2000)</b>
<b>polystéroles</b>	Réduction du cholestérol sanguin ⇒ Réduction des risques de maladies cardiovasculaires	Huiles de maïs, de riz, de soja	<b>(Gill et Rowland ,2003)</b>
<b>Acide gras non saturés et poly – insaturés (Omega3)</b>	Réduction des triglycérides sanguins ⇒ Réduction des risques de maladies cardiovasculaires. ⇒ Réduction des risques de diabète de type II. Réduction de la production d'eicosanoïdes⇒ Réduction des risques de maladies inflammatoires chroniques. Effets sur le développement normal du cerveau et de la rétine des jeunes enfants	Poissons et ses huiles (saumon, sardine maquereau par exemple), huile de canola, de soja ou de lin	<b>(Guillon et al., 2000).</b>

### II.1.2.2 Les allégations autour des aliments fonctionnels

On entend par allégation « toute mention qui affirme, suggère ou implique qu'une denrée possède des caractéristiques particulières liées à son origine, ses propriétés nutritives, sa nature, sa production, sa transformation, sa composition ou toute autre qualité » (CAL/GL. 1-1979 Rév. 1-1991 Codex Alimentarius). Une allégation est une traduction commerciale d'un savoir nutritionnel (**Boudouhi et al. 2006**).

On distingue quatre grandes classes d'allégations:

#### II.1.2.2.1 Allégations nutritionnelles

« Toute représentation publicitaire ou tout message publicitaire qui énonce, suggère ou implique qu'une denrée alimentaire possède des propriétés nutritionnelles particulières en raison :

- De l'énergie qu'elle fournit ou pas,
- Des nutriments qu'elle contient ou pas.

(Directive 90/346 de la CE et décret du 27 septembre 1993).

- ✓ Les allégations dites relatives évaluent le niveau d'un nutriment dans un aliment (ex : « Source de calcium », « teneur élevée en fibre et faible en matière grasse »).
- ✓ Les allégations dites comparatives comparent les teneurs en éléments nutritifs et/ou la valeur énergétique de deux ou plusieurs aliments (ex : « réduit en », « moins que », « enrichi en ») (**Boudouhi et al.2006**).

#### II.1.2.2.2 Allégations nutritionnelles fonctionnelles

Selon la définition du Codex Alimentarius, ces allégations sont : « Toute description de l'effet d'un aliment, d'un nutriment ou d'une substance nutritive sur les fonctions normales de l'organisme. (Ex : le calcium aide au développement d'une ossature et d'une dentition solide) ». Elles décrivent la fonction d'un élément nutritif dans l'organisme (**Boudouhi et al. 2006**).

### **II.1.2.2.3 Allégations santé**

Elles décrivent l'amélioration d'une fonction dans un sens favorable à la santé. « Toute mention qui indique, suggère ou implique qu'une relation existe entre un aliment, un élément nutritif ou une autre substance contenue dans un aliment et à un état lié à la santé, ou une modification d'un paramètre biologique, mais sans référence à une pathologie (sous-entend bénéfice santé) ».

L'OMS définit la santé comme un état de bien-être physique, mental, social (implique plus que l'absence de maladies). Dans ce cadre, le Codex Alimentarius distingue deux catégories d'allégations « santé » :

- Evocation d'une amélioration d'une fonction et/ou d'un paramètre physiologique, biologique, psychologique dans le sens d'apporter une contribution positive (bénéfique) à la santé (ex : huile X a un faible taux en graisses saturées et contribuera à réduire le taux de cholestérol sanguin).
- Evocation d'une relation entre un aliment ou un de ses composants et un état lié à la santé ou relative à la réduction du risque de maladies, sans faire référence à une pathologie précise (ex : X contient des oméga 3 qui diminuent les risques de maladies cardiaques) (**Boudouhi et al. 2006**).

### **II.1.2.2.4 Allégations thérapeutiques**

Elle est définie comme une allégation présentant une denrée alimentaire comme possédant des propriétés de prévention, de traitement, de guérison des maladies humaines (**Boudouhi et al. 2006**).

**Chapitre II :**  
**Caractéristiques et propriétés**  
**de la spiruline**

## II.2 Caractéristiques et propriétés de la spiruline

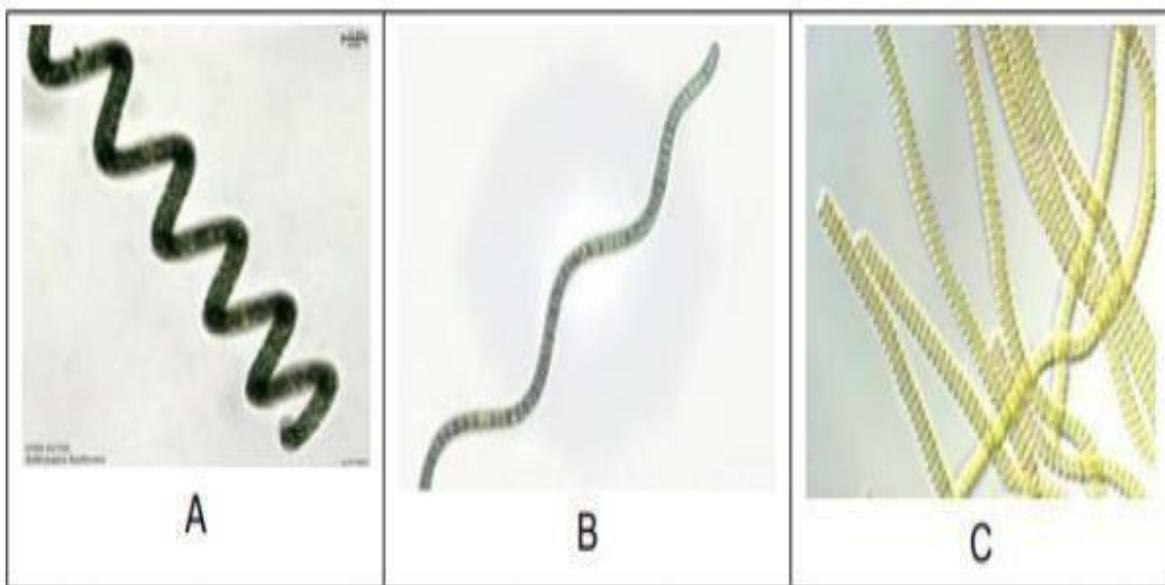
### II.2.1 Généralités sur la spiruline

#### II.2.1.1 Définition et principales caractéristiques

La spiruline est une cyanobactérie filamenteuse, elle se multiplie dès que la température de l'eau dépasse 30 °C. C'est un organisme symbiotique, autotrophe, qui se nourrit uniquement de minéraux contenus dans son milieu aqueux (Vonshak,2002).

Se présentant généralement sous différentes formes, les spirulines sont le plus souvent enroulées en spires (Figure 2A), parfois ondulées (Figure 2B) ou de forme droite (Figure 2C) (Vincente, 2012). Cette particularité de forme est en relation directe avec les conditions écologiques rencontrées dans leur habitat (All et al., 1999).

Avec une longueur moyenne de 250 µm quand elle possède 7 spires, le diamètre du filament ou du trichome formé est d'environ 10 µm (All et al., 1999). La forme hélicoïdale qui lui donne l'allure d'un minuscule ressort lui a valu son appellation de « Spiruline » (Charpy, 2008).



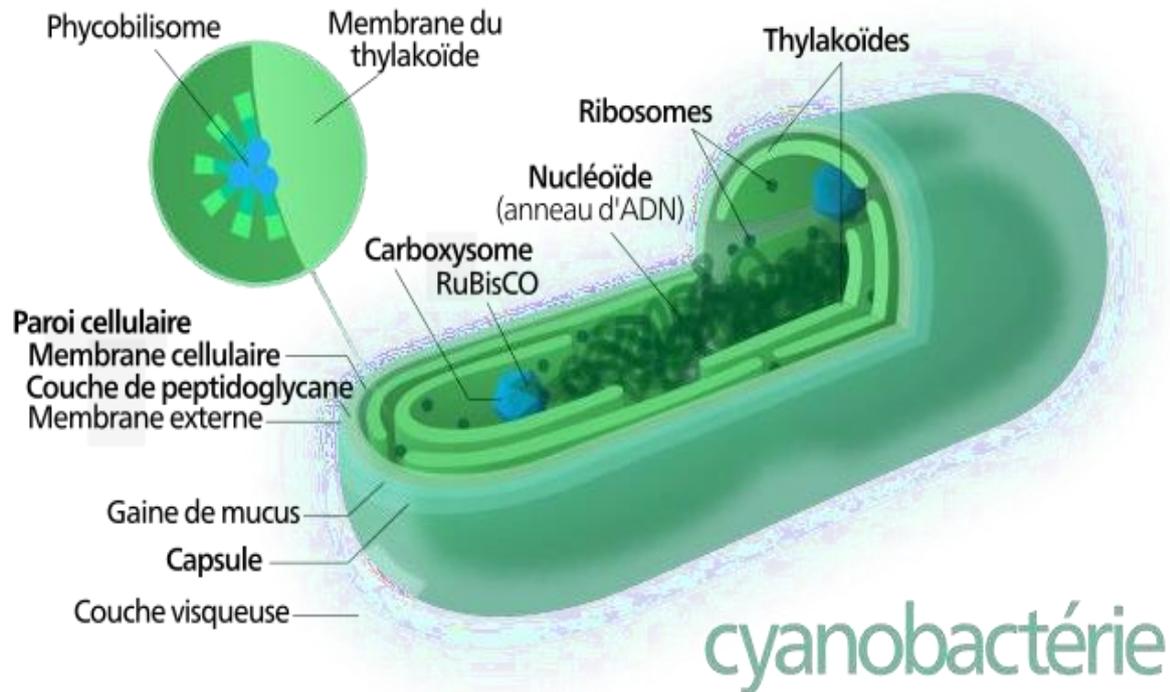
**Figure 2 : Les différents aspects de la spiruline (Vincente,2012)**

Le système pigmentaire photosynthétique de la spiruline est constitué de phycocyanine de couleur bleue, de chlorophylle et de caroténoïde. Certaines spirulines contiennent la

phycoérythrine, un autre pigment donnant une couleur rouge ou rose à cette micro-algue **(Hajati, 2019)**.

### II.2.1.2 Spiruline et cyanobactéries

Comme expliqué précédemment, les spirulines sont des cyanobactéries. Ces dernières forment l'essentiel des bactéries capables de photosynthèse avec production d'oxygène. Elles peuvent être unicellulaires ou pluricellulaires; dans ce dernier cas, leurs cellules s'arrangent en amas de type colonies ou, le plus souvent, en filaments composés de cellules alignées. Ces filaments sont appelés trichomes. Ce sont de vrais procaryotes, des organismes dépourvus de membrane nucléaire malgré leur système photosynthétique proche de celui des eucaryotes car contenant de la chlorophylle a et un photosystème II (PS-II) (Voir Figure 3). La taille des cellules de cyanobactéries se situe généralement entre 1 et 10 microns. Leur paroi est de type Gram – négatif classique. Ce photosystème, ainsi que les pigments photosynthétiques, les pigments accessoires et les composants du transport d'électrons, sont inclus dans des membranes thylacoïdes comportant des granules dites « phycobilisomes». Ces granules contiennent en particulier un pigment essentiel au transport de l'énergie vers le PS-II, la phycocyanine qui est une protéine contenant un groupement prostétique de type polypyrrole et qui lui confère une couleur bleue, ainsi qu'une fluorescence rouge exceptionnellement efficace **(Ressources Éducatives Libres, 2017)**.



**Figure 3 : La structure d'une cyanobactérie (Ressources Éducatives Libres,2017)**

### II.2.1.3 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 "obscurées" (Moreau,2005).

#### II.2.1.4 Ecologie

La Spiruline se développe préférentiellement dans des eaux chaudes, alcalines, contenant du carbonate de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ou du bicarbonate de sodium ( $\text{NaHCO}_3$ ), et riches en nutriments azotés et phosphorés (**Lindblad, 1998**). Plus communément, elle s'observe dans les eaux saumâtres, ainsi que dans les lacs salins de régions tropicales et semi-tropicales (**Margulis, 1998**).

Son caractère thermophile et ses besoins importants en lumière limitent son aire de répartition dans des lacs de la ceinture intertropicale du globe terrestre. Ces lacs sont situés approximativement entre 35° de latitude Nord et 35° de latitude Sud ; ils sont peu profonds et agités par des vents légers. En dehors de ces sites, la présence de spiruline dans d'autres endroits est possible, notamment partout où vivent le flamant nain (Afrique et Asie) et le flamant de James (Amérique du sud) (**Fox, 1999**).

#### II.2.1.5 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 *nécriidies*. 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 (Voir figure 4). 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**).

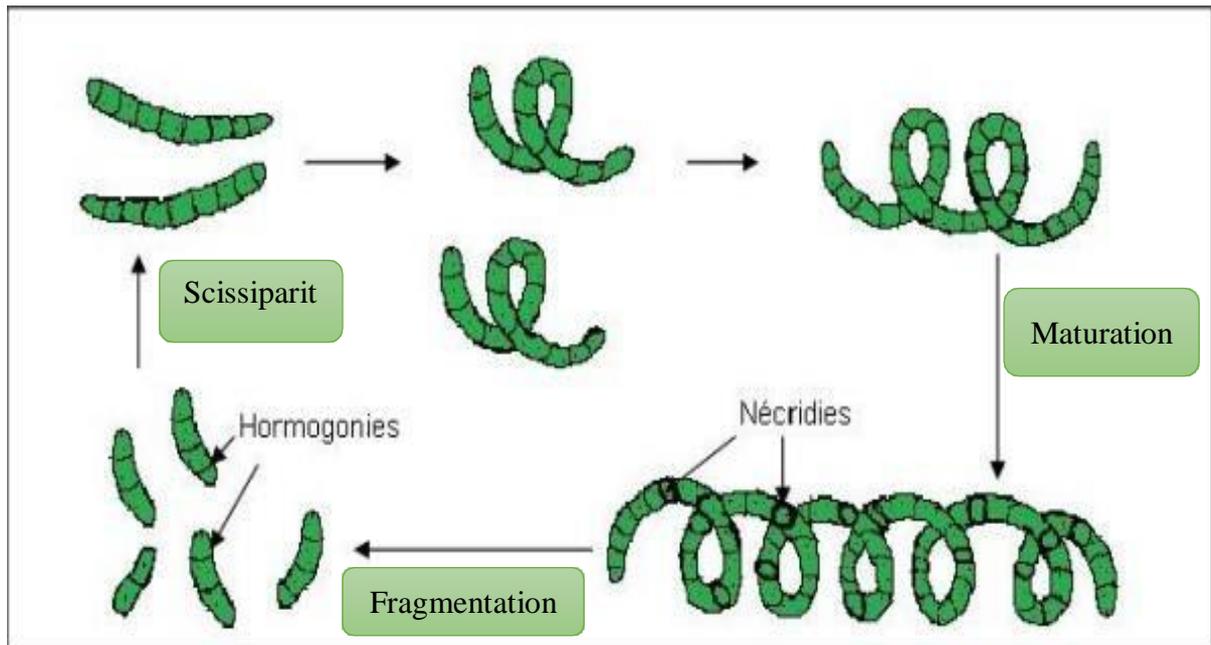


Figure 4 : Cycle biologique de la spiruline (Balloni et al.,1980)

#### II.2.1.6 Classification taxonomique

La classification systématique de la spiruline a été étudiée par plusieurs auteurs. Considérée comme une algue à l'origine, une désignation finale en tant que cyanobactérie a été adoptée et acceptée par la suite pour figurer au « Bergey's Manual of Determinative Bacteriology » (Goulambasse, 2018).

D'un point de vue taxonomique, la spiruline a été classée comme suit par les systématiciens:

- Règne des *Monera*
- Groupe ou Sous Règne des *Prokaryotes*
- Embranchement des *Cyanophyta*
- Classe des *Cyanophyceae*
- Ordre des *Nostocales* (ou *Oscillatoriales*)
- Famille des *Oscillatoriaceae*
- Genre *Oscillatoria*
- Sous genre *Spirulina* ou *Arthrospira* (Charpy,2008)

La confusion entre les deux noms *Arthrospira* et *Spirulina* est due à la décision d'unifier les deux genres *Arthrospira stizenberger* et *Spirulina turpin* sur la base de leurs trichomes en

spirale (**Geitler, 1971**). Néanmoins la "vraie" *Spirulina* n'est pas affiliée au genre *Arthrospira* (**Nelissen et al., 1994**). Les différences morphologiques sont expliquées ci-dessous dans le tableau 2. Les organismes du genre *Arthrospira* se trouvent communément dans des eaux saumâtres, ainsi que dans des lacs salins de régions tropicales et semi-tropicales (**Gastenholz et al., 2001**).

**Tableau 2 : Différences morphologiques entre *Spirulina* et *Arthrospira* (Fox, 1999)**

<i>Arthrospira</i>	<i>Spirulina</i>
<b>Trichomes en hélice ouverte</b>	<b>Trichomes en hélice presque fermée</b>
<b>Paroi cellulaire visible si les vacuoles à gaz ne sont pas trop nombreuses</b>	<b>Paroi cellulaire difficilement visible (gaine non prononcée)</b>
<b>Cellules de 6 à 12 µm de large, possibles constriction entre les cellules adjacentes. Mobiles par rotation</b>	<b>Cellules de 2 à 4 µm de large, de forme non fixe et avec peu ou pas de constriction entre les cellules adjacentes.</b>
<b>Mobilité</b>	<b>Mobilité permanente par rotation</b>
<b>La reproduction s'effectue par scission simple ou multiple, par bourgeonnement ou encore par fragmentation au hasard</b>	<b>La reproduction s'effectue probablement par rupture Trans cellulaire du trichome.</b>
<b>ADN : 43 mol% de G+C</b>	<b>ADN : 43 mol% de G+C ADN : 44 à 53 mol% G+C</b>

### II.2.1.7 Historique

La spiruline, est l'une des premières formes de vie terrestre, mais elle n'en a pas moins suscité que tardivement l'intérêt des scientifiques.

En 1492, Christophe Colomb la découvrit au Mexique, sous forme de petites galettes vertes séchées et le note dans son carnet de bord. Cortès, qui en ses mémoires décrit également vers 1521, la façon dont les aztèques la récoltaient et la consommaient. La spiruline a ensuite été décrite pour la première fois par Wittrock et Nordstedt en 1844 (**Wittrock et al., 1844**).

Elle fut redécouverte, au Tchad, vers 1930 par un pharmacien français des troupes coloniales puis en 1940 par le botaniste français Dangeard (**Farrar, 1966**).

En 1959, Brandilly, anthropologue et cinéaste, publie un article sur la spiruline : « Depuis des lustres, une tribu africaine du Tchad (les Kanembous) exploite la nourriture de l'an 2000 » (Farrar, 1966). Elle restera une simple curiosité avant le 7ème congrès du pétrole en 1967 à Mexico, à l'occasion duquel des chercheurs de l'institut Français du pétrole rendirent compte de leurs travaux sur la spiruline (**Wittrock et al.,1844**).

La première culture artisanale de spiruline méritant vraiment cette appellation revient sans doute à Fox Ripley qui fut le premier à lancer cette activité en Inde en 1973, en collaboration avec le Navsari Agricultural Collège. Ce fut l'origine de sa première exploitation industrielle, en 1976, par la société Sosa Texcoco basée au Mexique. Actuellement, le nombre de ces exploitations avoisine la trentaine (**Fox,1999**).

En Algérie, aucune allusion à la consommation ou à l'utilisation de la spiruline n'est faite. Son existence dans notre pays, n'a été signalée qu'au cours de ces vingt dernières années. De modestes initiatives ont été entreprises au lacs d'El Goléa, à Tamanrasset et plus récemment, en 2009 à Mostaganem.

### II.2.1.8 Habitat et répartition géographique

Les cyanobactéries 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 spiruline 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 (**HwangJh et al.,2011**).

Elle se trouve dans les déserts arides, 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 comme l'indique la figure 5 au-dessous (**Fox,1999**).

La figure 5 représente une carte qui récapitule les répartitions géographiques de la spiruline.



**Figure 5 : Répartition géographique de la spiruline  
(Fox,1999)**

## **II.2.2 Principales applications de la spiruline**

### **II.2.2.1 En cosmétique**

Certains laboratoires de soins cosmétiques ont introduit la spiruline dans des crèmes, des shampoings ou des sérums qu'ils commercialisent du fait du nombre non négligeable d'actifs naturels retrouvés dans cette cyanobactérie (acides aminés, oligoéléments, anti oxydants, minéraux, vitamines, acides nucléiques (composants de l'ADN), protéines, acides gras essentiels...) (**Banks, 2007**). Grâce à ses propriétés anti-oxydantes qui empêchent la formation de radicaux libres, la spiruline améliore la souplesse et l'élasticité de la peau et donc retarde son vieillissement et apporte brillance et résistance aux ongles et aux cheveux par les nutriments et les oligoéléments qu'elle concentre (**Banks, 2007**). Considéré comme un aliment « beauté » d'exception, la spiruline est utilisée aujourd'hui dans les soins anti-âges à connotation marine, dans la préparation de produits de soins en spa et thalasso (masques visage, enveloppements corporels), comme soins réparateurs et fortifiants des cheveux et des ongles, en cataplasme et enveloppement marins, comme soin revitalisant pour le corps ou masque minéralisant du visage (**Casal,2019**).

### II.2.2.2 En médecine

De la composition exceptionnelle de la spiruline, découlent de multiples applications thérapeutiques dont les plus importantes sont :

- Le renforcement des défenses immunitaires (une opportunité pour lutter contre les maladies opportunistes);
- Le traitement de certaines affections dermatologiques.
- Elle constitue également un partenaire efficace pour calmer les douleurs rhumatismales et l'arthrose, la lutte contre l'ostéoporose, l'excès de cholestérol, l'hypertension, et les allergies. Elle protège le cœur et augmenterait la régénération des cellules cérébrales (**Dupont et al., 2014**).

Toutes ces applications thérapeutiques de la spiruline ont permis aujourd'hui sa vente et sa consommation comme complément alimentaire.

### II.2.2.3 En agroalimentaire

Elle est utilisée comme colorant naturel (la phycocyanine est un des rares pigments naturels de couleur bleue) dans les chewing-gums, sorbets, sucreries, produits laitiers, boissons non alcoolisées. Elle apparaît également dans une gamme de produits algaux mélangée à du sel, des tagliatelles etc. En Suisse et au Japon, il existe depuis longtemps du pain à la spiruline (**Boudaoud,2016**).

### II.2.2.4 En alimentation humaine

Son application la plus connue et la plus ancienne reste l'alimentation humaine. De plus, grâce à son excellent profil nutritionnel, la spiruline peut générer plusieurs avantages.

Elle est utilisée par exemple par des humanitaires et des médecins sous forme de poudre afin de la mélanger à des céréales ou à de l'eau, pour lutter contre malnutrition sévère qui survient chez des enfants. Elle se révèle plus efficace que les médicaments pour pallier toutes les carences et traiter les effets des maladies qui découlent de la famine comme le marasme, ou kwashiorkor (**Fox, 1999**). Sans oublier d'autres maladies telles que la malnutrition protéino-énergétique, l'anémie ferriprive et l'hypovitaminose.

Pour les sportifs, sa consommation facilite l'effort et permet une meilleure récupération. En effet, considérée comme une excellente source de vitamines B9 et B12 ainsi

que de fer, la spiruline est bien adaptée aux femmes enceintes car elle leur permet d'accéder à tous les nutriments essentiels. Grâce à la phycocyanine qui augmente l'oxygénation des muscles et limite les crampes utérines, ces femmes peuvent mieux se préparer à l'accouchement et mieux récupérer par la suite après avoir pallié la fatigue causée par l'allaitement **(Dupont et al.,2014)**.

Par sa composition, la spiruline convient très bien aux enfants et adolescents ainsi qu'au bébé en âge de consommer des protéines. Son apport en éléments essentiels de qualité, ainsi que sa haute assimilabilité, sont idéaux pour les organismes en développement. Trois à cinq grammes par jour suffisent pour éviter les carences et éliminer les toxines liées à la restauration rapide adorée des ados. Elle apporte également un plus sur la qualité de la peau **(Vidalo,2015)**.

Sous la loupe de la diététique, la spiruline est utilisée comme complément protéique bénéfique pour la santé. Agissant comme un produit coupe faim, elle réduit l'appétit et optimise l'apport énergétique **(Trembling et al.,2017)**.

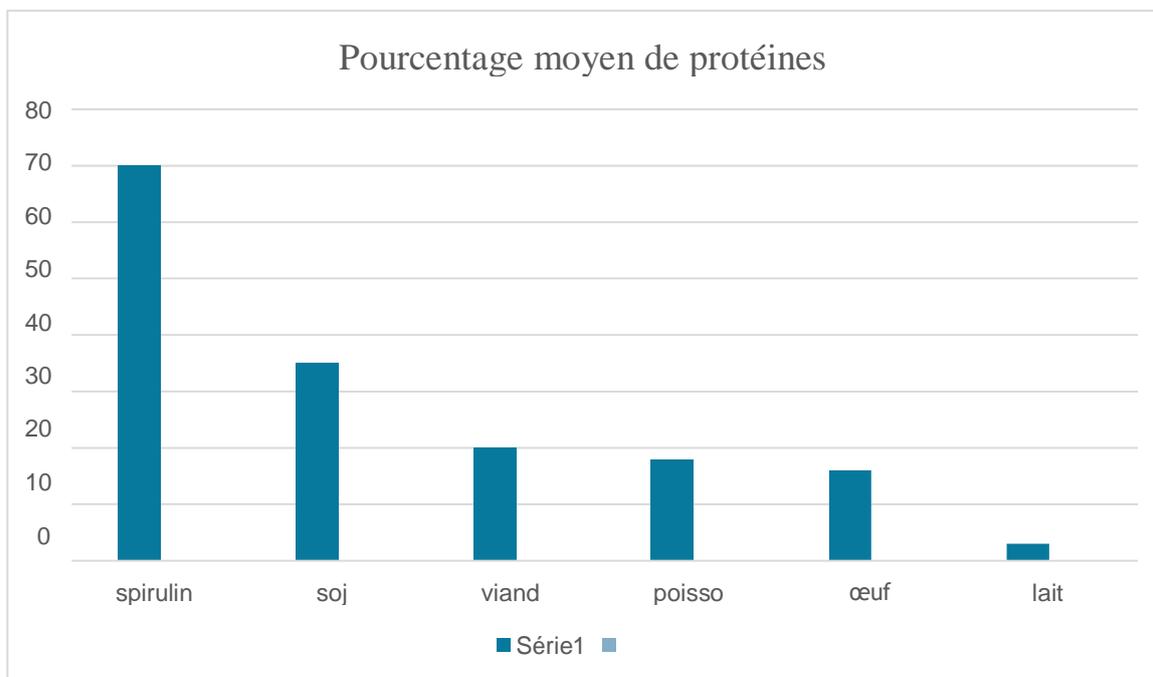
### **II.2.3 La composition chimique de la spiruline**

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. Connue comme « l'aliment parfait de la nature », la spiruline est l'aliment nutritif le plus riche. 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. Sa composition 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 de ce fait certains industriels supplémentent les milieux de culture afin que la spiruline produite soit plus riche en fer, en zinc ou encore en acides gras.

De manière générale, la spiruline est composée de 70% de protéines, 15% de glucides, 5% de lipides, 7% de minéraux et de 3% d'eau comme il est montré dans la figure 6. 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 **(All et al., 1999)**.

### II.2.3.1 Composition en protéines et acides aminés

Indispensables à la vie, les protéines sont les molécules organiques les plus abondantes dans le corps humain. Elles sont retrouvées sous forme d'enzymes, d'hormones, d'anticorps, réparant les tissus, et essentiels à l'équilibre acidobasique. Vingt acides aminés sont à la base des protéines, le corps étant capable d'en fabriquer uniquement 12, les 8 autres sont 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%), comme cela est montré dans la figure 6 (All et al.,1999).



**Figure 6 : Diagramme de positionnement de la spiruline par rapport à d'autres aliments en termes de protéines (ALL et al.,1999)**

Par sa composition protéique, la spiruline est un aliment très riche. Ainsi, comme l'indique le tableau ci-dessus (Tableau 3), la spiruline contient la plupart des acides aminés et notamment tous les acides aminés essentiels constituant près de 60% du poids total des protéines. Les plus fortes teneurs sont celles de la leucine, la valine, et l'isoleucine. Les acides aminés soufrés (méthionine et cystéine) ainsi que d'autres non-soufrés (tryptophane, lysine et

l'histidine), essentiels chez l'enfant, sont peu abondants, ce qui relativise sa richesse protéique.

Le tableau 3, montre la composition qualitative et quantitative moyenne en acides aminés de la spiruline.

**Tableau 3 : Composition en acide aminés de la spiruline (Hajati et al.,2019)**

Acides aminés	%	Acides aminés	%
<b>Asp</b>	<b>0.9</b>	<b>Met*</b>	<b>0.8</b>
<b>Thr*</b>	<b>0.5</b>	<b>Ile*</b>	<b>1.3</b>
<b>Ser</b>	<b>0.6</b>	<b>Leu*</b>	<b>0.8</b>
<b>Glu</b>	<b>1</b>	<b>Tyr</b>	<b>3.3</b>
<b>Pro</b>	<b>0.3</b>	<b>Phe</b>	<b>2.5</b>
<b>Gly</b>	<b>0.6</b>	<b>His</b>	<b>4.7</b>
<b>Ala</b>	<b>1</b>	<b>Lys*</b>	<b>1.9</b>
<b>Val*</b>	<b>1.3</b>	<b>Arg</b>	<b>2.1</b>

Non inclus Trp\* et Cys \* Acide aminé essentiel

On peut noter que parmi ces acides aminés essentiels les plus faiblement représentés sont les acides aminés soufrés : méthionine et cystéine (absente ici mais évoquée dans d'autres publications (**Campanella et al., 1999**)).

Concernant les protéines, l'Utilisation Protéique Nette est une notion importante. 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 de vache (12%) (**Delpuch et al., 1975**).

### **II.2.3.2 Les lipides**

Les lipides de la spiruline qui représentent environ 5 à 6 % de son poids total, ce qui en fait un aliment pas très gras, mais ce pourcentage peut atteindre 11% selon les modes d'extraction ou la souche de spiruline utilisée (**All et al., 1999**). Un équilibre optimal entre les oméga-3 et 6, garant d'une bonne santé cardiovasculaire est observé (**Michka, 2005**).

La matière grasse présente dans la spiruline se subdivise en deux fractions : une fraction saponifiable « ou acides gras » (83%) et une fraction insaponifiable (17%).

### II.2.3.2.1 Acides gras ou fraction saponifiable

Les acides gras font partie intégrante des lipides qui sont des nutriments indispensables au système nerveux, système cardiovasculaire et à la peau. Ils jouent un rôle énergétique et constituent au maintien de la chaleur corporelle. De plus, ils véhiculent les vitamines liposolubles (A, D, E, K) et contribuent à leur absorption. La fraction saponifiable, représentant 4,9 à 5,7% de la matière sèche de la spiruline, est essentiellement composée de monogalactosyl diglycérade et de digalactosyl diglycérade (23%), de sulfoquinovosyl diglycérade (5%) et de phosphatidyl glycérol (25,9%) (Xue et al.,2002).

Les triglycérides ne sont présents qu'à de très faibles taux (0,3%). La phosphatidyl choline, la phosphatidyl éthanolamine et le phosphatidyl inositol ne sont pas présents en quantité appréciable.

La composition des principaux acides gras de trois espèces de spiruline révèle la présence d'une forte concentration en acides gras essentiels (acides gras insaturés C18) (voir tableau 4)

Ces acides gras incluent les oméga-3 et des oméga-6 qui sont qualifiés d'essentiels car l'organisme humain en a absolument besoin et ne peut les produire.

Les acides gras omega-3 et oméga-6 de la spiruline préviendraient l'accumulation de cholestérol dans l'organisme. Ceci pourrait expliquer en partie la diminution des taux en cholestérol et triglycérides observés lors des expériences de Ramamoorthy/Premakumari et Samuels (Ramamoorthy et Premakumari, 1996; Samuels et al., 2002). Ces expériences sur l'homme sont cependant réalisées avec de faibles effectifs et sur des sujets souffrant d'hyper cholestérolémie ou hyperlipidémie.

**Tableau 4 : Composition en pourcentage des principaux acides gras pour trois espèces de spiruline (Cohen et al.,1993)**

ACIDES GRAS	<i>Spirulina pacific a</i>	<i>Spirulina maxima</i>	<i>Spirulina platensis</i>
Palmitique (16:0)	44.2	63.0	25.8
Palmitoléique (16:1) oméga – 6	4.4	2.0	3.8
Stéarique (18:0)	Traces	1.0	1.7
Oléique (18:1) oméga - 6	0.4	3.0	16.6
Linoléique (18:2) oméga-6	24.3	13.0	40.1
Gamma-linolénique (18:3) oméga-6	22.1	13.0	40.1
Alpha-linolénique ( 18 :3) oméga-3	Traces	Traces	Traces

L'acide gamma-linolénique (non-essentiel car il peut être synthétisé à partir de l'acide gras linoléique) constitue 10 à 20% des acides gras (soit 1-2% du poids sec) chez *Spirulina maxima* et jusqu'à 40% chez *S. platensis*, (soit 4% du poids sec) (Voir Tableau 4). La spiruline figurerait parmi les meilleures sources connues d'acide gamma-linolénique, avec le lait humain, et quelques huiles végétales peu connues (huile d'onagre, de bourrache, de pépin de cassis et de chanvre) (Ciferri, 1983; Cohen et al., 1993). La présence d'acide gamma-linolénique est à souligner du fait de sa rareté dans les aliments courants et que c'est un précurseur de médiateurs chimiques des réactions inflammatoires et immunitaires (Falquet, 2006).

Les sulfolipides tels les sulfoquinovosyl diglycérides qui représentent 5% de la fraction saponifiable, intéressent les chercheurs pour leur activité protectrice contre des infections virales. Le composant lipide sulfoquinovosyl diacylglycerol de *Spirulina platensis* riche en sulfolipides a démontré par expérience *in vitro* sa capacité à inhiber la transcriptase inverse du HIV-1 et du HIV-2 alors que ce dernier est naturellement résistant à cette classe de molécules (Kiet et al., 2006). Le contenu en acide gras de la spiruline peut être modifié suivant les conditions de culture (Colla et al., 2004).

### II.2.3.2 La fraction insaponifiable

La fraction insaponifiable est composée essentiellement de stérols, de terpènes, d'hydrocarbures saturés (paraffines) et de pigments. Cette fraction représente 1,1% à 1,3% de la matière sèche de la spiruline (Michka, 2005).

#### Les stérols

Bien que certaines études révèlent l'absence de stérols, il semblerait que ces derniers représentent néanmoins 1,5% de la fraction lipidique non polaire de la Spiruline. Aucune publication ne dépasse cependant la valeur de 0,015% du poids sec de la cyanophycée.

Ces stéroïdes sont principalement le colionastérol, l'avenasterol et en plus faible quantité, le cholestérol. Certains des stérols présents pourraient partiellement expliquer l'activité antimicrobienne de la spiruline (Michka, 2005).

#### Les terpènes

Les terpènes représentent de 5 à 10% de la fraction insaponifiable. Chez *Spirulina platensis*, ils sont essentiellement représentés par l'alpha et le bêta amyryne, un triterpène penta cyclique de *Spirulina maxima* contient en plus un alcool triterpénique saturé non identifié (Michka, 2005)

### **Les hydrocarbures saturés : paraffines**

Les hydrocarbures saturés à longues chaînes (paraffine) constituent 25% des lipides insaponifiables chez *Spirulina platensis* et *Spirulina maxima*, soit 0,1 à 0,3% de la matière sèche. Les deux tiers sont constitués de n-heptadécane et le tiers restant d'hydrocarbures linéaires saturés en C15, C16, et C18, ainsi que trois hydrocarbures saturés à chaînes ramifiées non identifiés. Les paraffines sont fréquemment retrouvées dans diverses sources alimentaires. Ce type de molécules et en particulier le n-heptadécane peut être toxique. Nous discuterons de cette toxicité possible (Michka, 2005).

#### **II.2.3.3 Les glucides**

Les glucides constituent globalement 15 à 25% de la matière sèche des spirulines (Ciferri, 1983; Falquet et al., 2006), et sont principalement apportés sous forme de glycogène et de rhamnose. Le glucose, le fructose, le saccharose et les quelques polyols comme le glycérol, le mannitol et le sorbitol, ne sont présents qu'en très faibles quantités (Niangoran, 2017).

Les sucres simples et les polyols ne sont présents qu'en très faible quantité. Les glucides assimilables sont représentés par du rhamnosanne et du glucosanne aminés, respectivement environ 2% et 10%. On note aussi la présence de glycogène (0,5%) (Ould Belahcent et al., 2013).

#### **II.2.3.4 Les vitamines**

La spiruline contient une large gamme de vitamines. D'après une étude (Bujard et al., 1970), 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 (Seshadri et al., 1991). Une granulométrie plus élevée permettrait une meilleure conservation. Le séchage par pulvérisation étant déconseillé. Il existe 13 vitamines, 4 liposolubles (A, D, E, K) et 9 hydrosolubles (B1, B2, B5, B6, B12, C, PP). La spiruline contient de nombreuses d'entre elles et spécialement des vitamines B dans des proportions optimales.

##### **II.2.3.4.1 Vitamines liposolubles**

Les trois vitamines liposolubles trouvées chez la spiruline sont le  $\beta$ -carotène, précurseur de la vitamine A, la vitamine E et la vitamine D (Voir tableau 5).

**Tableau 5 : Vitamines liposolubles contenues dans la biomasse de *Spirulina platensis* (mg/100g de matière sèche) (Babadzhanov, 2004).**

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

### La Bêta- carotène

Parmi les vitamines liposolubles, on note une teneur très élevée en β -carotène. Il représente 40 à 80% des caroténoïdes de la spiruline, le reste étant composé principalement (par ordre décroissant) de xanthophylle, de cryptoxanthine, d'échinénone, de zéaxanthine et de lutéine (Palla et al., 1969; Pierlovisi, 2007). On trouve entre 700 et 2000 mg de β-carotène et environ 100 à 600 mg de cryptoxanthine par kilo de spiruline sèche (Careri, 2001), ces deux caroténoïdes sont convertibles en vitamine A par les mammifères qui ne synthétisent pas cette vitamine (Falquet, 2006; Henrikson, 1994). Les besoins en vitamine A sont estimés chez l'adulte à moins d'un (01) mg par jour (Evetset al.,1994); d'autre part, la conversion du β-carotène en vitamine A se fait chez l'humain à 17 à 20% (en partie selon la dose de β-carotène absorbée) (Tang et al., 2000). Quelques grammes de spiruline suffisent donc à couvrir entièrement les besoins en vitamine A d'un adulte. D'autre part, l'absence de rétinol exclut un éventuel risque de surdosage, le β-carotène n'étant pas toxique par accumulation au contraire de la vitamine A.

La vitamine A est impliquée dans la croissance des os et la synthèse des pigments de l'œil. Divers travaux sur la supplémentation en vitamine A avaient suggéré une relation entre la carence en cette vitamine et le risque de transmission materno-fœtale du virus HIV (Semba et al., 1994). Bien que ce sujet reste controversé (Shey Wiysonge et al., 2003). Une étude récente de Wang et al. En 2008 portant sur des chinois adultes montre que l'ingestion de 4.5 mg de β-carotène provenant de la spiruline apporte 1mg de vitamine A.

### Vitamine E (tocophérols)

On note dans la spiruline des teneurs en vitamine E de la Spiruline variant de 13 À 120 mg/Kg (Vincenzini et al., 1980) voire même 190 mg/Kg (Challem et al., 1981). Ces différences sont liées aux méthodes de dosage, aux conditions de culture, mais surtout de séchage de la spiruline. Il est très probable que le séchage par « spray-drying » qui brise très fortement les

## Chapitre II : Caractéristiques et propriétés de la spiruline

filaments de spiruline réduise considérablement la durée de conservation des vitamines sensibles à l'oxydation, dont la vitamine E (Falquet et al.,2006).

Les besoins quotidiens en vitamine E seraient de 15 U.I. ; Les besoins journaliers d'un enfant de 6 mois à 3 ans sont de 5.103 à 6.103 µg ; si la biodisponibilité était de 100%, une dose de 10 g de spiruline couvrirait de 2 à 22 % de ces besoins soit 12 mg de tocophérols libres (Guyton, 1986). Les propriétés anti-oxydantes du tocophérol pour les acides gras insaturés pourraient expliquer la bonne conservation de ces derniers dans la spiruline séchée.

### II.2.3.4.2 Vitamines hydrosolubles

La teneur en vitamines hydrosoluble de la spiruline, est représentée dans le tableau 6.

**Tableau 6 : Teneur en vitamines hydrosolubles (µg) par gramme de matière sèche de Spiruline (Falquet et al., 2006)**

Vitamine	Teneur (µg/g)
<b>B1 (thiamine)</b>	34 – 50
<b>B2 (riboflavine)</b>	30 – 46
<b>B3 (niacine)</b>	130
<b>B5 (pantothénate)</b>	4,6 -25
<b>B6 (pyridoxine)</b>	5 – 8
<b>B8 (biotine)</b>	0,05
<b>B9 (folate)</b>	0,5
<b>B12 (cobalamine)</b>	0,10 – 0,34*
<b>C (acide ascorbique )</b>	Traces

### Vitamine B12

Une note technique de la firme « Cyanotech » mentionne une teneur totale en crinoïdes de 7 microgramme par gramme de spiruline et une fraction de 36% représentant la vitamine B12 assimilable par l'homme (Todd-Lorenz, 1999). Ces valeurs indiquent qu'un gramme de cette spiruline couvrirait plus de 80% des apports quotidiens en B12 pour un adulte. Quoiqu'il en soit de la spiruline, il est maintenant établi que bien d'autres sources alimentaires de vitamine B12, voire même les préparations multivitaminées synthétiques contiennent elles-aussi de fortes proportions d'analogues non-métabolisables par l'homme (Kondo et al., 1980; Noguchi et al., 1999). La vitamine C n'existe qu'à l'état de trace dans la Spiruline (Falquet et al.,2006).

## **Bioptérine**

La spiruline contient une grande quantité de bioptérine (plus précisément l'alpha- glucoside de la bioptérine), qui semble jouer un rôle fondamental dans la protection de l'appareil photosynthétique contre les rayons UV (**Noguchi et al., 1999**). Cette substance fortement fluorescente peut, chez l'homme, être convertie en un co-facteur enzymatique d'une très grande importance, la tétrahydrobioptérine. On ne peut considérer cette substance comme une vitamine, car elle peut être entièrement synthétisée chez l'humain; il existe toutefois des situations pathologiques liées à un manque de synthèse, situation qui peuvent être améliorée par un apport externe de tétrahydro bioptérine (**Hattori, 2002**). L'efficacité de la bioptérine elle-même, par voie orale, n'est pas connue à ce jour (**Falquet et al.,2006**).

### **II.2.3.5 Minéraux et oligo-éléments.**

La composition en minéraux de la Spiruline apparaît dans le tableau 7. On observe une grande variabilité dans les teneurs. Elle s'explique par le fait qu'elles concernent les spirulines en milieu naturel et celles cultivées. En outre, il est possible d'augmenter les teneurs en minéraux des organismes cultivés (**Falquet et al., 2006**).

**Tableau 7 : Composition en minéraux de la spiruline en µg/g de sa matière sèche (Falquet et al.,2006)**

Minéraux	Teneur de la spiruline sèche (mg/kg)	Doses requises* (mg/jour)
<b>Calcium</b>	1300-14000	1200
<b>Phosphore</b>	6700-9000	1000
<b>Magnésium</b>	2000-4000	250-350
<b>Fer</b>	600-6000**	18
<b>Zinc</b>	21-6000**	15
<b>Cuivre</b>	8-2000	1,5-3
<b>Chrome</b>	2,8	0,5-2
<b>Manganèse</b>	25-37	5
<b>Sodium</b>	4500	500
<b>Potassium</b>	6400-15400	3500
<b>Sélénium</b>	0.01-50**	0,05

\*Pour l'adulte\*\*Valeur obtenues par enrichissement spécifiques

## Chapitre II : Caractéristiques et propriétés de la spiruline

Les minéraux spécialement intéressants chez la spiruline sont le fer, le zinc, le magnésium, le calcium, le phosphore et le potassium.

### **Fer**

Les spirulines naturelles ont rarement des teneurs en fer dépassant 500 mg/kg bien que des valeurs supérieures à 1000 mg/kg aient été trouvées (**Campanella et al., 1999**). La spiruline de culture peut être enrichie en Fer et les teneurs obtenues peuvent être alors plus de 10 fois supérieures à celles présentées dans le tableau 7.

Le fer est essentiel à l'organisme humain car il intervient dans la constitution de l'hémoglobine, de la myoglobine et d'enzymes jouant un rôle capital dans de nombreuses réactions métaboliques (**Johnson et al., 1986; Kapoor et al., 1993**).

### **Zinc**

Le Zinc est considéré comme un micronutriment majeur dans la lutte contre la malnutrition (**Gibson, 2005**). Des carences en zinc sont fréquemment associées à des diarrhées, à l'anorexie, à des problèmes cutanés, ou à l'infection au VIH (**Melchior et al., 1997**).

La Spiruline cultivée ne contient généralement que des traces de Zinc (21-40 µg/g). Ces teneurs sont insuffisantes pour que la Spiruline soit considérée comme une bonne source en Zinc. Cependant la Spiruline peut être enrichie (Cogne et al., 2002). Une Spiruline de Biorigin l'Azina titrerait 6000 µg Zn/g (**Folquet et al., 2006**).

### **Magnésium**

Le Magnésium est un élément important pour la santé et une carence est fréquente chez les enfants malnutris (**Briend, 1998**). La Spiruline est naturellement riche en Mg. Planes et al. (2002) ont montré par des études sur des cellules intestinales Caco-2 qu'un enrichissement en Mg n'améliorait pas la disponibilité en magnésium (**Planes et al., 2002**).

### **Sélénium**

Le sélénium est un microélément essentiel à effet antioxydant. Il n'y a pratiquement pas de sélénium dans la spiruline naturelle mais il est possible d'enrichir la Spiruline en sélénium par addition de sélénite de sodium au milieu de culture (**Chen et al., 2006**). Cases et al. ont montré la biodisponibilité par les rats du sélénium à partir de Spiruline fortifiée (**Cases et al., 1999 ; Cases et al., 2001 ; Cases et al., 2002**).

## L'iode

La carence en iode est la première cause de maladie mentale évitable (Hetzl et al., 1997). Il est possible d'obtenir des souches de spiruline capables de fixer l'iode (Mazo et al., 2004 ; Singh et al., 1994) mais les sels d'iodes sont chers et la spiruline ne semble pas concentrer activement cet élément qu'en présence de cobalt qui s'avère carcinogène (Lison et al., 2001).

### II.2.3.6 Pigments

La spiruline est riche en pigments responsables de sa couleur. Les principaux pigments sont la phycocyanine et la chlorophylle. La phycocyanine est une phycobiliprotéine. Seul colorant bleu alimentaire naturel, elle est le pigment le plus abondant de la spiruline et représente plus de 15 % du poids frais et plus de 20 % du poids sec de l'algue (Sall et al., 1999; Rmay et al., 1998). La chlorophylle est présente en proportion de 9-15 g/kg (Australiangouvernement, 2006). Les phycocyanines, composants de l'appareil photosynthétique des cyanobactéries, sont les protéines majeures de la spiruline. Naturellement colorées d'un bleu intense et pourvue d'une fluorescence rouge, elles sont responsables du bleuissement de la poudre de spiruline exposée trop longtemps à la lumière : moins sensible que la chlorophylle à la photo-destruction, leur couleur domine lorsque le vert chlorophyllien disparaît. C'est aussi aux phycocyanines que l'on doit l'intense couleur bleue qui apparaît plus ou moins rapidement lorsque l'on réhydrate de la spiruline séchée : l'éclatement des cellules libère ces protéines très solubles dans l'eau, alors que la chlorophylle reste associée aux débris cellulaires. Les phycocyanines ont donné lieu à de nombreuses recherches scientifiques, détaillées plus loin, démontrant l'incroyable potentiel thérapeutique de ces protéines.

La spiruline contient des chlorophylles dont la chlorophylle *a*, 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* apparaissent dans le tableau 8.

**Tableau 8 : Teneurs en pigments exprimés en en mg pour 10g de matière sèche de *Spirulina platensis***

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

**(Reuters, 2006)**

Les teneurs en phycocyanine et phycoérythrine varient selon la souche et les conditions de culture. En effet, les teneurs en phycobiliprotéines (qui captent l'énergie lumineuse vers les photosystèmes) sont régulées par l'intensité de l'éclairement. Le tableau 8 montre que la cyanobactérie *Spirulina platensis* est une excellente source de phycocyanine. D'après **Vonshak(1997)** la fraction protéique pourrait contenir jusqu'à 20% de phycocyanine (**Vonchak, 1997**). En outre, la forte teneur en ce pigment pourrait être d'un grand intérêt industriel. D'après l'étude de Fedkovic et *al.*, 1993, les antioxydants comme le  $\beta$ -carotène contenus dans la spiruline permettraient d'inhiber à la fois l'effet mutagène et l'effet régulateur induit par les radicaux libres, préservant ainsi nos tissus (**Fedkovic et al., 1993**). Le  $\beta$ - carotène est d'autre part un précurseur de la vitamine A.

Ci-après, nous allons voir des tableaux récapitulatifs (Tableaux 9, 10, 11 et 12) de la composition nutritionnelle de la spiruline et rôle de chaque composant.

**Tableau 9 : Composition nutritionnelle de la spiruline et rôle de chaque composant (Goulamabasse et al.,2018)**

COMPOSITION NUTRITIONNELLE	COMPOSITION POUR 10G	ROLE
<b>Protéines (végétales)</b>	55 à 70 %	Construction du corps
<b>Glucides</b>	15 à 25 %	Apporte de l'énergie à l'organisme
<b>Lipides</b>	4 à 7 %	Réserve énergétique, fabrication des hormones, bon fonctionnement de l'organisme
<b>Minéraux</b>	7 à 13 %	Voir plus bas
<b>Fibres</b>	2 à 8 %	Amélioration du transit intestinal

Valeur énergétique : 38 kcal/10g

**Tableau 10 : Composition en vitamines et rôle de chaque composant (Goulamabasse et al.,2018)**

VITAMINES	COMPOSITION POUR 10 G	% AJR	ROLE
<b>A</b>	14 mg	1000 %	Vision, croissance, antioxydant
<b>E</b>	1 mg	10%	Lutte contre le vieillissement
<b>B 1</b>	0,35 mg	30%	Participe à l'équilibre du système nerveux, des muscles et du cerveau
<b>B 2</b>	0,4 mg	30%	Lutte contre le vieillissement de la peau, rides, lésions oculaires
<b>B 3</b>	1,4 mg	9%	Indispensable au bon fonctionnement des cellules du cerveau et du système nerveux
<b>B 5</b>	0,01 mg	0,20 %	Accroît la résistance à la fatigue et au stress et combat le vieillissement cellulaire
<b>B 6</b>	0,01 mg	4%	Facilite la digestion et l'assimilation des aliments
<b>B 8</b>	0,005 mg	0,50 %	Appétit, perte de cheveux
<b>B 9</b>	0,01 mg	2,50 %	Nécessaire à la croissance et à la division des cellules
<b>B 12</b>	0,032 mg	1000 %	Fatigue, circulation, croissance
<b>I</b>	6,4 mg	-	Action sur le système nerveux, anticancéreux
<b>K</b>	0.224 mg	300 - 500%	Favorise la coagulation

**Tableau 11 : Composition en minéraux et rôle de chaque composant (Goulamabasse et al.,2018)**

MINÉRAU X	COMPOSITION POUR 10 G	AJ R %	ROLE
<b>Calcium</b>	100 mg	10 %	Nécessaire à la formation des os et des dents, à la croissance et à la coagulation du sang.
<b>Fer</b>	18 mg	100 %	Essentiel à la formation de l'hémoglobine et au transport de l'oxygène dans le sang.
<b>Magnésium</b>	40 mg	20 %	Important dans le fonctionnement des cellules, à la contraction et au développement des muscles et à la formation des anticorps
<b>Phosphore</b>	80 mg	8%	Stimule la croissance et la mémoire
<b>Potassium</b>	140 mg	5%	Perméabilité des membranes des cellules. Il régularise le rythme cardiaque et la tension artérielle.
<b>Zinc</b>	0,3 mg	3%	Stimule le système immunitaire, action antioxydante.
<b>Cuivre</b>	0,12 mg	5%	Entretien des cartilages et des os, lutte contre les infections.
<b>Manganèse</b>	0.5 mg	17 %	Participe à l'utilisation des glucides et des lipides par l'organisme, lutte contre les radicaux libres.
<b>Sodium</b>	0.09 mg	-	Régulation de l'acidité et de la répartition de l'eau dans l'organisme, contribue au bon fonctionnement musculaire.
<b>Chrome</b>	0.028 mg	16 %	Intervient dans le métabolisme des glucides.
<b>Sélénium</b>	0.002 mg	2%	Antioxydant, détoxiquant, renforce le système immunitaire .

**Tableau 12 : Composition en acides aminés essentiels et rôle de chaque constituant (Goulamabasse et al.,2018)**

ACIDES AMINES ESSENTIELS	COMPOSITION POUR 10G	% AJR	ROLE
<b>Isoleucine</b>	350 mg	50%	Améliore la coordination musculaire et la réparation des tissus, normalise le taux d'azote dans les muscles, diminue le taux de sucre dans le sang, lutte contre les manifestations hypoglycémiques, augmente la résistance aux efforts physiques, favorise le métabolisme musculaire
<b>Leucine</b>	540 mg	49%	Diminue le taux de sucre dans le sang, aide à régénérer et à réparer les tissus musculaires, régule le taux d'azote dans les muscles, augmente la résistance aux efforts physiques
<b>Lysine</b>	290 mg	36%	Participe à la formation des anticorps et à la régénération de tissus endommagés, stimule le système immunitaire et endocrinien, prévient les éruptions cutanées, aide à lutter contre le manque d'énergie et d'appétit, aide au problème de retard de croissance chez l'enfant, facilite la formation du collagène
<b>Méthionine</b>	140 mg	70%	Puissant antioxydant qui neutralise les radicaux libres et prévient le vieillissement, favorise la lutte contre la dépression, les troubles du comportement, l'hypertension, les problèmes rénaux, aide à l'élimination des métaux lourds
<b>Phénylalanine</b>	280 mg	140 %	Antidépresseur naturel, améliore la mémoire, participe à la désintoxication de l'alcool et des drogues
<b>Thréonine</b>	320 mg	64 %	Participe à la formation de l'élastine et du collagène, à la croissance des cartilages et des ligaments, à l'équilibre protéique de l'organisme et au fonctionnement du système nerveux central
<b>Tryptophane</b>	<b>90 mg</b>	<b>36 %</b>	Antidépresseur, anxiolytique, combat la dépendance à l'alcool et aux drogues, augmente la tolérance à la douleur, soulage des migraines et des douleurs dentaires.
<b>Valine</b>	400 mg	50 %	Stimulant naturel, il améliore la résistance aux efforts physiques, améliore la glycémie, participe à la régénération et à la réparation des tissus musculaires.

## II.2.4 Les activités thérapeutiques de la spiruline

Comme démontré précédemment *Spirulina platensis* de par sa composition riche et variée, n'a pas d'égal. Jusqu'à tout récemment, l'intérêt pour la spiruline portait uniquement sur sa valeur nutritive. Cependant, à l'heure actuelle, bon nombre de chercheurs étudient les effets thérapeutiques possibles de ce microorganisme. De 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, etc.

### II.2.4.1 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 Hunter, 1995**). Ce résultat, certifie la possession de la cyanobactérie d'un mécanisme de défense pour lutter contre les bactéries pathogènes et donc une perspective de mettre au point ou de développer un antibiotique (agent antimicrobien) à base de plante, sûr et prometteur avec moins d'effets secondaires pouvant substituer à des médicaments synthétiques (**Al-ghanayem, 2017**). Les résultats des différents extraits de spiruline sur diverses bactéries n'ont pas permis à ce jour de définir une substance anti-bactérienne particulière mais un spectre d'action qui serait un support pour démontrer le potentiel de cette activité sur quelques germes pathogènes (**Kaushik et Chauhan, 2008**).

### II.2.4.2 Activité antioxydante

Les principaux actifs antioxydants qui confèrent un statut indétrônable d'antioxydant puissant à la spiruline sont : la phycocyanine, la bêta carotène, les polyphénols, la super oxyde dismutase (SOD) et d'autres vitamines et minéraux contenus dans cette matière. De nombreuses études in vitro et in vivo ont identifié cette activité potentielle de la spiruline (où de ses extraits) et ont montré que le traitement à la spiruline réduit significativement le stress oxydatif (**Goulambasse, 2018**).

### II.2.4.3 Activité antivirale

La richesse de la spiruline en  $\beta$ -carotène, en vitamine B12 ainsi que d'autres vitamines du groupe B, depuis fort longtemps établies comme substances intéressantes dans la lutte contre

## Chapitre II : Caractéristiques et propriétés de la spiruline

les infections virales n'explique pas entièrement le pouvoir antiviral de la spiruline. Il semblerait que les polysaccharides membranaires de cette algue soient aussi impliqués dans ce processus (**Andreani, 2011**). L'équipe du professeur Hayashi, de l'American Chemical Society, a démontré l'efficacité in vitro des polysaccharides contre la réplication de plusieurs virus enveloppés comme les Herpès Simplex Virus (HSV), le virus de l'influenza, le virus de la rougeole, le cytomégalovirus humain (CMV) et le VIH-1 (**Youbare, 2007**). Le mécanisme semble reposer sur le fait que le virus, ne pouvant se fixer sur la membrane de la cellule hôte, ne peut donc ni pénétrer celle-ci ni, par voie de conséquence, se répliquer (**Andreani, 2011**).

### II.2.4.4 Activité anticancéreuse

Différentes études et analyses d'experts, ont affirmé que la bêta-carotène, un des antioxydants implanté dans la spiruline, pourrait inverser le processus cancéreux et inhiber le déploiement des cellules cancérogènes. Une de ces analyses confirmatives du résultat fut élaborée avec des personnes qui avaient une leucoplasie buccale (état précancéreux de la bouche). Ces derniers, ont montré après une prise quotidienne d'1g de spiruline pendant un an une amélioration de leur état et réussirent à arrêter le développement de la pathologie. La phycocyanine intervient aussi dans cette activité en s'attaquant aux radicaux libres responsables du cancer (**Vidalo, 2015**).

### II.2.4.5 Activité anti-hypercholestérolémiant

Il existe une corrélation statistique entre l'excès de cholestérol et l'infarctus, la thrombose, l'artérite et les maladies cardio-vasculaires qui sont la première cause de mortalité en occident. Les causes sont multiples mais se conjuguent, comme, une alimentation trop riche, alimentation trop sucrée, trop salée, le stress, l'alcool, le tabac, le manque d'exercice physique, ... Aux alentours de la quarantaine, le cholestérol en excès dans le sang se dépose sur les parois interne des artères : c'est l'athérosclérose. Dans un second temps, les vaisseaux se durcissent, c'est ce qu'on appelle l'artériosclérose. Ce qui va entraîner une diminution du diamètre des artères qui, parfois, se bouchent totalement. Un coronaire qui se bouche donne l'infarctus (**La spiruline et le cholestérol, 2018**).

Avec son fort taux d'acide gamma-linolénique (AGL), la spiruline est naturellement capable de faire baisser le taux de cholestérol sanguin de façon significative. Pour rappel, l'AGL est classé comme un acide gras essentiel, c'est à-dire que le corps en a besoin mais ne peut pas en synthétiser, et doit donc être apporté par l'alimentation. L'AGL facilite la production d'une très importante substance appelée prostaglandine E1 (PGE1). Celle-ci aide à prévenir les

crises cardiaques et les accidents vasculaires cérébraux, elle aide également à éliminer l'excès de liquide, à améliorer la circulation sanguine, à ralentir la production du cholestérol (**L'acide gamma linoléinique, 2018**).

#### **II.2.4.6 Autres effets**

D'innombrables autres effets bénéfiques sont également rapportés pour la spiruline. D'après Takaï et al. (1991), la fraction soluble dans l'eau de la spiruline a la propriété de diminuer le taux de glucose dans le sérum. Par ailleurs, Becker et al. ont montré en 1986 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 (**Takaï et al., 1991**). De plus, Iwata et al. (1990) ont remarqué une suppression de l'hypertension chez les rats, suite à un apport de spiruline (**Iwata et al, 1990**). Et enfin, Cheng-Wu Z et al., ont observé que la phycocyanine et les polysaccharides de la spiruline possédaient une activité érythropoïétique (**Belay, 2002**).

**Chapitre III :**  
**Aliments fonctionnels à base**  
**de spiruline**

## **II.3 Aliment fonctionnels à base de spiruline**

### **II.3.1 Intérêt de l'utilisation de la spiruline dans les aliments fonctionnels**

Les aliments dits fonctionnels doivent apporter des bénéfices physiologiques pour la santé autre que des apports nutritionnels ou énergétiques. Pour comprendre ce qu'est précisément un aliment fonctionnel, il est nécessaire de connaître tout d'abord la définition d'un aliment. Un aliment est défini selon quatre valeurs : une valeur énergétique, une valeur nutritionnelle, une valeur sensorielle et une valeur fonctionnelle (**Mejean, 2008**). Un aliment qui contient de la spiruline doit répondre à tous ces critères.

#### **II.3.1.1 Valeur nutritionnelle**

La valeur nutritionnelle est une condition nécessaire d'un aliment. Tout aliment a un rôle nutritif à remplir. Il doit pour cela apporter les substances indispensables que l'organisme ne peut pas synthétiser, tel que les acides aminés et acides gras indispensables, les oligoéléments, les vitamines et les minéraux. La composition nutritionnelle de la spiruline répond donc parfaitement à ce critère (**Sébastien, 2008**).

#### **II.3.1.2 Valeur énergétique**

Un aliment se doit d'apporter de l'énergie à l'organisme sous forme de calories. Cette énergie est apportée principalement par les lipides, les protides et les glucides qui fournissent respectivement 9 kCal, 4kCal et 4kCal (1 kilocalorie (kCal) = 4,18 kilojoules).

La composition nutritionnelle de la spiruline, riche en protéines, répond là aussi parfaitement à ce critère (**Sébastien,2008**).

#### **II.3.1.3 Valeur sensorielle**

Chaque aliment doit convenir à nos 5 sens :

- La vue par son aspect esthétique, il doit plaire à nos yeux avant de plaire à notre bouche.
- Le toucher par sa texture. Une viande trop dure semblera moins appétissante qu'une viande tendre et juteuse.
- L'ouïe, le croustillant du pain, le croquant de la pomme pendant la mastication sont des éléments importants qui augmentent l'envie de manger.

- L'odorat, c'est avec le goût certainement le sens le plus important, une bonne odeur ouvre l'appétit et excite les papilles gustatives. L'odorat, grâce au mécanisme de rétro-olfaction, permet l'appréciation des saveurs des aliments.
- Le goût, sans nul doute le sens le plus important pour apprécier ou non un aliment. Bien que chaque individu ait sa propre perception du goût et que selon les cultures cette perception peut changer, des constantes existent comme l'amertume, le salé, le sucré, le piquant. Le goût est très culturel et dépendant des habitudes alimentaires, c'est un sens qui s'apprend et qui évolue au cours de la vie.

Sur ce point, la spiruline ne répond pas forcément à ces critères. En effet, la vue de l'algue n'a rien d'appétissant ou du moins dans la culture occidentale. Il peut en être autrement dans les cultures africaines plus habituées à des nourritures à base d'ingrédients naturels, non transformés.

La texture de la spiruline séchée ressemble à celles des herbes de provence mais sans leurs odeurs caractéristiques. Par contre la texture de la spiruline mouillée, ressemblant à une bouillie verte et n'a rien d'attrayant non plus.

De même le goût et l'odeur de l'algue séchée sont fades et ne risquent pas d'attirer le consommateur occidental. La spiruline n'est donc pas un aliment qui excitera les sens du consommateur des pays développés (**Sébastien, 2008**).

### **II.3.1.4 Valeur fonctionnelle**

Tout aliment est susceptible d'avoir une valeur fonctionnelle lorsqu'il a la propriété d'interférer sur les fonctions vitales de l'organisme et de moduler l'état de santé et au bien-être d'un individu (**Mejean, 2008**).

La fonctionnalité d'un aliment est apportée par une ou plusieurs molécules identifiables et présentant des activités spécifiques mesurables. Ces molécules ne sont pas forcément des molécules indispensables au même titre que certains acides aminés. Elles n'entrent pas non plus en jeu pour la régulation du métabolisme énergétique. La fonctionnalité d'un aliment est innée contrairement à l'aliment fonctionnel où l'action sur la fonction cible est acquise par transformation (ajout de composant, concentration...).

Sur ce dernier point, là encore la spiruline répond parfaitement à ce critère avec la présence innée de molécules actives telles que la phycocyanine et le calcium-spirulan. Ces molécules ayant démontrées tout leur potentiel fonctionnel sur des fonctions cibles de l'organisme.

En définitif, la spiruline peut être considérée comme un aliment fonctionnel malgré sa faible valeur sensorielle, valeur qui pourra être compensée par un mélange avec un autre aliment plus appétant.

Concernant ce dernier point, bien que la spiruline soit en passe de devenir un aliment coutumier des pays où sévit la malnutrition, elle n'est assurément pas un aliment coutumier des assiettes des consommateurs des pays développés. Ceci s'explique en partie par le fait que selon les pays, les besoins alimentaires ne sont pas les mêmes. Dans certaines régions des pays pauvres, la spiruline était déjà consommée de manière traditionnelle.

Aujourd'hui, la compréhension des peuples défavorisés qu'il faille lutter contre la malnutrition et que la spiruline peut les y aider, est un élément nouveau qui a favorisé le développement de la culture de l'algue spiruline dans ces pays. A l'inverse dans les pays riches, la consommation d'algue n'est pas coutumière des habitudes alimentaires et il n'y a pas de problème de manque de nourriture. Ainsi, le développement de la consommation de spiruline en tant qu'aliment ne semble pas nécessaire. Néanmoins, la spiruline pourra profiter du marché actuellement porteur des aliments santé. En effet, la nouvelle tendance pour les aliments fonctionnels va favoriser l'émergence et l'acceptation de nouvel aliment dans l'assiette des consommateurs et la spiruline pourrait bien en faire partie (**Sébastien,2008**).

### **II.3.2 Exemples d'aliments fonctionnels à base de spiruline**

Il existe actuellement plusieurs aliments enrichis en spiruline, comme : le pain, le couscous, les gâteaux, les crèmes, les yaourts, la farine, les produits algaux mélangés à du sel, les tagliatelles, le miel, le sucre, la soupe et les boissons...etc.

La spiruline peut être consommée seule ou mélangée à un aliment. Elle rentre dans la fabrication de plusieurs produits alimentaires, pour ses propriétés nutritionnelles mais également pour ses avantages technologiques. En effet, elle est utilisée par exemple comme colorant naturel (phycocyanine) dans les chewing-gums, les produits laitiers et les boissons non alcoolisées mentholées.

En Algérie, nous ne retrouvons pas encore dans nos étales des aliments à base spiruline, cependant plusieurs recherches ont été effectuées sur les aliments fonctionnels qui en contiennent, comme nous allons le voir ci-après.

### II.3.2.1 Produits céréaliers

Le tableau 13 et 14 montrent quelques produits céréaliers supplémentés avec de la spiruline.

**Tableau 13 : Produits céréaliers (couscous artisanal et biscuits) supplémentés avec la spiruline**

Types d'aliment	Objectifs	Résultats et effets démontrés	Références
Couscous artisanal	Étudier l'impact de l'incorporation de la spiruline dans la semoule de blé dur afin de préparer une variété de couscous enrichi (1-2% de spiruline).	<p>La supplémentation en spiruline a influencé la qualité organoleptique de manière positive. Cependant, sa viscosité élevée a contribué à la formation de grumeaux.</p> <p>L'obtention d'un nouveau produit très riche en nutriments</p> <p>Le déficit du blé dur en certains acides aminés essentiels et particulièrement en lysine, a été comblé par l'ajout de spiruline. Ce qui est un bon moyen de lutter contre le déficit en ces acides aminés essentiels pour le corps.</p>	<b>(Boudaoud, 2016)</b>
Biscuit	Étudier l'effet de l'incorporation d'extraits de biomasse et de phycocyanine de <i>Spirulinaplantensis</i> à des biscuits au beurre traditionnels, afin de l'enrichir en nutriments et substances bioactives	<p>Les résultats ont révélé que <i>S. platensis</i> avaient des protéines de haute qualité, une huile riche en acides gras insaturés, glucides, phycocyanine, caroténoïdes (sous forme de pigments photosynthétiques) et composés antioxydants (comprennent: phénoliques totaux, flavonoïdes ,tocophérols, acide ascorbique et glutathion). La spiruline utilisée a montré des quantités importantes en protéines, graisses et glucides avec des valeurs de 40,57%, 20,40% et 16,32%, respectivement.</p> <p>Les pigments photosynthétiques, la phycocyanine (13,51%) et les caroténoïdes (2,51%) ont également été trouvés en quantités importantes.</p> <p>La concentration en composés antioxydants comprenant: phénoliques, flavonoïdes, les tocophérols, l'acide ascorbique et le glutathion dans la biomasse étaient de 1,73%, 0,87%,0,43%, 1,25% et 0,245 mm, respectivement.</p>	<b>(Abd El Baky et al., 2015)</b>

**Tableau 14 : Produits céréaliers (Raviolis et les pâtes alimentaires) supplémentés avec la spiruline.**

Types d'aliment	Objectifs	Résultats et effets démontrés	Références
Raviolis à la ricotta-spiruline	Conceptualiser des raviolis composés de ricotta et de spiruline.	Les raviolis répondent à la règle des 5S : santé, sécurité, satisfaction, service et sociétal. Elle permettrait également de réduire la consommation de viande grâce à sa forte teneur en protéines.	<b>(De Jaeger, 2020)</b>
Pâtes alimentaires	Incorporation de la biomasse de <i>Chlorella vulgaris</i> et de <i>Spirulina maxima</i> dans les pâtes. Plus précisément, le but de la présente étude était de préparer des spaghettis frais enrichis en différentes quantités de biomasse et de comparer les paramètres de qualité (temps de cuisson optimal, pertes de cuisson, indice de gonflement et absorption d'eau), composition chimique, instrumentale texture et couleur des pâtes crues et cuites enrichies de biomasse de micro algues avec des spaghettis de semoule standard.	L'incorporation de la micro algue et de la cyanobactérie entraîne une augmentation des paramètres de qualité par rapport à l'échantillon témoin. La couleur des pâtes est restée relativement stable après la cuisson. L'ajout a également augmenté la fermeté des pâtes crues par rapport à l'échantillon témoin. De toutes les micro-algues étudiées, une augmentation de la concentration en biomasse (0,5-2,0%) se traduisant par une tendance générale à une augmentation de la fermeté des pâtes. L'analyse sensorielle a révélé que les pâtes aux micro-algues avaient des scores d'acceptation plus élevés par le panel de dégustation que les pâtes témoins. L'utilisation de la biomasse de micro algues peut améliorer la qualité nutritionnelle et sensorielle des pâtes, sans affecter ses propriétés de cuisson et de texture.	<b>(Ana Paula Batista et al., 2010)</b>

### II.3.2.2 Produits laitiers

Des exemples développés dans d'autres thèses sont montrés dans le tableau 15.

**Tableau 15 : Produits laitiers supplémentés avec la spiruline**

Type d'aliment	Objectifs	Résultats et effets démontrés	Référence
Fromage frais	L'élaboration d'un fromage frais enrichi en spiruline et mesurer l'effet de la spiruline sur la flore lactique.	La spiruline a diminué la capacité de rétention d'eau du caillé lors de l'emprésurage. L'augmentation du rendement fromager ainsi la qualité nutritionnelle du produit fini si l'ensemencement en spiruline se fait directement dans le caillé. Ils émettent la possibilité d'administration d'un fromage frais enrichi en spiruline aux enfants algériens en bas âge ayant un problème de vision crépusculaire.	(Safia,2010)
Lait fermenté	Supplémentation de laits fermentés en <i>Spirulina platensis</i> et <i>Chlorella vulgaris</i> afin d'améliorer la viabilité des probiotiques.	L'apport en <i>S.platensis</i> et <i>C.vulgarisa</i> affecté la viabilité des probiotiques dans le produit final, mais également leurs attributs sensoriels. L'incorporation dans les laits fermentés a montré une amélioration de la viabilité des probiotiques augmenterait leur caractéristique fonctionnelle, parce qu'ils contiennent une large gamme de nutriments et sont considérés comme des «substances fonctionnelles».	(Beheshtipour et al., 2013)
Produits à base de probiotiques	Evaluer l'utilisation de la biomasse lyophilisée de lacyano bactérie <i>Arthrospira platensis</i> comme seul substrat pour la fermentation lactique par la bactérie probiotique <i>Lactobacillus plantarum</i> Déterminer si la fermentation lactique pouvait améliorer la digestibilité in vitro et l'activité antioxydante.	La digestibilité a augmenté de 4,4%, mais elle n'était pas statistiquement significative, tandis que l'activité antioxydante et phénolique totale a augmenté de manière significative après la fermentation, respectivement de 79% et 320%. Cette étude met en évidence le potentiel d'A. Platensis Biomasse comme substrat pour la production de produits à base de probiotiques.	(Alberto et al., 2018)

**II.3.1.1 Produits gras**

Quelques aliments gras à base de spiruline, sont exposés dans le tableau 16.

**Tableau 16 : Produits gras à base de spiruline**

Type d'aliment	Objectifs	Résultats et effets démontrés	Référence
Mayonnaise	<p>Etudier l'effet de l'ajout de la spiruline (1-2% du poids total) sur les caractéristiques organoleptiques et physicochimiques de la Mayonnaise.</p> <p>Evaluer in vitro l'activité antioxydante de la spiruline ;</p> <p>Dosage des polyphénols contenus dans cette matière ;</p> <p>Détermination de l'activité antibactérienne de la spiruline vis-à-vis quelques souches pathogènes.</p>	<p>La spiruline a montré que c'était une bonne source d'antioxydants qui pourraient représenter une alternative à certains additifs synthétiques.</p> <p>Les résultats ont montré aussi une teneur appréciable de la spiruline en polyphénols et une activité antibactérienne affirmée contre certaines souches pathogènes.</p>	<b>(Lahoucine, 2019)</b>
Margarine	<p>Tester une éventuelle substitution de l'additif synthétique « <math>\alpha</math> tocophérol » utilisé comme conservateur dans la fabrication de la margarine à tartiner « Fleurial© 500 g » par un additif naturel « extrait de Spiruline».</p> <p>Evaluer in vitro l'activité antioxydante de l'extrait de <i>S.platensis</i> (composés phénoliques et caroténoïdes).</p>	<p>Dans cette étude, l'extrait de la spiruline a été classé comme un additif naturel de substitution très intéressant par sa richesse en substances bioactives, et un agent antioxydant naturel qui donne de meilleurs résultats à une plus faible concentration (50 ppm) que l'agent antioxydant de synthèse « <math>\alpha</math>-tocophérol » à 100 ppm rajouté à la margarine témoin. Il peut substituer le pigment par sa richesse en <math>\beta</math>-carotène, en sel, en acide lactique et en sorbate de potassium.</p>	<b>(Yahiaoui, 2017).</b>

### II.3.1.1 Boissons

Les boissons également peuvent être enrichies en spiruline, en voici un exemple concret exposé dans le tableau 17.

**Tableau 17 : Boisson enrichie en spiruline**

Type d'aliment	Objectifs	Résultats set effets démontrés	Référence
<b>Jus</b>	<p>La formulation et le suivi de la qualité physicochimique, microbiologique et organoleptique d'un pur jus 100% orange « Vitajus©» enrichi en différentes doses de spiruline (0.5, 1 et 1.5 g/l).</p> <p>la détermination de la dose létale médiane « DL50 » de spiruline et l'épreuve de toxicité.</p>	<p>L'ajout de spiruline n'a pas d'effets sur les paramètres physicochimiques. Le produit a montré également une bonne qualité microbiologique</p> <p>La qualité organoleptique de la formule 0,5g/l a été jugé la plus acceptable par le panel de dégustation.</p> <p>Le jus enrichi est resté stable au cours des 4 semaines suivant sa production à une température ambiante de 22°C.</p> <p>Le test de toxicité aigüe de la spiruline effectué sur les souris confirme que la spiruline n'est pas toxique selon l'échelle de Hodge et Sterner.</p>	<b>(Mahidjoub et al., 2016)</b>

## **III. CONCLUSION**

L'incontournable précepte d'Hippocrate le Grand, père de la médecine et précurseur de la diététique : « que ton alimentation soit ta première médecine » reprend toute son importance dans cette nouvelle configuration qu'est le retour au « naturel ». Ce phénomène connaît un regain important ces dernières années et se traduit par une modification de nos comportements alimentaires en quête non pas uniquement de bien-être, mais de mieux-être.

Selon l'OMS ; ces changements alimentaires interviennent alors que le nombre de maladies chroniques a connu une hausse spectaculaire durant ces dernières décennies, même dans les pays en voie de développement comme le nôtre. Effectivement, l'Algérie a connu récemment une augmentation du nombre de patients souffrant de maladies chroniques. En 2016 par exemple, les maladies cardiovasculaires ont représenté 36 % de tous les décès dans le pays, suivies par le cancer avec 13% et le diabète avec 4%; toutes ces maladies sont liées de manière significative à ce que nous mangeons.

C'est dans ce contexte particulier que dans les années 80, un nouveau concept alimentaire a été mis au point ; il s'agit des « aliments fonctionnels ». Ils se caractérisent par des effets bénéfiques sur la santé, qui sont induits par des composants biologiquement actifs, soit de source végétale ou animale ; ce qui leur confère un rôle dans la prévention ou le traitement de certaines pathologies. Parmi eux, nous retrouvons les alicaments à base de spiruline. Les propriétés nutritionnelles de cette dernière en font une source alimentaire qui mérite une attention particulière dans nos pays en développement où se pose avec acuité le problème de la disponibilité alimentaire. En effet, le développement de nouvelles sources de protéines pour répondre à la pénurie rencontrée dans certaines régions du globe, est un besoin urgent, et la protéine de *Spirulina platensis* pourrait représenter cette source de protéine bon marché et riche en acides aminés essentiels. A l'heure actuelle, bien que réputée dans certains pays asiatiques et européens pour son pouvoir nutritif, elle reste peu connue et sous-consommée dans notre pays.

En plus de l'intérêt nutritionnel qu'elle peut avoir (pour lutter contre la malnutrition chez les enfants), la spiruline a démontré un avantage technologique puisqu'elle peut être utilisée comme colorant, antioxydant ou conservateur (spiruline ajoutée dans la margarine et la mayonnaise).

Dans ce contexte Plus de travaux scientifiques sont nécessaires pour mettre en pratique l'intérêt de la spiruline mais surtout pour développer d'autres aliments fonctionnels qui en contiennent

Afin de les démocratiser et de les rendre plus accessibles au grand public. C'est dans cette optique que nous proposons quelques perspectives et recommandations :

- ✓ Sensibiliser et encourager les investisseurs à miser sur la culture de spiruline afin de la généraliser et qu'elle soit disponible en quantité suffisante pour subvenir aux besoins de l'industrie agroalimentaire.
- ✓ Orienter la recherche sur le développement d'aliments nouveaux à base de spiruline, surtout pour les rendre plus attractifs et plus appétants, ainsi ils seront mieux acceptés par les consommateurs, et non pas pour déterminer les effets de la spiruline qui sont bien documentés et bien établis.
- ✓ La consommation de la spiruline est recommandée contre la malnutrition protéino-énergétique surtout chez les populations vulnérables comme les enfants préscolaires des régions des hauts plateaux et des régions reculées du pays qui connaissent un apport en protéines surtout animales ; et à moindre mesure elle est également recommandée chez la même population pour lutter contre l'anémie ferriprive due à un manque de consommation de protéines héminiques. L'industrialisation et la commercialisation de biscuits (produit apprécié par les enfants) supplémentés en spiruline pourraient les aider à diminuer le risque de développer ces maladies.
- ✓ Enrichissement de produits alimentaires en spiruline afin d'augmenter leur stabilité oxydative, valeur énergétique, nutritionnelle, organoleptique et hygiénique, tels que les huiles.
- ✓ Élaboration de nouveaux produits diététiques et à caractère probiotique avec l'introduction de la spiruline qui constitue un substrat intéressant pour les ferments, dans des produits alimentaires comme les yaourts, les compotes, les fromages en Algérie.
- ✓ Dans les années 70, l'Etat algérien a pris la décision de subventionner le lait pour augmenter l'apport en protéines de la population qui était insuffisant. Cependant, sa consommation est accompagnée d'une prise importante d'acides gras saturés présents en grandes quantités dans la matière grasse laitière. C'est pour cela que d'autres alternatives doivent être proposées, comme l'introduction de la spiruline dans divers produits, car elle constitue une source riche en protéine, facile à cultiver et peu coûteuse.

# REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**AbdEl Baky, Hanaa H.; El Baroty, Gamal S.; Ibrahem, Eman A, 2015:**

Functional characters evaluation of biscuits sublimated with pure phycocyanin isolated From Spirulina and Spirulina biomass. *NutriciónHospitalaria*, vol. 32, num. 1, pp. 231-241  
Grupo Aula Médica Madrid, España

**AFAA, Association française pour l'algologie appliquée, 1982.** Actes du premier symposium sur la spiruline *Spirulinaplatensis*(Gom). Geitler de l'AFAA.

**Alberto Niccolai<sup>1</sup>, Emer Shannon, Nissreen Abu-Ghannam, Natascia Biondi<sup>1</sup>, Liliana Rodolfi<sup>1</sup>, Mario R. Tredici<sup>1</sup>,2019 :** Lactic acid fermentation of *Arthrospira platensis* (spirulina) biomass for probiotic-based products. *Journal of Applied Phycology*.

**Al GhanayemA. 2017 :** Antimicrobial Activity of *Spirulina platensis* Extracts Against Certain Pathogenic Bacteria and Fungi ; Original Article, *Advances in Bioresearch*, Journal's URL : <http://www.soeagra.com/abr.html>, Department of Clinical Laboratory Sciences, College of Applied Medical Sciences, Shaqra University, Shaqra, Kingdom of Saudi Arabia.

**All M.G., Dankoko B., Badiane M., EhuaE., Kuwakuwi N., 1999:**La

Spiruline, Une Source Alimentaire à Promouvoir, *Laboratoire de Chimie Thérapeutique*, Dakar, Sénégal, Article 46 (3).

**Andreani C. G., 2012 :** Algues et Cyanobactéries, Cours Dumenat Phyto-Aromathérapie, Faculté de Médecine Paris XIII, p 8, 9.

**Australian Government, Department of Health and Ageing.** Therapeutic. Compositional guideline, *Arthrospiraplatensis*.  
[www.tga.gov.au/docs/html/compguid/platensis.htm](http://www.tga.gov.au/docs/html/compguid/platensis.htm), page consultée le 05 décembre2006.

**Babadzhanov A.S., Abdusamatova N., Yusupova F.M., Faizullaeva N., Mezhlumyan L.G. and MalikovaM.Kh, 2004:** Chemical composition of *Spirulinaplatensis* cultivated in Uzbekistan. *Chemistry of Natural Compounds*; 40 (3): p. 276-279.

**BANKS J., 2007 :** Etude de la Spiruline au Palacret, Etudier la Faisabilité de la Mise en Place d'une Filière Spiruline sur le site du Palacret, dans les Côtes d'Armor, Manuel, p 10, 11.

**Becker Ew. (1994).** *Microalgas: biotechnologie et microbiologie*; La presse de l'Université de Cambridge:Cambridge, Royaume-Uni.

**Belay A, 2002.** The potential application of Spirulina (Arthrospira) as a nutritional and therapeutic supplement in health management .The Journal of the American Nutraceutical. p. 26-49.

**Boudaoud S., 2016 :** l'Incorporation de la Spiruline sur les Qualités Nutritionnelles, Organoleptiques et Technologiques du Couscous Artisanal, Mémoire de Master en Agronomie, Université Abou BakrBelkaid, Tlemcen, p 35.

**Boudaoud. S 2016 :** L'incorporation de la spiruline sur les qualités nutritionnelles, organoleptiques et technologiques du couscous artisanal. Mémoire de master en Technologie des industries agro-alimentaires, Université AbouBekrBelkaid- Tlemcen

**Boudouhi. R, Ferreira.C, Morel. E,Szymanski.A ,Tizaoui .S 2006 :** Projet Aliments Fonctionnels : « Réalité et/ou Allégation

**Bradbury J., Lobstein T., Lund V. 1996** Functional foods examined. The health daims being made for food products and the need for régulation. London, The food commission:

**Campanella L., Crescentini G. and Avino P, 1999:** Chemical composition and nutritional evaluation of somenatural and commercial foodproductsbased on Spirulina. Analisis. p. 533-540.

**Briend, A,1998 :** La malnutrition de l'enfant Institut Danone, rue du Duc 100, Bruxelles.

**Careri, M., Furlattini, L., Mangia, A., Musci, M., Anklam, E., Theobald, A. et Von Holst, C, 2001**Supercriticalfluid extraction for liquidchromatographicdetermination of carotenoids in SpirulinaPacificaalgae: achemometricapproach, J. Chromatography A 912, ,61–71.

**Casal A., 2019 :** l'Aliment Idéal et le plus Complet de Demain, Site web, [www.spirulinefrance.fr](http://www.spirulinefrance.fr)

**Cases, J., Puig, M., Caporiccio, B., Baroux, B., Baccou, J.C., Besancon,P. andRouanet, J.M., 1999:** Glutathione-relatedenzymicactivities in rats receiving high cholesterol or standard dietssupplementedwithtwoforms of selenium Food Chemistry, V. 65, n°2,207-211.

**Cases, J., Vacchina, V., Napolitano, A., Caporiccio, B., Besancon, P., Lobinski, R. and Rouanet, J.M., 2001 :** Seleniumfromselenium- richSpirulinaislessbioavailablethanseleniumfrom sodium selenite and selenomethionine in selenium-deficient rats, J. Nutr., V. 131,n°9,2343-2350.

## Références bibliographiques

---

**Castellini, A., Canavari, M. and Pirazzoli, C. (2002).** « Functional Foods in European Union. An Overview of the Sectors Main's Issues », Working Paper WP012-12, Center of International Food and Agricultural Policy, University of Minnesota.

**Castenholz R.W., Rippka R., Herdman M. and Wilmotte A. Form-genus I, 2001**  
:ArthrospiraStizenberger 1852. D. R. Boone & R.W. Castenholz, eds.Bergey'sManual of SystematicBacteriology. NewYork, USA: Springer; 1. p. 542-543.

**Challem, J.J. etPasswater, R.A, 1981:** Mindell-EM. *Spirulina*. Keats Publishing, Inc. New Canaan,Connecticut.

**Charpy L., Langlade M. J., Alliod R., 2008 :** La Spiruline peut-elle être un Atout pour la Santé et le Développement en Afrique ? Institut de recherche pour le développement, Marseille, p 6, 16.

**Chen, T., Zheng, W., Wong, Y.S., Yang, F. et Bai, Y., 2006:** Accumulation of selenium in mixotrophic culture of *Spirulina*platensis on glucose. *BioresourTechnol.* V. 97, 2260-2265.

**Chen X., Li D., (1999).** Food powder technology. *Journal Food Eng* Vol 94, pp 129.

**Cogne, G., Lehmann, B., Dussap, C.G. etGros, J.B., 2002:** Uptake of macrominerals and trace elements by the cyanobacterium *Spirulina*platensis under photoautotrophic conditions: Culture medium optimization *Biotechnology and Bioengineering* V. 81, n° 5, 588 –593.

**Cruchot, H.,2008 :**"La spiruline bilan et perspectives", Thèse de doctorat, 332p.

**Deckere, E.A.M. and Verschuren, P. M., 2000:** « Functional Fats and Spread », In *Functional Dairy Products*. Edited by Mattila-Sandholm T. and M. Saarela. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England.

**De Jaeger, Damien., 2020:** Conception de raviolis à la ricotta-spiruline.Memoire de Master en management de l'innovation et de la conception des aliments, à finalité spécialisée. Université deNAMUR.

**Delpeuch F., Joseph A. et Cavelier C., 1975 :** Consommation alimentaire et apport nutritionnel des algues bleues (*Oscillatoris*platensis) chez quelques populations du Kanem (Tchad). *Annales de la Nutrition et de l'Alimentation*; 29: p. 497-515.

**Doumenge, F., Durand-Chastel, H., 1993** : Toulemont A. Spiruline, algue de vie/ Spirulina, algae of life. ulletindel'Institut Océanographique de Monaco, numéro spécial 12. Monaco : Musée Océanographique.

**Evets, L., et al., 1994**: Means to normalize the levels of immunoglobulin E, using the food supplement Spirulina Grodenski State Medical Univ. Russian Federation Committee of Patents and Trade. Patent (19)RU (11)2005486.

**Evoliconseil, Dupont D., Souchon I., 2014**: Structure des Aliments et Effets Nutritionnels, Edition Quae, RD 10, 78026 Versailles Cedex. P 451.

**Falquet, J., Hurni, J.P., 2006** Spiruline, Aspects Nutritionnels, Antenna Technologies, 41p.

**Federal Register. (1994)**. Diet supplement health education act (DSHEA). Publi L Washington DC. 103-417.

**Fedkovic, Y., Astre, C., Pinguet, F., Gerber, M., Ychou, M. and Pujol, H., 1993**: Spirulina and cancer, Bull. Inst. Oceano., Monaco NS, V. 12, 117-120.

**Farrar, W.V., 23 juillet, 1966**: "Tecuitlatl, A Glimpse of Aztec Food Technology. Nature", n° 5047.

**Food and Nutrition Board of the National Academy of Science., 1998**: Dietary reference intakes: Proposed definition and plan for review of dietary antioxidants and related compounds. Natl. Acad. Press. <http://www4.nas.edu/IOM/IOMHome.nsf/Pages/Ongoing+studies>.

**Forum sur les aliments fonctionnels**, 1er-2 décembre 1998 Palais de l'Europe Strasbourg, France, organisé par la Division de l'Accord partiel dans le domaine social et de la santé publique P49 : « Introduction aux aliments fonctionnels » par le Professeur Marcel Vanbelle P 61 et 63 : « La science des aliments fonctionnels » par le Professeur Marcel B. Roberfroid P170 : « Les aliments fonctionnels : La perspective de l'industrie alimentaire » par le Dr Jean-Michel Antoine, Direction de la Recherche et du Développement de Danone P216 : « Aliments fonctionnels : le point de vue de la Commission des Communautés Européennes » par le Dr Basil Mathioudakis.

**Fox R.D., 1999** : Spiruline, Technique pratique et promesse. Aix en provence: EdiSud.

**Fox, D., 1999**: Spiruline, Technique pratique et promesse", Aix en Provence: Edi.Sud, 246p .

**Geitler L.** Cyanophyceae. Rabenhorst's Kryptogamenflora von Deutschland, Österreich und der Schweiz Leipzig, Akademischer Verlagsges. New York: Johnson; 1932. Reprinted 1971. p. 1-1196.

**Gibson, R.S., 2005.** Zinc: the missing link in combatting micronutrient malnutrition in developing countries, Proc. Nut. Soc., V. 65, 51-60.

**Gill, C. and Rowland, I., 2003:** « The Health Benefits of Functional Dairy Products », In Functional Dairy Products. Edited by Mattila-Sandholm T. and M. Saarela. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England.

**Goulambasse T. R., 2018 :** La Spiruline : Activités Thérapeutiques et son Intérêt dans la Lutte contre la Malnutrition à Madagascar, Thèse pour le diplôme d'état de Docteur en Pharmacie, université de Lille, p 9-16,46.

**Guillon, F., Champ, M. and Thibault, J-F., 2000:** « Dietary Fibre Functional Products », In Functional Dairy Products. Edited by Mattila-Sandholm T. and M. Saarela. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England.

**Guyton, A.C., 1986:** Textbook of Medical Physiology. 7th. ed. W.B. Saunders Company.

**Hajati H., Mojtaba Z., 2019:** *Spirulina platensis* in Poultry Nutrition, Cambridge Scholar Publishing, Livre, p 20.

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

**Hattori, Y., 2002:** Diseases and Pathophysiology Arising from Biopterin Dysregulation, J. Med. Sci., V. 22, n°3, 99-100.

**Hetzl, B. et Pandav, C., 1997:** SOS pour un milliard Presses de l'Université d'Oxford, Great Clarendon Street, Oxford.

**Hilliam, M. and Young, J. N., 2000:** Functional Food Markets Innovation and Prospects – A Global Analysis. Leatherhead Food Research Association, Leatherhead.

**Hwangjh, Lee T, Jengkc, et al (2011).** Spirulina prevents memory dysfunction, reduces oxidative stress damage and augments antioxidant activity in senescence accelerated mice. *J Nutr Vitaminol* ; 57: 186-91

**IFIC Foundation, 1995:** Functional foods: opening the door to better health. *Food insight* November/December

**Johnson, P. et Shubert, E., (1986):** Availability of iron to rats from spirulina, a blue-green algae *Nutrition Research*, V.6, 85-94.

**Kapoor, R. and Mehta, U., 1993: Iron status and growth of rats fed different dietary iron sources,** *Plant Foods Hum. Nutr.*, V. 44, 29-34

**Kaushik P., Chauhan A., 2008:** In vitro Antibacterial Activity of Laboratory Grown Culture of *Spirulina platensis*. *Indian J. Microbiol.* 48 :348–352.

**Kondo, H., Kolhouse, J.F. et Allen, H., 1980 :** Presence of cobalamin analogues in animal tissues. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, V. 77, n°2, 817-821.

**König, C., 06/10/2007 :** Les algues : première lignée végétale [en ligne]. C 06/10/2007. [Consulté le: 12/01/2010].

**L'acide gamma linoléique (AGL) de l'algue spirulée [Internet]. [Cité 22 févr 2018].** Disponible sur: <https://www.spirulinefrance.fr/bienfaits-spiruline/acide-gammalinolenique-spiruline> 20. Mazokopakis.

**Lahoucine. H 2019 :** Etude de l'impact de l'incorporation de la Spiruline sur la qualité organoleptique et physicochimique de la Mayonnaise. Mémoire de master en Biotechnologie Alimentaire Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem

**La spiruline et le cholestérol [Internet]. [cité 22 févr 2018] :** Disponible sur: <https://www.spirulinefrance.fr/bienfaits-spiruline/la-spiruline-et-le-cholesterol>

**Liang A.C., Chen L.I.H., 2001.** Fast-dissolving intraoral drug delivery systems: a review. *Expert. Opin. Ther. Patents*. Vol 11, pp 981-986.

**Lisheng, L. et al., 1991:** Inhibitive effect and mechanism of polysaccharide of *Spirulina platensis* on transplanted tumor cells in mice. *Marine Sciences*, Qindao, China, V. 5, 33–38.

**Lison, D., De Boeck, M., Verougstraete, V. et Kirsch-Volders, M., 2001:** Update on the genotoxicity and carcinogenicity of cobalt compounds, *Occup. Environ Med.*, V. 58, n°10, 619-625.

**Mathew, B., Sankaranarayanan, R. et al., 1995:** Evaluation of chemoprevention of oral cancer with *Spirulina fusiformis*. *Nutr Cancer*, V. 24, n°2, (1995), 197-202.

**Mazo, V.K., 2004:** Microalgae spirulina in human nutrition, *Vopr Pitan*, V, 45-53

**Mejean L.** Fonctionnalité des aliments. [www.iaa-lorraine.fr/media/article/document](http://www.iaa-lorraine.fr/media/article/document)

**Melchior, J.C. et Goudet, O., 1997:** Nutrition et infection par le VIH Ed. Masson, Paris.

**Menrad, K. (2003).** « Market and Marketing Functional Foods in Europe », *Journal of Food Engineering*, 56 (), 181-188.

**Merceron M., 2006 :** Les bactéries photosynthétiques productrices d'oxygène [en ligne]. C2006. [Consulté le : 15/5/2020]. Disponible sur [:http://membres.lyco.fr/neb5000/BacteriologieI/GroupesBacteriens/Bacteriesphotosynthetiquesproductrices doxygene.htm](http://membres.lyco.fr/neb5000/BacteriologieI/GroupesBacteriens/Bacteriesphotosynthetiquesproductricesdoxygene.htm).

**Michka, 2005 :** La spiruline pour l'homme et la planète, Terra Magna Georg.

**Milner, J.A. 2002:** « Functional Foods and Health: A US Perspective », *British Journal of Nutrition*, 88(suppl. 2), S151-S158

**Mmahdjoub. W et Ghribi. S 2016 :** Etude de l'effet de l'incorporation de la spiruline sur la qualité physico-chimique, microbiologique et toxicologique d'un jus. Mémoire de Master en Microbiologie et Toxicologie Alimentaire Université Blida-1.

**Mohan, I. K., Khan, M., Shobha, J. C., Naidu, M. U., Prayag, A., Kuppusamy, P., et al., 2006 :** Protection against cisplatin-induced nephrotoxicity by *Spirulina* in rats. *Cancer Chemotherapy and Pharmacology*, V. 58, n°6, 802–808.

**Moreau F., Prat R., C05/04/2005 :** La Photosynthèse : Localisation de la photosynthèse [en ligne]. C05/04/2005. [Consulté le : 4/07/2020]. Disponible sur [:http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Photosynthese-cours/02-localisation.htm](http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Photosynthese-cours/02-localisation.htm).

**Nelissen B., Wilmotte A., Neefs J.M. And De Wachter R., 1994 :** Phylogenetic relationships among filamentous helical cyanobacteria investigated on the basis

of 16S ribosomal RNA gene sequence analysis. *Systematic and Applied Microbiology*; 17: p. 206-210.

**Niangoran N'goran U. F., 2017** : Optimisation de la culture de la spiruline en milieu contrôlé : Eclairage et Estimation de la Biomasse, Thèse de Doctorat de l'Université de Toulouse, Université Toulouse 3, Paul Sabatier, p 39.

**Noguchi, Y., Ishii, A., Matsushima, A., Haishi, D., Yasumuro, K., Moriguchi, T., Wada, T., Kodera, Y., Hiroto, M., Nishimura, H., Sekine, M., et Inada, Y., 1999** : Isolation of Biopterin-alpha-glucoside from *Spirulina* (*Arthrospira*) *platensis* and Its Physiologic Function, *Mar. Biotechnol.*, V. 1, n°2, 207-210.

**NRC: National Research Council. 1980:** Recommended Dietary Allowances 9th ed. Washington, DC: National Academy Press

**Oral administration of hot water extract of *Spirulina platensis*. *Int Immunopharmacol.* , Mar., 2002, V. 2, n°4, 423-434.**

**Palla, J.C. and Busson, F., 1996:** Etude des caroténoïdes de *Spirulina platensis* (Gom.) Geitler (Cyanophycées) *C.R. Acad. Sc. Paris*, T.269, 1704-1707.

**Pascaud M., 1993:** The essential polyunsaturated fatty acids of *Spirulina* and our immune response. *Bulletin de l'Institut Océanographique* 12 : pp 49-57

**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, 162p.

**Planes, P., Rouanet, J.M., Laurent, C., Baccou, J.C., Besançon, P. and Caporiccio, B., 2002:** Magnesium bioavailability from magnesium-fortified spirulina in cultured human intestinal Caco-2 cells *Food Chemistry*, V. 77, n° 2, 213-218.

**Puyfoulhoux, G., Rouanet, J.M., Besançon, P., Baroux, B., Baccou, J.C. et Caporiccio, B., 2001:** Iron availability from iron-fortified spirulina by an in vitro digestion/Caco-2 cell culture mode, *J. Agric. Food Chem.*, V. 49, 1625-1629

**Qureshi M. A., Hunter R., 1995:** Proc 44th. Western Poultry Disease Conference, Sacramento, California, p 117- 121.

**Rapport France Santé** – Nutraceutique et Aliments Fonctionnels Délégation Générale du Québec - 17/06/03, préparé par Françoise Gizewski,

**Rastall, R.A., Fuller, R., Gaskin, H.R. and Gibson, G. R., 2000:** « Colonic Functional Food », In Functional Foods. Concept to Product. Edited by G. R. Gibson and C. M. Williams. WoodheadPublishing Limited, Cambridge,England.

**Ressources Éducatives Libres - data.abuledu.org [Internet]. [Cité 23oct 2017].** Les ressources libres du projet AbulÉdu Disponible sur: <http://data.abuledu.org/wp/?terms=Cyanobact%C3%A9ries>

**Reuters FinbarrO'reilly., 2006:** L'Afrique mise sur l'algue verte pour mieux se nourrir, Le Monde du 05.03.06.

**Riemersma R. A., 1996:** A fat little eaner. Lancet, 347: 775-776

**Roberfroid, M.B., 2000:** « Defining Functional Foods », In Functional Dairy Products. Edited by Mattila-Sandholm T. and M. Saarela. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England.

**Romay C., Armesto J., Ramirez D., González R., Ledon N. and García I., 1998**  
: Antioxidant and anti-inflammatoryproperties of C-phycoyaninfromblue-green algae. Inflammation Research. Janvier ; 47(1): p. 36-41.

**Safia.L 2010 :** Caracterisation de la spiruline : *Spirulinahtam*, optimisation de ses conditions de culture et applicationindustrielle. Memoire de Magister en Sciences Agronomiques

**Sall M.G, Dankoko B., Badiane M., Ehua E. et Kuakuwin N., 1999 :** Q : Résultats d'un essai de réhabilitation nutritionnelle avec la Spiruline à Dakar (à propos de 59 cas); 46 (3): p. 143-146.

**Sall, M, Dankoko, B,Badaine, M,Ehua E, Kuakuwi , N. ,1999 :** la spiruline: une source alimentaire à promouvoir , Médecine d'Afrique noire ,Vol 46 ,N°3. Sall, M.G., Dankoko, B., **Badiane, M., Ehua, E. et Kuakuwi, N.,1999 :** La spiruline : une source alimentaire à promouvoir. Médecine d'Afrique Noire. Vol. 46 (3): 140- 141.

**Santé Canada.,2002 :** Produitsnutraceutiques/aliments fonctionnels et les allégations relatives aux effets sur la santé liée aux aliments. Programme des produits thérapeutiques et la Direction des aliments de la Direction générale de la protection de lasanté.

**Sébastien Sguera.,2008:** Spirulinaplatensis et ses constituants interets nutritionnels et activitestherapeutiques. UniversiteHenri Poincare - Nancy 1

**Semba, R.D., Miotti, P.G., Chiphangwi, J.D., Saah, A.J., Canner, J.K., Dallabetta, G.A., and Hoover, D.R., 1994:** Maternalvitamin A deficiency and mother-to-child transmission of HIV-1 Lancet, V. 343, n°8913,1593-1597.

**Sguera S., (2008).**Spirulinaplatensis et ses constituants intérêts nutritionnels et activités thérapeutiques.

**SheyWiysonge, C.U., Brocklehurst, P. and Sterne, J.A.C., 2003:** Vitamin A supplementation for reducing the risk of mother-to-child transmission of HIV infection (Cochrane Review) The Cochrane Library, issue 1 (Oxford).

**Singh, Y., Kumar, H.D., 1994:** Adaptation of a strain of Spirulinaplatensis to grow in cobalt- and iodine-enriched media, J-Appl-Bacteriol., V. 76, n°2,149-154.

**Site internet Avis du 30 juin 1998 :** CONSEIL NATIONAL DE L'ALIMENTATION  
SÉANCE PLÉNIÈRE DU 30 JUIN 1998 « Allégations faisant un lien entre alimentation et santé » [http://www.minefi.gouv.fr/minefi/recherche/lance\\_recherche.php](http://www.minefi.gouv.fr/minefi/recherche/lance_recherche.php)

**Site internet :**<https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fpfeda.univ-lille1.fr>consulté le 17 aout2020

**Tang, G., Qin, J., Dolnikowski, G.G. and Russell, R.M., 2000:** Vitamin A equivalence of beta-carotene in a woman as determined by a stable isotope reference method.

**Todd-Lorenz, R., 1999:**SpirulinaPacifica as a Source of CobalaminVitamin B-12  
SpirulinaPacificaTechnical Bulletin 05.

**Tremblin G., Moreau B., 2017 :** La Spiruline sera-t-elle l'Aliment Miracle du XXIème siècle ? Article, Le Mans Université.Eur J Nutr., V. 39, n°1, (2000),7-11. Université Saad DAHLAB-Blida.

**Vicente N., 2012 :** La Spiruline pour la Nutrition et la Santé, p 1-4.

**Vidal J.L.,2015:** Spiruline, l'alguebleuedesantéetdeprévention,Livre,Chapitre3  
/ Cancer et Spiruline, p 101, Chapitre 16 / Universelle spiruline. A chacun son profil p.240.

- Vincenzini, M, Ferrari, F., Margheri, M.O. and Florenzano, G.,1980** : Quinonoid and tocopherol levels in *Spirulina platensis*. *Microbiologica* V. 3,131-136.
- Vonshak A. (1997)**. *Spirulina platensis* (Arthrospira): physiology. Cellbiology and biotechnology. Taylor and Francis Ltd.
- Vonshak A., 2002**: *Spirulina platensis* (Arthrospira): Physiology, Cell-biology and Biotechnology, p 1-17.
- Weststrate J. A., Van Poppel, G. and Verschuren, P. M., 2002**: « Functional Foods, Trends and Future », *British Journal of Nutrition*, 88 (suppl. 2), S233-S235.
- Weststrate J. A., Van Poppel, G. and Verschuren, P. M., 2002**: « Functional Foods, Trends and Future », *British Journal of Nutrition*, 88 (suppl. 2), S233-S235.
- Wittrock et Nordstedt. 1844**: "Algae aquaeducia exsicc, fascicule XIV", Description systematica dispositae, n° 679, 59p.
- Xu C.W., 1993**: An instant algal noodle and its production method, Chinese Patent CN1077857A. *Technol.* Vol 3, N°2, pp 79–88.
- Yahiaoui.N.,2017** : Impact d'enrichissement de la margarine par l'extrait de spiruline sur ses propriétés physico-chimiques et sa stabilité oxydative. Mémoire de master en bioprocédés et technologie alimentaire Université A. MIRA – Béjaia
- Yamaguchi K., 1997**: Recent advances in microalgal bio-science in Japan, with special reference to utilization of biomass and metabolites : a review, *Journal. Appl. Phycol.* Vol 8 N°6, pp 487-502.
- Zeng Z., Liang M.S., 1995**: Production of Spirulina drink (in Chinese). *Food Sci.* Vol 16 N°7, pp 39-412.
- Youbare I., 2007** : Impact de la Prise Quotidienne de *Spirulina platensis* sur le Statu Immunobiologique et Nutritionnel des Personnes Vivant avec le Virus de l'Immunodéficiência à Burkina Faso, Mémoire pour l'Obtention d'un Diplôme d'Etudes Approfondies en Biologie Appliquée et Modélisation des Systèmes Biologiques, Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, Burkina Faso, p11

## Résumé

Nous pouvons aujourd'hui nous alimenter sans trop de soucis, grâce aux immenses progrès réalisés en termes d'abondance, de diversité, et de salubrité. Néanmoins, en termes de qualité nos repas sont souvent insuffisants. Dans ce contexte, nous parlons de plus en plus d'aliments fonctionnels ou d'alicaments. Ces derniers ont pour rôle d'apporter des bénéfices physiologiques pour le corps, que les aliments dits « normaux » n'apportent pas. La spiruline, une cyanobactérie de composition riche et variée, est présentée comme ayant de nombreux avantages sur la santé humaine. Le principal objectif du présent travail consiste à démontrer l'intérêt de la spiruline dans l'alimentation humaine à travers les aliments fonctionnels ; et d'après la bibliographie parcourue, nous pouvons affirmer que la spiruline répond à la fois aux critères nutritionnels, énergétique et fonctionnels d'un alicament. Nous concluons que la spiruline doit être considérée avec plus d'intérêt en Algérie, lorsqu'elle est ajoutée à un aliment, son apport nutritionnel indéniable et ses avantages technologiques sont bien établis. Tout cela fait qu'elle sera très bientôt incontournable dans notre alimentation.

**Mots clés :** aliments fonctionnels, alicaments, la spiruline, une cyanobactérie, alimentation humaine.

## summary

Today we can eat without too much worry, thanks to the immense progress made in terms of abundance, diversity, and healthiness. However, in terms of quality our meals are often insufficient. In this context, we are talking more and more about functional foods or medicines. The latter's role is to provide physiological benefits for the body, which so-called "normal" foods do not. Spirulina, a cyanobacterium of rich and varied composition, is touted as having numerous benefits on human health. The main objective of this work is to demonstrate the value of spirulina in human food through functional foods; and from the bibliography we have reviewed, we can state that spirulina meets the nutritional, energetic and functional criteria of a food. We conclude that spirulina should be considered with more interest in Algeria, when it is added to a food, its undeniable nutritional contribution and its technological advantages are well established. All this means that it will very soon be a staple in our diet. Keywords: functional foods, foods, spirulina, a cyanobacterium, human food.

## ملخص

اليوم يمكننا أن نأكل دون الكثير من القلق، وذلك بفضل التقدم الهائل الذي تم إحرازه من حيث الوفرة والتنوع والصحة. ومع ذلك، من حيث الجودة، فإن وجباتنا غالبًا ما تكون غير كافية. في هذا السياق، نتحدث أكثر فأكثر عن الأطعمة أو الأدوية الوظيفية. ويتمثل دور الأخير في توفير فوائد فسيولوجية للجسم، وهو ما لا توفره الأطعمة "العادية". السبيرولينا، وهي بكتيريا زرقاء غنية ومتنوعة، توصف بأنها لها فوائد عديدة على صحة الإنسان. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو إظهار قيمة سبيرولينا في غذاء الإنسان من خلال الأطعمة الوظيفية. ومن البليوغرافيا التي قمنا بمراجعتها، يمكننا القول إن سبيرولينا تلبى المعايير الغذائية والحيوية والوظيفية للطعام. نستنتج أنه يجب النظر إلى السبيرولينا باهتمام أكبر في الجزائر، عندما يتم إضافتها إلى الطعام، فإن مساهمتها الغذائية التي لا يمكن إنكارها ومزاياها التكنولوجية راسخة جيدًا. كل هذا يعني أنه سيصبح قريبًا عنصرًا أساسيًا في نظامنا الغذائي.

الكلمات المفتاحية: أغذية وظيفية، أغذية، سبيرولينا، بكتيريا زرقاء، غذاء بشري.