



ISSN: 0975-833X

Available online at <http://www.journalcra.com>

INTERNATIONAL JOURNAL
OF CURRENT RESEARCH

International Journal of Current Research
Vol. 13, Issue, 11, pp.19376-19385, November, 2021

DOI: <https://doi.org/10.24941/ijcr.42407.11.2021>

RESEARCH ARTICLE

INVENTORY OF THE PRODUCTION, COMPOSITION, USE AND PROCESSING OF SPIRULINA

NAROUA KOURE Mamane Kabirou*, OUMAROU DIADIE Halima, Balla ABDOURAHAMANE and ADAM Toudou

Department of Vegetal at the Faculty of Agronomy at Abdou Moumouni University in Niamey (Niger) BP: 10960 NY

ARTICLE INFO

Article History:

Received 15th August, 2021
Received in revised form
20th September, 2021
Accepted 17th October, 2021
Published online 24th November, 2021

Key Words:

Spirulina,
Production,
Composition, Use.

ABSTRACT

Spirulina, a dietary supplement par excellence, is an algae very rich in proteins, vitamins and mineral elements. The objective of this synthesis is to report on the state of knowledge on the production, composition, processing and use of spirulina. This work was carried out from a bibliographic study. Thus, the results of studies have shown that all stages of spirulina production require compliance with a number of parameters. These include the choice of land and type of basin, culture medium, agitation system, maintenance and rigorous monitoring of crops. Spirulina is an algae which has a thermophilic character and a significant need for light, this particularity of spirulina limits its distribution area to an intertropical band located approximately between 35 ° North latitude and 35 ° South latitude. The chemical composition of spirulina gives it a wide potential for use, especially in human and animal food, in aquaculture, cosmetics, pharmacology, etc. Valuation trials were also tested.

*Corresponding author:
NAROUA KOURE Mamane Kabirou

Copyright © 2021. NAROUA KOURE Mamane Kabirou et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citation: NAROUA KOURE Mamane Kabirou, OUMAROU DIADIE Halima, Balla ABDOURAHAMANE and ADAM Toudou. "Inventory of the production, composition, use and processing of spirulina", 2021. *International Journal of Current Research*, 13, (11), 19376-19385.

INTRODUCTION

Selon un rapport de l'ONU (2018), la faim dans le monde continue d'augmenter, il y a environ 821 millions de personnes qui souffrent actuellement de la faim, dont 256.5 millions en Afrique et plus de 150 millions d'enfants accusent des retards de croissance. Environ 52 millions d'enfants de moins de 5 ans souffrent d'émaciation, 17 millions souffrent d'émaciation sévère et 155 millions présentent un retard de croissance (OMS, 2018). Au Niger, la malnutrition reste l'une des causes les plus fréquentes de morbidité et de mortalité chez les enfants, selon les données de l'Institut National de la Statistique (INS, 2019), sur le plan national, la prévalence de la malnutrition aiguë globale chez les enfants de 6 à 59 mois basée sur le rapport poids pour la taille (P/T) est de 11,6% chez les garçons et 9,7% chez les filles. Cependant, la malnutrition aiguë sévère est 3,3% chez les garçons contre 2% chez les filles, ce qui permet de dire qu'au Niger, il y a plus des garçons qui souffrent de la malnutrition que les filles.

Même si les défis à relever pour améliorer la nutrition sont considérables, il existe un certain nombre d'actions qui peuvent faire la différence pour la survie des enfants. Par exemple, un mètre carré de culture fournit 2,5 Kg de spiruline sèche par an (Falquet et Hurni, 2006). Le traitement d'un enfant présentant une malnutrition sévère dure 6 semaines à raison de 5 g de spiruline par jour, soit 210 g en tout. Ainsi, chaque m² de culture fournit par an un traitement de 12 enfants sévèrement carencés (Falquet et Hurni, 2006). D'où la nécessité s'intéresser davantage à cette algue nourricière très riche pour lutter contre la malnutrition surtout dans les pays en voie de développement comme le Niger. L'objectif de cet article est de faire un état des lieux de la production, de la composition, de la valorisation et de l'utilisation de la spiruline au Niger. Cet article est une synthèse des données existantes sur la production, la valorisation et l'utilisation de la spiruline. Ces données sont issues d'articles scientifiques, des documents comme les thèses de doctorat, les rapports des ONG et des comités scientifiques de recherches axés sur cette thématique.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Généralités sur la spiruline

Définition: La spiruline est un petit être aquatique et microscopique (0,3 mm de long), vieux comme le monde dont le nom scientifique est *Arthrospira platensis* (ne pas confondre avec la cyanobactérie marine dénommée scientifiquement "*Spirulina subsalsa*"), qui vit de photosynthèse comme les plantes et prospère naturellement dans les lacs salés et alcalins des régions chaudes du globe (Jourdan, 2006). Nourriture traditionnelle des Aztèques du Mexique et des Kanembous du Tchad, plus riche en protéines que la viande, la spiruline est maintenant cultivée dans de grandes usines aux U.S.A., en Inde, en Chine, en Thaïlande, etc., car on lui découvre toujours plus de qualités intéressantes pour l'alimentation et la santé, tant pour les hommes que pour les animaux (Jourdan, 2011). Selon (Falquet et Hurni, 2006), on distingue principalement trois espèces de spiruline:

- *Spirulina maxima* découverte au Mexique
- *Spirulina platensis* découverte en Afrique
- *Spirulina jeeibai* découverte en Inde.

Historique de la spiruline

- En 1939: Madame Creac'h, pharmacienne à Bordeaux (France), trouva des galettes de spiruline séchée sur un marché à Massakong en Afrique (Tchad). Celles-ci étaient utilisées par les malades ou après les accouchements et également par les blessés, suite à la chasse ou lors des guerres. La spiruline appelée « *Dihé* » utilisée sous forme de sauce ou de galette est un produit aussi consommé depuis longtemps par le Kanembous au Tchad.
- En 1942: la spiruline fut d'abord découverte (carnets de bord de Christophe Colomb) au Mexique où les Aztèques la consomment sous forme de petites galettes vertes séchées.
- Elle apporte quelques échantillons en France pour analyse et identification. Cependant, compte tenu de l'époque (2^{ème} guerre mondiale), les recherches furent stoppées après le décès de Madame Creac'h.
- En 1959: Max-Yves Brandily (anthropologue) a publié dans « Sciences et Avenir » un article sur ces galettes séchées.
- Début années 1960: Le microbiologiste Hiroshi Nakamura et le Dr Christopher Hills ont été les pionniers de la recherche en spiruline, observant sur eux-mêmes ses effets bénéfiques. Le Dr Hills, fondateur de « l'University of the Trees » en Californie, Président de la Microalgae International Union, n'a cessé de promouvoir les connaissances et consommation de cet aliment.
- En 1962: une française, Madame G. Clément, continue les recherches sur la spiruline et demande des fonds à l'état pour se rendre en Afrique (Tchad).
- En 1965: le botaniste belge, J. Léonard, qui participait à une expédition trans-saharienne belgo-française fit état au Tchad de la présence de blooms algaux dans les ouadis et de la vente de galettes bleu vert, issues de ces algues, sur les marchés traditionnels de Fort-Lamy (actuellement Djaména). L'analyse microscopique et chimique d'échantillons de ces galettes par Léonard et Compère a indiqué qu'elles étaient constituées presque

exclusivement de la cyanobactérie *Arthrospira* (appelé à l'époque *spirulina*) et révéla le haut contenu en protéines et la grande richesse nutritive de cet aliment biologique.

- En 1967: W.H.O (The World Health Organization) et l'Unicef reconnaissent les propriétés nutritives de la spiruline.
- En 1970 Ripley Fox diffuse la spiruline en Afrique.
- En 1984: Après le Mexique (Lac Texcoco) et l'Afrique (Lac Tchad), la Chine (Lac Chenghai) produit de la spiruline à l'état naturel et pur.
- En 1996: le Colloque International sur la spiruline a été tenu au lac Chenghai, Yunnan, Chine.
- En 1999-2000: le Centre Universitaire de biotechnologie algale (Cuba), l'Université de Liège (Belgique) et le bureau d'études Tractebel Consul (Bruxelles, Belgique) ont effectué plusieurs missions au Tchad dans le cadre d'une étude de pré faisabilité pour le développement de la production de la spiruline. Cette étude, financée par la Banque Africaine de Développement (BAD) avait pour but d'évaluer les possibilités d'optimiser la production artisanale et l'utilisation traditionnelle de la spiruline au Tchad et de développer la production industrielle.
- En 2002: Tenue d'un colloque à Malet (France ?) sur la production artisanale. Le premier objectif était la mise en place d'une expérimentation de production de la spiruline sous serre en zone littorale.
- En 2003: Naissance du Certificat Professionnel, spécialité d'initiative locale « Production artisanale de spiruline à vocation humanitaire » écrit et validé par un établissement du Ministère français de l'Agriculture et de la Pêche, après un consensus des représentants professionnels en France. Tenue d'un Colloque d'écologie microbienne à Carry-le-Rouet, France (25 -28 mai 2003).
- En 2004: Colloque international sur « les cyanobactéries pour la santé, la science et le développement « CSSD » aux Iles des Embiez (3-6 mai 2004).
- En 2006: Colloque international sur la spiruline, 1^{ère} rencontre panafricaine à Agharous-Nord Niger (4-10 mars 2006); Organisation de la « Semaine de la vie en bleu » par Alpha Biotech en France (octobre 2006). En 2008: Colloque international sur la spiruline, 2^{ème} rencontre panafricaine au Togo (1-8 mars 2008) (Halidou, 2008).

Description botanique: La spiruline se présente comme un filament ou trichome enroulé suivant le sens des aiguilles d'une montre (Jourdan, 2006). Elle s'adapte morphologiquement au milieu de culture et se déplace dans l'eau comme le mouvement d'une vis. Il existe à ce jour 200 genres et environ 1 500 espèces de cyanobactéries connues; étant très difficiles à détecter, il en reste sans doute encore beaucoup à découvrir (Cruchot, 2008). Du point de vue taxonomique, sa position est la suivante (**Fox, 1999**):

Règne: Monera

Groupe ou Sous-Règne: Procaryotes

Embranchement: *Cyanophyta*

Classe: *Cyanophyceae*

Ordre: *Nostocales (Oscillatoriales)*

Famille: *Oscillatoriaceae*

Genre: *Arthrospira*

Espèce: *Arthrospira platensis*.

Conditions agroécologiques et Cycle de développement

Conditions agroécologiques: La spiruline se développe dans les mares d'eau saumâtre (28 à 40°C), en milieu alcalin (8 < pH < 11,5) et à une salinité d'environ 13 g / litre (Jourdan, 2006). Son milieu doit contenir des minéraux, du dioxyde de carbone, de l'oxygène, des carbonates et des bicarbonates à fortes concentrations avec une intensité lumineuse élevée et une agitation permettant à la fois la dispersion homogène et l'exposition à la lumière (Loïc *et al.*, 2008). Ainsi, selon l'endroit où les spirulines poussent naturellement, la distance entre les spires varie beaucoup selon l'intensité lumineuse (tableau I): sous éclairage intense, elle peut être réduite à 10 µm alors que sous faible éclairage, elle peut dépasser 100 µm (FOX, 1999).

Cycle de développement : Le cycle de développement de la spiruline suit trois étapes fondamentales: la fragmentation de trichome, l'élargissement des cellules hormogonies (filaments de 2 à 4 cellules) avec processus de maturation et l'élongation. Les trichomes matures se fragmentent et donnent des nouveaux filaments ou des hormogonies. Les cellules de ces dernières se multiplient par division binaire, croissent en longueur et prennent leur forme hélicoïdale (Ali *et al.*, 2012). En conditions expérimentales, le temps de génération (passage d'une génération à une autre) maximal de la spiruline est de 7 heures (Zarrouk, 1966).

Caractéristiques de la spiruline

Cyanobactéries : Le terme cyanobactérie du (grec Kuanos = bleu) indique la présence de la phycocyanine qui est un pigment photosynthétique bleu. La spiruline appartient à un groupe des Cyanobactéries capables de photosynthèse avec production d'oxygène (Jarisoa, 2005). Les cyanobactéries sont caractérisées par la présence de thylakoïdes, siège de la photosynthèse, recouvert de granules protéiques associés à une partie de pigment dont l'ensemble donne les phycobiliprotéines. La paroi des cyanobactéries est de type Gram négatif. Les constituants nucléaires des cellules ne sont pas entourés par des membranes nucléaires (procaryotes). La plupart de cyanobactéries filamenteuses sont capables de fixer l'azote atmosphérique grâce à la présence d'une enzyme, la nitrogénase (Jarisoa, 2005).

Morphologie de la spiruline: Du point de vue morphologique, c'est une cyanobactérie microscopique constituée des filaments mobiles de 10 à 12 µm de diamètre. Ces filaments ne sont pas ramifiés mais enroulés en spirale, généralement en 6 ou 7 spires. Cette forme hélicoïdale lui donne l'allure d'un minuscule ressort qui lui a valu son appellation de « Spiruline » (Geitler, 1932). La spiruline a une forme spiralée mais elle peut dans certaines conditions devenir ondulée et même droite. D'après Fox (1986), les trichomes peuvent se mouvoir vers l'arrière et l'avant de son axe. Ce mouvement est fonction de l'agitation du milieu. La membrane périphérique est formée d'une couche lipidique au moins double. Dans cette membrane, sont formés des protéines liées. Compte tenu de la différence en concentration saline entre son milieu riche en bicarbonates et le cytosol intracellulaire, cette membrane joue le rôle de barrière sélective dans la perméabilité ionique cellulaire.

Répartition géographique : Le caractère thermophile de la spiruline et ses besoins importants en lumière limitent son aire de répartition à une bande intertropicale située environ entre

35° de latitude Nord et 35° de latitude Sud (Castenholz *et al.* 2001). Sa forte plasticité écologique permet de la retrouver à l'état naturel dans les lacs alcalins en Afrique (Tchad, Ethiopie, Tunisie, Algérie Soudan, Djibouti, Congo, Kenya, Tanzanie, Zambie et Madagascar), en Amérique latine (Mexique, Pérou, Uruguay, Equateur), en Asie du Sud (Inde, Sri Lanka, Thaïlande) (Fox, 1999). Cet organisme est dit ubiquiste. Il est cependant beaucoup moins abondant en Amérique du Nord et en Europe (Loïc, 2008).

Itinéraires techniques de production de la spiruline

Bassins de culture : Le lieu d'implantation des bassins ne doit pas se faire au hasard mais après mûre réflexion. En effet, il faut respecter quelques règles a priori pas toujours évidentes: ne pas construire les bassins sous des arbres (besoin d'ensoleillement), ni en un lieu inondable, ni près d'une route ou d'une industrie (pollution) (Loïc, 2008). Il est également préférable d'avoir une source d'eau à proximité des bassins. Certes la croissance de la spiruline ne requiert que peu d'eau, mais les lavages sont abondants (nettoyage des toiles de filtration, des ustensiles utilisés, lavage des bassins en cours de rénovation, etc.). De plus, la propreté du matériel et du personnel de production doit être irréprochable pour limiter les risques de contamination des cultures (Mitchell, 1990). Pour ce faire, on distingue les bassins en bâches plastiques, en bois, en banco, et en béton (Loïc, 2008).

Milieu de culture : Les spirulines vivent dans une eau à la fois salée et alcaline. L'eau utilisée pour le milieu de culture doit être potable sans sentir le chlore. Les eaux trop dures sont à éviter car elles peuvent gêner la culture en formant des boues minérales, surtout lorsque l'ensemencement initial en spiruline n'est pas assez concentré (Darcas; ENSM, 2000). En général, les eaux de pluie, de source ou de forage conviennent bien. La salinité est apportée par les produits chimiques servant d'engrais (à l'exception de l'urée, ce sont des sels) et complétée par du chlorure de sodium. La salinité, correspondant à la somme des poids de tous les sels dissous dans le milieu, doit être au minimum égale à 13 g/litre (Jourdan, 2012). L'alcalinité est apportée sous forme de bicarbonate de sodium ou, à défaut, à partir de soude caustique ou de carbonate de sodium, lesquels vont se bicarbonate lentement au contact de l'air (Jourdan, 2012). Cependant, plusieurs types des milieux de cultures peuvent être utilisés pour produire de la spiruline, tout dépendra des moyens et des intrants disponibles.

Entretien des bassins et Surveillance des cultures : Au cours de la culture, plusieurs paramètres sont à contrôler régulièrement. Les cinq (5) principaux paramètres ci-après doivent être contrôlés quotidiennement (Darcas, 2000):

- La **température du milieu** (température optimale: 37°C);
- Le **pH du milieu** (pH optimum compris entre 9,5 et 10,5);
- La **salinité du milieu** (13 g/L au minimum) ;
- Le **niveau d'eau des bassins**: il faut ajouter quotidiennement (de préférence le soir) de l'eau dans les bassins, de façon à maintenir le niveau de départ, c'est-à-dire environ 20 cm; cette eau sert à compenser l'évaporation qui a eu lieu dans la journée. Pour éviter de mettre en péril la culture, la quantité d'eau ajoutée ne doit pas dépasser plus de 10 % du volume du bassin;

Tableau I. Descriptions de plusieurs variétés de *Arthrospira platensis* selon l'endroit où elles poussent naturellement

Date	Auteur et lieu	Longueur des cellules (µm)	Diamètre des cellules (µm)	Diamètre des spires (µm)	Distance entre les spires (µm)
1980	R. Fox Lac Orovilca (Pérou)	2,5	7,8	36	95
1984	S. Pargaonkar Lac Lonar (Inde)	4,5	12	99	55
1990	H. Durand-Chastel Lac Cratère (Mexique)	3,2	12,45	52,3	52
1993	G. Planchon Paracas (Pérou)	2,4	9,3	33	43
1994	G. Planchon Camargue (France)	2,3	11,6	44	109
1994	K. Nguyen Toliara (Madagascar)	3,8	7,2	21,2	32,5
1994	G. Knutsen Olive Mill (Californie)	2,6	6,1	32	65

Source: Fox D. R., 1999

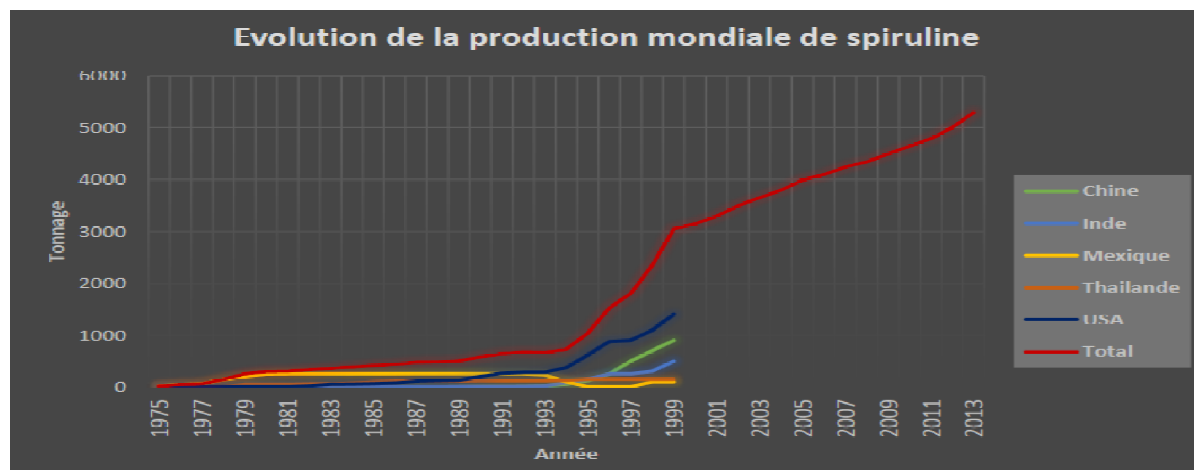


Figure 6. Estimation de la production mondiale de spiruline (Evoli Conseil, 2014)

Tableau II. Teneurs en vitamines de la spiruline (en mg dans 100g MS)

Vitamines	Riboflavine	Vitamine C	Vitamine B12	Pyridoxine B6	Acide folique
Quantité	3,7	9,0	0,12	0,32	0,034

Source: Zafilaza et al. (2015)

Tableau III. Teneurs en minéraux de la spiruline (en mg dans 100g de MS)

Minéraux	Fe	Zn	Ca	Na	K	Mg
<i>S. platensis</i>	87,4	1,45	468	27	1,66	319

Source: Bensehaila et al., (2015)

Tableau IV. Produits formulés à partir de la spiruline

Pays	Nom du produit	Proportion de spiruline utilisée	Proportion des ingrédients utilisés	Dose recommandée (g/j)	Prix /kg
Sénégal	Farine XEWEUL	3 %	55% de mil, 18% d'arachide, 14 % de niébé, 10 % de sucre	100	845 F
République Démocratique du Congo	Farine SOSPISOMA	2 %	44% de maïs, 22 % de sorgho, 22 % de soja, 10 % de sucre	100	650 F
Burkina-Faso	Farine MISOLA + spiruline	5 %	60 % de petit mil grillé (ou 30% de riz + 30% de maïs), 20 % de soja grillé, 10 % d'arachide grillé, 9 % de sucre	200	780 F
Niger	Assaisonnement	30%	70% de cocktail de Soumbala de néré 70% de cocktail de Soumbala d'oseille de Guinée	- -	- -

Source: Falquet, 2006 ; Abdou, 2020.

Tableau V. Teneurs maximales en métaux lourds et en iode autorisées dans la spiruline en France

Valeurs limites par rapport au poids sec (ps) de l'algue (mg/kg)		
Arsenic (inorganique)	≤ 3,0	0,7
Cadmium	≤ 0,5	1
Étain	≤ 5,0	-
Iode	≤ 2000	-
Mercure	≤ 0,1	0,1
Plomb	≤ 5,0	3
Sources	Loïc, 2016 et CEVA, 2014	ECOCERT, 2014

Tableau VI. Valeurs Limites concernant la contamination microbiologique (UFC/g) pour les produits secs

Germes	Valeurs limites		
Germes aérobies mésophiles	≤ 100 000		
Coliformes fécaux	≤ 10	<100	
Anaérobies sulfite réducteurs	≤ 100	< 1000	
Staphylococcus aureus	≤ 100	≤ 10	
Clostridium perfringens	≤ 1		
Levures et moisissures viables	100	≤ 10000	
E-coli	-	0	
Salmonelle	Moins de 1 pour 50 grammes	Absence dans 25 grammes	0
Total des bactéries aérobies	100,000	-	-
Entero-bactériacées	10	-	≤ 1000
Staphylocoques dorés	1	-	-
Clostridia (total)	1000	-	-
Clostridia et perfringens	1000	-	-
Références	Loïc, 2016	CEVA,2014	ECOCERT 2014

- La **concentration en spiruline** (grâce au disque de Secchi);
- La **fréquence d'agitation** (minimum 4 fois par jour si agitation manuelle / agitation continue si système électrique sans risque de rompre les filaments / agitation pendant quinze (15) minutes par heure si les pompes sont immergées. Elle augmente avec l'intensité de la lumière et de la flottation. Au milieu d'une journée très chaude l'agitation doit être fréquente pour éviter la photolyse;
- Le **degré d'ensoleillement / ombrage** des bassins;
- L'**aspect des filaments de spiruline**: afin de s'assurer que le milieu de culture ne comporte que de la spiruline et pas d'autres espèces d'algues proches, il convient d'observer régulièrement les filaments au microscope.

Récolte de la spiruline : Dans de bonnes conditions, il est possible de récolter la spiruline chaque jour. La culture est filtrée à travers deux dispositifs, en général superposés. Le premier est constitué d'une toile fine (maillage environ 300 µm) qui retient les grumeaux, insectes, larves et feuilles. Le second est un tissu à mailles plus fines (environ 30 µm) qui retient la spiruline. La biomasse humide est pressée. La spiruline fraîche ainsi obtenue peut-être consommée directement, ou séchée pour conservation (Loïc, 2008). C'est le disque de Secchi qui permet de savoir s'il est temps de récolter ou pas. Lorsque celui-ci est inférieur à 3 cm, c'est le bon moment. Une fois la culture prête pour la récolte, on doit pouvoir prélever au moins 25 % (1/4) de la culture par jour. Par ailleurs, l'expérience prouve qu'il est préférable de pratiquer la récolte tôt le matin, car la teneur de la spiruline en protéines y est généralement plus élevée que le soir.

Traitement post-récolte

Pressage : Il est réalisé à l'aide de presses mécaniques. Le pressage permet d'évacuer le maximum d'eau possible avant le séchage. Tout comme le séchage, le pressage a une influence sur le goût final de la spiruline. Si le pressage est suffisant, l'odeur de la spiruline séchée ne sera pas désagréable. Cette étape a aussi pour objectif de rendre la spiruline modelable pour l'extrusion et d'accélérer par la suite le séchage (Lecointre, 2017).

Extrudage : La spiruline est extrudée sous forme de spaghettis appelés "paillettes". Ceci a pour but d'augmenter la surface d'échange entre la spiruline et l'air afin d'accélérer le séchage. Cette opération est réalisée à l'aide d'un poussoir à saucisses ou d'un pistolet SIKA si la production est faible (Lecointre, 2017).

Séchage : Il existe différents procédés de séchage, le choix du procédé dépend de l'application future de la biomasse algale. Le plus ancien est le séchage solaire mais il est possible de sécher par d'autres moyens comme le séchage en séchoir convectif ou conductif, ou encore par atomisation, par lyophilisation ou par DIC (Détente Instantanée Contrôlée) (Person, 2010).

Conservation / conditionnement : La spiruline est une algue qui peut se conserver longtemps sans perdre ses qualités nutritionnelles. Ainsi, pour garder ces qualités nutritionnelles, elle doit être stockée dans des sachets bien remplis et étanches, à l'abri de la lumière, de l'humidité et des fortes chaleurs (Escarfail,2016). La conservation de la spiruline peut durer jusqu'à 5 ans à l'abri des rongeurs (Escarfail, 2016).

Production de la spiruline dans le monde

Evolution de la production de la spiruline : La production mondiale de spiruline a régulièrement augmenté, surtout depuis 1995 où elle est passée de 1400 T à 3500 T en 2000 (soit une augmentation de 250 % en 5 ans seulement). En 2013, la production mondiale a été estimée à plus de 5000 T/an, surtout en provenance de Chine et des États-Unis qui sont les principaux producteurs (environ 30 à 40 % pour les USA). Le revenu mondial pour la totalité des micro-algues est estimé en 2010 entre 600 millions et 3 milliards d'euros (Escarfail, 2016) pour une quantité d'environ 15 000T de matière sèche, la spiruline en représentant à peu près un tiers. Depuis les années 2000, on estime une augmentation de la production mondiale entre 5 et 10 % par an. L'Afrique est l'un des continents où la production de spiruline reste la plus faible, bien que l'algue y fût redécouverte sur les bords du lac Tchad. Cette faible production pourrait s'expliquer d'une part par la méconnaissance de la spiruline et de ses vertus nutritionnelles et d'autre part par le faible investissement dans la production (Evoli conseil, 2014). La figure1 illustre les tendances de la production mondiale de la spiruline de 1975 à 2013.

Saisonnalité de production de la spiruline: Dans les régions tempérées, l'hiver est généralement trop froid pour cultiver la spiruline, sauf avec chauffage et éclairage artificiels trop coûteux. Même dans des régions chaudes, un arrêt annuel peut être rendu nécessaire par l'importance des pluies ou de la sécheresse ou par les vents de sable à certaines saisons. La culture de spiruline sera donc souvent saisonnière. Durant la mauvaise saison, une "souche" de spiruline devra impérativement être conservée dans son milieu de culture. Les contenants (bocaux, bonbonnes, bassines) devront laisser

passer la lumière et être stockés dans un lieu clair mais à l'ombre, ou être sous éclairage électrique. Même si les cultures de spiruline survivent à des températures inférieures à 10°C, voire à de brèves gelées, il est prudent de ne pas les stocker au-dessous de 18°C pendant de longues périodes, car les risques de contamination augmentent (Jourdan, 2011).

Caractéristiques physicochimiques de la spiruline

Composition en macronutriments : Teneur en protéines et acides aminés : La teneur en protéines de la spiruline est élevée. Elle représente 10 à 11% de la masse humide, soit 60 à 70% de sa matière sèche (Clément, 1975b, Fox, 1999) avec des variations de 10 à 15 % selon le moment de la récolte. Ce pourcentage est bien plus élevé que celui du poisson (25%), du soja (35%), de la poudre de lait (35%) et des céréales (14%) (Henrikson, 1994). La spiruline est très riche en matières azotées et en contient deux fois plus que le soja, trois fois plus que la viande ou le poisson. Cette richesse est cependant à relativiser compte tenu de la faible quantité de spiruline utilisée en complément alimentaire (<10g par jour). 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), et ceci est d'autant plus intéressant lorsqu'elle est comparée à celle des lentilles (30 %), de la viande de bœuf (15 %) ou du lait de vache (12 %) (Dupire, 2011). De ce fait, la spiruline ne nécessite pas de cuisson ni même l'administration d'un traitement spécial pour une bonne digestibilité protéique.

Teneur en lipides de la spiruline : Des études menées par Fox (1986) et Falquet (1996) ont montré que la teneur en lipides totaux varie de 5,6 % à 7 %. Au Burkina Faso, Simporé et al. (2006) ont trouvé une teneur de 6 %. Cornet (1992) a également déterminé 6 % de lipides totaux dans la spiruline. Razafindrajaona et al. (2006) ont déterminé une teneur de 7,22 % par rapport au poids sec à Madagascar.

Teneur en glucides : La spiruline contient 13,6 à 25 % de sucres totaux par rapport à la matière sèche d'après Falquet et Hurni (2006), Quillet (1975) et Shekharam et al. (1987). Ces teneurs ont été rapportées à hauteur de 11 % et 15 % par Cornet (1992). Simporé et al. (2006) ont obtenu 13,84 %. Clément en 1975 a trouvé un taux de 12,4 %. Razafindrajaona et al. (2006) ont rapporté 14 à 24 % de la teneur en glucides. L'essentiel des glucides assimilables est constitué par des polymères. Ce sont le glucosane et le rhamnose faisant respectivement 1,9 % et 9,7 % du poids sec de la spiruline (Quillet 1975). Les sucres comme le glucose, le fructose et le saccharose existent à l'état de traces. On trouve aussi le glycérol et les polyalcools comme le mannitol et le sorbitol qui sont présents en petite quantité. Le méso-inositol phosphate est, du point de vue nutritionnel, la substance glucidique intéressante dans la spiruline. Elle constitue une source de phosphore organique. La paroi de la spiruline présente une teneur en glycogène estimée à environ 0,5 % de son poids sec (Fox, 1999 et Quillet, 1975). Elle a une teneur en cellulose très faible (0,5 %) de son poids frais (Jacquet, 1974). La spiruline est constituée aussi de polysaccharides sulfatés spécifiques comme le spirulane-calcique (Ca-Sp) ou le spirulane-sodique (Na-Sp) selon Lee et al. (1998). « L'immulina », qui est un nouveau polysaccharide isolé chez *Spirulina platensis*, représente un activateur potentiel des monocytes et des macrophages humains selon Falquet et Hurni (2006) et Loïc et al. (2008).

Ce polysaccharide, complexe et hydrosoluble, représente entre 0,5 % et 2 % du poids sec de la spiruline.

Composition en micronutriments : La spiruline contient une large gamme de vitamines tels que le bêta-carotène (environ 700-1700 mg / kg) convertible en vitamine A chez l'homme. La prise de 1 à 2 g de spiruline pourrait couvrir alors les besoins en vitamine A de l'ordre de 1 mg / jour (Gabriela et al., 2015). Elle contient presque toutes les vitamines de groupes B comme la vitamine B9 (folate), B12 (cobalamine), B6 (pyridoxine); la vitamine C (mais à un taux faible par rapport à d'autres sources comme les agrumes ou Moringa) et la vitamine E (Fifalianaharintsoa, 2017). Le tableau II présente quelques vitamines de la spiruline avec leurs quantités respectives. Les minéraux, à savoir, le fer, le magnésium, le calcium, le phosphore, le zinc, le potassium, le sodium et les autres minéraux sont présents dans la spiruline, comme indiqué dans le tableau III.

Caractéristiques organoleptiques : La spiruline est une algue consommée sous diverses formes. Elle est notamment consommée crue ou cuite, fraîche ou sèche. Cependant, la spiruline séchée en spaghetti est généralement plus appréciée, tant par sa consistance que par son goût/odeur, bien que son conditionnement en sachet coûte un peu plus cher (Escarfail, 2016). La spiruline est aussi utilisée pour la formulation des farines de sevrage et du couscous artisanal dans plusieurs pays en voie de développement (Falquet, 2006). Pour une meilleure prise en charge des enfants malnutris dans les pays en voie de développement, 3 %, 2 %, 5 % de spiruline sont respectivement incorporés dans les farines infantiles en République Démocratique du Congo, au Sénégal et au Burkina-Faso (Falquet, 2006). Au Tchad, il est dans les habitudes alimentaires des Kanembous de transformer le *Dihé* (spiruline) en différentes sortes de sauces (Sorto, 2003). Cependant, cette pratique peut avoir des répercussions sur les qualités nutritionnelles de la spiruline à cause des effets de la cuisson.

Teneurs en métaux lourds et caractéristiques microbiologiques : La spiruline est destinée principalement à la consommation humaine et animale. De ce fait, il est nécessaire de faire un point sur les paramètres et les modalités de contrôle de qualité de cette micro-algue, garantissant ainsi la sécurité du consommateur en bout de chaîne. Les tableaux 5 et 6 résument les quantités maximales de métaux lourds ainsi que les critères microbiologiques autorisés pour la commercialisation de Spiruline. Le tableau III résume les normes recommandées par l'IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) pour la commercialisation de la spiruline.

Stabilité de la spiruline : La spiruline sèche peut se conserver longtemps sans perdre trop de ses qualités à condition d'être stockée en sachets bien remplis et étanches, à l'abri de la lumière, de l'air, et des fortes chaleurs. Des sachets en plastique aluminisés multicouches, thermoscellables, conviennent très bien, il est préférable de faire le vide dans les sachets, dans ce cas le produit peut se conserver 5 ans. Si l'on ne peut pas sceller sous vide, l'absorption de l'oxygène restant dans le sachet convenablement scellé provoquera souvent sa mise en "sous vide" spontanée en quelques jours (Jourdan, 2006).

Utilisation de la spiruline : La très grande richesse de la composition chimique de la spiruline lui confère un large

potentiel d'utilisations, notamment dans l'alimentation humaine, animale et dans les cosmétiques.

Lutte contre la malnutrition : La spiruline est une arme efficace contre la malnutrition. Pour prouver l'efficacité de la spiruline, plusieurs essais cliniques ont été réalisés aussi bien dans les pays en développement qu'en pays en voie de développement, notamment au Niger, au Burkina, en Inde au Congo en République Centrafricaine, etc. Au Niger, une étude (Degbey *et al.*, 2006) a porté sur 56 enfants, âgés de 6 à 24 mois révolus, admis dans le service de pédiatrie A de l'hôpital national de Niamey. Les enfants ont été sélectionnés selon les critères de l'indice poids pour taille. Parmi les 56 enfants, 45 étaient atteints de marasme, 3 de kwashiorkor et 8 d'une forme mixte. Dix gramme (10g) de Spiruline en poudre répartis en 2 prises journalières mélangées à la bouillie de mil ont été administrés aux enfants. Les résultats issus de cette étude ont montré une augmentation significative de la masse pondérale, une baisse modérée du nombre d'épisodes de diarrhées et de vomissements, une très nette amélioration au bout de 14j, de la protidémie, l'albuminémie, et l'hémoglobine.

- Au Burkina Faso, une étude de réhabilitation nutritionnelle comparative (Simporé, 2005) portant sur 170 enfants (84 enfants VIH-positifs et 86 enfants VIH-négatifs) démontre non seulement l'intérêt de la spiruline dans le traitement de la malnutrition infantile, mais aussi son impact particulièrement favorable dans la renutrition des enfants infectés par le VIH.
- En République Centrafricaine, une étude prospective randomisée d'une durée de 6 mois (Yamani, 2009) a été réalisée avec des personnes infectées et affectées par le VIH, avec 160 patients répartis en deux groupes. Les patients du premier groupe ont reçu 10 grammes de spiruline par jour tandis que ceux du deuxième groupe ont reçu un placebo. Cette étude a montré une amélioration significative des principaux paramètres de suivi (poids, périmètre brachial, nombre d'épisodes d'infections, compte des CD4, protidémie).
- En République Démocratique du Congo, une étude portant sur 28 enfants atteints de maladies protéino-énergétiques patentées a été réalisée de janvier à novembre 1989 (Bucaille, 1990). Les paramètres mesurés lors de ce travail montrent l'effet globalement positif de la spiruline sur le statut nutritionnel des patients.
- En Inde, un essai randomisé portant sur 60 écolières s'est attaché non seulement aux effets purement nutritionnels d'un apport d'une faible dose de spiruline (1 g/j) mais aussi à d'éventuels effets indirects sur leurs performances intellectuelles (Sachdeva, 2004). La conclusion tirée de cette étude, selon l'auteur, est que la spiruline a des effets positifs et statistiquement significatifs tant sur le statut hématologique des élèves que sur leurs performances intellectuelles.
- Mais toutes ces études ont fait souvent l'objet des critiques par des scientifiques soit par la non représentativité de la population d'étude et/ou soit par la non publication dans les grandes revues scientifiques du monde.

Chez le Sportif : La richesse en protéine et la forte présence de phénylalanine associée au faible apport calorique sont intéressantes pour le sportif pour lui permettre de soutenir un effort physique intense. Aujourd'hui, il est démontré que les bienfaits de la spiruline pour le corps d'un athlète sont toujours d'actualité, comme chez les peuples Aztèques. Selon une

étude réalisée par (Kalafati *et al.* (2010), une prise de spiruline avant l'effort allongeait le temps de tolérance à la fatigue sur une séance de 2h. De plus, le niveau de glutathion réduit (un antioxydant puissant) fut plus élevé pendant les périodes de repos et 24h après l'effort chez les personnes ayant pris de la spiruline, comparées à celles ayant pris un placebo. L'oxydation des carbohydrates fut réduite de 10,3 % tandis que l'oxydation des acides gras augmenta de 10,9 % sur la séance de 2 h par rapport au placebo. En conclusion, l'adjonction de spiruline amena une amélioration des capacités sportives, de l'oxydation des matières grasses, du niveau de glutathion et atténua la peroxydation lipidique induite par l'exercice (Kalafati *et al.*, 2010).

Sur les Animaux domestiques: Les chiens, les chats, les chevaux, les poissons et les oiseaux peuvent recevoir de la spiruline dans leur alimentation. Par ses pigments, la spiruline améliore l'état des pelages, des écailles et des robes en les rendant plus soyeux et brillants. Il est aussi possible de limiter les carences en calcium des animaux par des cures régulières deux ou trois fois par an, pendant cinq jours consécutifs (Loïc, 2016).

Aquaculture: Les pigments de la spiruline sont souvent utilisés dans les pays asiatiques pour accentuer la coloration des carpes Koï d'ornement (James *et al.*, 2006 et Güroy *et al.*, 2012) sous forme de complément alimentaire en plus d'une alimentation normale. Dans l'élevage de la dorade argentée (*Rhabdosargus sarba*), la spiruline est la plus efficace lorsqu'elle remplace 50 % de son alimentation basée sur de la farine de poisson. Au-dessus de cette concentration, la croissance s'en retrouve amoindrie (El-Sayed, 1994). Les caroténoïdes contenus dans l'algue peuvent eux aussi être utilisés pour améliorer la pigmentation des crevettes afin de les rendre plus attractives pour la consommation. La spiruline, dans la culture de crevettes, fut la seule microalgue à démontrer un bénéfice net pour les cultivateurs grâce à la baisse du coût de production tout en améliorant les performances de culture et l'apparence des crevettes (plus grosses et plus colorées). De plus, la spiruline améliore leur résistance aux maladies (Nakagawa et Gabriel, 1995). Cette méthode est souvent utilisée en Chine.

En cosmétique : La spiruline est utilisée dans les masques cryogéniques et les crèmes anti-âge pour le visage pour sa concentration en protéines, son action sur le renouvellement cellulaire et sur la tonicité des tissus (Spolaore *et al.*, 2006). Elle est aussi utilisée en synergie avec d'autres algues, comme agent cicatrisant et antiseptique. Des extraits de spiruline sont commercialisés en combinaison avec des extraits d'algues vertes, soit sous forme d'extraits bruts actifs stabilisés, soit sous forme de produits finis (gels, shampooings, laits). Certains cosméticiens français ont déjà leur propre système de production algal (Spolaore *et al.*, 2006). Les polysaccharides (par exemple le Ca-SP) de la spiruline sont également utilisés en tant qu'agents actifs, en complément d'additifs et d'excipients (Planas, 2013). Les pigments de la spiruline peuvent servir à colorer les produits cosmétiques finaux, notamment grâce à la phycocyanine (bleue).

Pharmacologie et propriétés thérapeutiques : Ce n'est seulement qu'à partir des années 1990 que la spiruline est passée, dans le monde de la science, d'un intérêt nutritionnel à un intérêt thérapeutique de par l'activité biologique de ses principaux constituants internes: renforcement du système

immunitaire, activités antivirales, aide à la thérapie anticancéreuse, propriétés anticoagulantes ... Les molécules présentant le plus d'intérêt en tant que médicament dans la spiruline sont la phycocyanine, un pigment protéique, et le calcium-spirulan (Ca-SP), un polysaccharide sulfaté (Pierlovisi, 2016).

La Phycocyanine: Faisant partie de la famille phycobiliprotéines, la phycocyanine est constituée d'une partie protéique et d'une partie pigmentée (chromoprotéine). La phycocyanine est une partie constituante d'un phycobilisome, un agrégat de chromoprotéine qui a pour fonction de servir de récepteur de lumière pour la photosynthèse. La phycocyanine est le pigment le plus abondant dans la spiruline représentant plus de 15 % de son poids et qui lui confère sa couleur bleu-vert (Pierlovisi, 2016).

Le Calcium-Spirulan (Ca-SP): Le Ca-SP est un polysaccharide sulfaté attaché à du calcium. Moins connu que la phycocyanine, celui-ci a tout de même fait l'objet de diverses études qui ont permis de révéler de nouvelles propriétés intéressantes. L'extraction du Ca-SP s'effectue par filtration de la spiruline séchée dans de l'eau bouillante puis sa purification se fait par filtration sur gel sepharose où une seule des trois fractions obtenues contient la molécule en question (Hayashi *et al.* 1996).

Activité antivirale : La spiruline, en augmentant la réponse immunitaire de l'organisme, permet à ce dernier de se protéger de façon plus prononcée à d'éventuels corps étrangers pathogènes. C'est par exemple le cas pour la maladie de l'Herpès, du cytomégalovirus, du virus de la rougeole et des oreillons, le virus de la grippe A et en pré-traitement contre le sida (Khan, Bhadouria & Bisen, 2005) et (Hayashi *et al.*, 1993). Les études indiquent néanmoins qu'il s'agit d'un traitement en amont de l'infection (3h avant injection) qui est le plus efficace, ce qui indique que le polysaccharide Ca-SP agit à un stade précoce de la répllication virale, soit au stade de pénétration ou d'adsorption. Le Ca-SP est capable d'empêcher la pénétration du virus dans la cellule-hôte par rétention, grâce à la chélation de l'ion calcique du Ca-SP avec les groupes sulfatés de la membrane de la cellule (Hayashi *et al.*, 1996). Sur le virus du VIH, Ayeuhune *et al.*, (1998) ont montré que l'extrait aqueux de spiruline et sa fraction polysaccharidique inactive le virus avant addition des cellules T dans le milieu de culture, ce qui confirme la théorie selon laquelle la spiruline inhibe la pénétration du virus au sein de la cellule cible, ici les lymphocytes.

Colorants alimentaires: Dans l'agroalimentaire, la spiruline est utilisée comme colorant naturel grâce aux extractions de la phycocyanine (bleue), la chlorophylle (verte) et les caroténoïdes (de jaune à rouge). Outre dans l'aquaculture, ces colorants sont utilisés pour rendre attractifs les produits alimentaires et sont utilisés dans la fabrication de chewing-gum, sorbets, sucreries, produits laitiers et boissons non alcoolisées (Olguin, 1986).

Biogaz et Biocarburant: Dans certaines conditions environnementales et de culture, la spiruline produit un plus fort taux de lipides. Ce sont ces graisses et ces huiles qui servent à l'élaboration de biocarburants. Malheureusement, les concentrations en lipides restent faibles (9,8g/100g maximum) et il paraît difficile de rentabiliser la production de carburants (Escarfail, 2016).

Toxicité: La spiruline n'est pas toxique, contrairement à la plupart des autres cyanobactéries (Delpeuch, 1976). En effet, ces cyanobactéries produisent un grand nombre d'anti-métabolites bioactifs, parmi lesquels des toxines: neurotoxines (anatoxine-A, 13 -N-méthylamino-L-alanine), hépatotoxines (microcystine) ou hématoxines, responsables de cas d'empoisonnements humain ou animal (Boudène, 1975). Mais, le genre *Arthrospira* ne possédant pas les gènes assurant la synthèse de ces toxines, la spiruline destinée à l'alimentation humaine a été autorisée à la vente depuis de nombreuses années dans les pays industrialisés. Aux Etats-Unis, la spiruline est classée "GRAS" (Generally Recognized As Safe) par la Food and Drug Administration (FDA). En France, le Comité Supérieur d'Hygiène Publique a donné, en 1984, un avis favorable pour la consommation humaine de toutes les spirulines (Doumenge *et al.*, 1993).

CONCLUSION

La spiruline est une algue récolte et consommée traditionnelles chez les peuples autochtones du Tchad (Kanembous) et du Mexique (Azèques). La spiruline n'a cependant suscité l'intérêt des scientifiques occidentaux que tardivement, dans les années soixante-dix. D'abord étudiée et reconnue comme aliment intéressant pour sa richesse en protéines, puis pour sa forte composition en vitamines du groupe B et en oligoéléments. La spiruline est utilisée sous divers formes; elle est généralement consommée en paillette, en gélule et en poudre. La spiruline est souvent intégrée dans les farines infantiles, dans la sauce, le lait dans plusieurs pays d'Afrique. La production de la spiruline ne cesse d'augmenter depuis les années soixante-quinze. La Chine et les États-Unis sont les pays le plus producteurs de la spiruline au monde. Cependant, en Afrique cette production reste dérisoire. Au Niger, la production de la spiruline est non seulement très faible mais aussi très peu maîtrisée, d'où la cécité de travaux de recherche qui porte sur l'optimisation de la production et de qualité nutritionnelle de la spiruline dans la lutte contre la malnutrition au Niger.

RÉFÉRENCES

- Ali S.K., Saleh M. A., 2012: Spirulina - an overview. Review. Academic Sciences.
- Abdou S R., 2020. Contribution à l'amélioration des procédés de production de Soubala au Niger. Thèse de doctorat, Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni de Niamey 147p.
- Area of Sambirano, Madagascar. International Journal of Food Science and Nutrition
- Audrey M., 2016. La spiruline: indications thérapeutiques, risques sanitaires et conseils à l'officine; Thèse; Université Grenoble Alpes, Faculté de pharmacie de Grenoble 104p
- Ayeuhunie, S., Belay, A., Baba, T. W. & Ruprecht, R. M. 1998: Inhibition of HIV-1 replication by an aqueous extract of *Spirulina platensis* (*Arthrospira platensis*). J. Acquir. Immune Defic. Syndr. Hum. Retrovirology Off. Publ. Int. Retrovirology Assoc. 18, 7-12.
- Bucaille P., 1990. Intérêt et efficacité de l'algue Spiruline dans l'alimentation des enfants présentant une malnutrition

- protéino-énergétique en milieu tropical. Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier Toulouse III.
- Boudène C., Colla E., et Jenkins C., 1975. Recherche et dosage de divers toxiques minéraux dans les algues spirulines de différentes origines et évaluation de la toxicité à long terme chez un lot d'algues spirulines de provenance.
- Castenholz RW, Rippka R, Herdman M, Wilmotte A (2001) Form-genus I. *Arthrospira* Stizenberger 1852. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology (D. R. Boone & R.W. Castenholz, eds.) 1: 542-543
- CEVA 2014: Réglementation algues alimentaires Synthèse 3p
- Clément G., 1975: Production et constituants caractéristiques des algues *Spirulina platensis* maxima. Ann. Nutr. Alim. 29: 447-488.
- Clément G., 1975b: Spirulina, a protein-rich food alga, conférence du Caire avril 1975. Institut français du Pétrole, division Applications: 1-18
- Cornet J.F., 1992: Etude cinétique et énergétique d'un photobioacteur. Thèse de doctorat, Université de Paris-Sud centre d'Orsay.
- Costa JAV, Colla LM, Duarte P, Kabke K, Weber A, 2002: Modelling of *Spirulina platensis* growth in fresh water using response surface methodology. World Journal of Microbiology and Biotechnology 18: 603-607.
- CRUCHOT H., 2008. Spiruline bilan et perspectives, Thèse, Faculté de médecine et de pharmacie de Besançon, Université de Franche-Comté 353p.
- Degbey H, Hamadou B, Oumarou H (2006): Evaluation de l'efficacité de la supplémentation en Spiruline du régime habituel des enfants atteints de malnutrition sévère. In Charpy et al. (ed.) International Symposium on Cyanobacteria for Health, Science and Development: 104-108.
- Darcas C. La spiruline., 2000. Une algue pour la santé — livret-guide de production. TECHNAP/CREDESA. Disponible sur: <http://credsa.on line.fr>
- Delpeuch, F., 1976: Consumption as food and nutritional composition of blue-green algae among populations in the Kanem region of Tchad.
- Doumenge F, Durand H, et Toulemont A. 1993: Spiruline, algue de vie/spirulina, algue of life. Bulletin de l'Institut Océanographique de Monaco. Monaco: Musé océanographique.
- Dr Dupire J., 2011: La spiruline un super aliment. 151p
- ECOCERT 2014: Référentiel pour la production biologique de micro algues d'eau douce ou saumâtre terrestre version 2.1. 13p. Editions Edisud. 2ème édition.
- El-Sayed, A.-F. M. 1994: Evaluation of soybean meal, spirulina meal and chicken offal meal as protein sources for silver seabream (*Rhabdosargus sarba*) fingerlings. Aquaculture 127, 169–176. Engineering 2015, 5(3): pp101-114
- Evoli Conseil. 2014: Rapport final d'étude - Culture et vente de Spiruline : Etude de faisabilité économique 84p.
- Falquet J. et Hurni J.P., 2006: Spiruline, aspects nutritionnels. Antenna technologies. Genève. 41p.
- FAO, FIDA, OMS, PAM et UNICEF. 2017: Renforcer la résilience pour favoriser la paix et la sécurité alimentaire, l'état de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde.
- Fifalianaharintsoa S. 2017: Evaluation de l'état nutritionnel des enfants de moins de 12 ans et appréciation de la consommation de la spiruline ou *Arthrospira platensis* distribuée dans les centres nutritionnels et cantines scolaires, mémoire master, Faculté des Sciences, université d'Antananarivo (UA). 73p
- Fox D. R. 1999. Spiruline: Technique pratique et promesse. Aix en Provence: Edisud; 246p.
- Fox R.D., 1999: La spiruline: technique, pratique et promesse. Traduction de Hubert Latham.
- Geitler L. 1932.; Cyanophyceae. In: Rabenhorst's Kryptogamenflora von Deutschland, Osterreich und der Schweiz. Kolkwitz R. (Eds.) Leipzig Germany: Akademische Verlagsgesellschaft. 14
- Güroy, B., Şahin, İ., Mantoğlu, S. & Kayalı, S. 2012: Spirulina as a natural carotenoid source on growth, pigmentation and reproductive performance of yellow tail cichlid *Pseudotropheus acei*. Aquac. Int. 20, 869–878.
- Halidou.M.D. 2008: Impact d'une supplémentation en spiruline chez les enfants malnutris sévères dans le cadre de réhabilitation nutritionnelle, essai clinique randomisé en double aveugle. Thèse: Université Libre de Bruxelles, Faculté de Médecine et Ecole de Santé Public. 212p.
- Hayashi, K., Hayashi, T., Morita, N. & Kojima, I. 1993: An extract from *Spirulina platensis* is a selective inhibitor of herpes simplex virus type 1 penetration into HeLa cells. Phytother. Res. 7, 76–80.
- Hayashi, T., Hayashi, K., Maeda, M. & Kojima, I. 1996: Calcium spirulan, an inhibitor of enveloped virus replication, from a blue-green alga *Spirulina platensis*. J. Nat. Prod. 59, 83–87.
- Henrikson R. 1994. Microalga Spirulina, superalimento del futuro. Barcelona: Ediciones S. A. Urano ISBN 84-7953-047-2
- INS-MSP 2018: Evaluation nationale de la situation Nutritionnelle par la méthodologie SMART au Niger 180p.
- INS-MSP 2019: Evaluation nationale de la situation Nutritionnelle par la méthodologie SMART au Niger 104p.
- Jacquet J., 1976: Microflore des préparations de spirulines. Ann. Nutr. Aliment. 26: 589- 601. en Pharmacie, Ouagadougou: 82.
- James, R., Sampath, K., Thangarathinam, R. & Vasudevan, I. (2006): Effect of dietary spirulina level on growth, fertility, coloration and leucocyte count in red swordtail, *Xiphophorus helleri*. 58, 97-10
- Jarisoa T., 2005: Adaptation de la spiruline du sud de Madagascar à la culture en eau de mer. Mise au point de structures de production à l'échelle villageoise. Th doc Es Science en Océanologie Appliquée; Université de Toliara, Institut Halieutique et des Sciences Marines de Toliara: 183.
- Jordan J. P., 2006: Cultivez votre spiruline – Manuel de culture artisanale de la spiruline.
- Jourdan. J.P., 2011: Manuel de culture artisanale de spiruline: <<http://www.spirulinasource.com/microjourdan.html> consulté le 3/02/2018>.
- Jourdan, J-P., 2012. Cultivez votre spiruline pour la production de la spiruline.
- Kalafati1, M, Athanasios Z. Jamurtas, Michalis G. Nikolaidis, Vassilis Paschalis, DIMITRIS Kouretas. (2010). Ergogenic and Antioxidant Effects of Spirulina Supplementation in Humans: Med. Sci. Sports Exerc. 42, 142–151
- König, C., 2007. Les algues: première lignée.
- Khan, Z., Bhadouria, P. & Bisen, P. S. 2005: Nutritional and Therapeutic Potential of Spirulina. Curr. Pharm. Biotechnol. 6, 373–379.
- Lecointre R, 2017: Optimisation de la production de spiruline dans une ferme à Madagascar afin de lutter contre la

- malnutrition infantile, mémoire master, Association Esperanza Joie des Enfants, Paris.70p.
- Lee J.B., Hayashi T., Hayashi K., Sankawa U., Maeda M., Nemoto T. and Nakanishi H., 1998: Further purification and structural analysis of calcium spirulan from *Spirulina platensis*. *Journal of naturalproducts*, Sept: 1101-1104
- Loïc C., Langlade M.J., ET Romain A., 2008: « La Spiruline peut-elle être un atout pour la santé et le développement en Afrique ? ». Institut de recherche pour le développement 43p
- Escarfaïl L.,2016. État de l'art sur la production et les marchés de la Spiruline (*Arthrospira platensis*), Master mention « Sciences de la Mer », Université de Perpignan - Via Domitia 74p.
- Mitchell GV, Grundel E, Jenkins M, Blakely SR. 1990. Effect of graded dietary levels of *Spirulina maxima* on vitamins A and E in male rats. *J.Nutr* ; 120 (10): 1235-40.
- Nakagawa, H. & Gabriel, G.-D. 1995: Usefulness of *Spirulina* sp. meal as feed additive for giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquac. Sci.* 43, 521–526.
- Olguin, E. 1986: Appropriate biotechnological systems in the arid environment. *Appl. Microbiol.* HW Doelle CG Heden.
- OMS (2018): malnutrition dans le monde en [ligne]. Consulté le 22 /11/2018. Disponible sur: <http://www.who.int/fr/news-room/factsheets/detail/malnutrition>.
- OMS .2007: Centre des médias, Une méthode originale pour combattre la malnutrition.
- OMS.2018: Centre des médias, la faim dans le monde progresse de nouveau, mue par les conflits et le changement climatique,
- ONU (2018): Rapport faim dans le monde en [ligne]. Consulté le 22 /11/2018. Disponible sur: <http://www.who.int/fr/news-room/detail/11-09-2018-global-hunger-continues-to-rise---new-un-report-says>.
- Person J.2010: Algues, filières du futur.182p.
- Pierlovisi, C 2016: l'homme et la spiruline : un avenir commun ? Composition chimique, intérêts alimentaires et activités biologiques.
- Planas Gisbert, M. 2013: Production, characterization and evaluation of potential cosmetic uses of *Arthrospira Platensis* exopolysaccharides.
- Quillet M., 1975: Recherches sur les substances glucidiques élaborées par les Spirulines. *Ann. Nutr. Alim.* 29: 553-561
- Razafindrajaona J. M., Rakotozandriny J. N., Rakotozandrindrainy R., José N.R. et Ramampihrika K. D., 2006: Etude de la valeur nutritionnelle de la spiruline de Madagascar (*Spirulina platensis* variété Toliara), *Terre Malgache* 26: p 162-188.
- Roger P.A, 2006.Les cyanobactéries: définition.
- Sachdeva R, Kaur R, Sangha JK (2004): Effect of supplementation of *Spirulina* on the haematological profile and intellectual status of school girls (7-9 years). *Journal of Human Ecology* 15: 105-108.
- Shekharam K.M., Venkataraman L.V., Salimath P.V., 1987: Carbohydrate Composition and Characterization of Two Unusual Sugars from the Blue Green Alga *Spirulina-Platensis*.*Phytochemistry* 26: 2267-2270
- Sorto M.,2003. Utilisation et consommation de la spiruline au Tchad, Institut Tchadien de Recherche Agronomique pour le Développement (ITRAD), 2ème Atelier international / 2nd International Workshop Voies alimentaires d'amélioration des situations nutritionnelles Food-based approaches for a healthy nutrition Ouagadougou, 23-28 / 11 / 2003 6p
- Simpore J, Zongo F, Kabore F, Dansou D, Bere A, Nikiema JB, Pignatelli S, Biondi D, Ruberto G, Musumeci S (2005): Nutrition Rehabilitation of HIV-Infected and HIV-Negative Undernourished Children Utilizing *Spirulina*. *Annals of Nutrition and Metabolism* 49: 373-380.
- Simporé J., Kaboré F., Zongo F., Dansou D., Bere A., Pignatelli S., Biondi DM., Ruberto G. and Musumeci S., 2006: "Nutrition rehabilitation of undernourished children utilizing *Spirulina* and Misola," *Nutrition Journal*. 5: 3.
- Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E. & Isambert, A. 2006: Commercial applications of microalgae. *J. Biosci. Bioeng.* 101, 87–96.
- Stanier RY., Van NielCB., 1962: The concept of a bacterium. *ArchMikrobiol*; 42:17-35
- UNICEF. *La malnutrition dans le monde: les plus vulnérables dans le viseur*; en ligne: [www.unicef.fr/article/la-malnutrition/ dans/le monde](http://www.unicef.fr/article/la-malnutrition/dans-le-monde) [www.who.int/mediacentre/news/releases/2017/world-hunger-report/fr/consulte le 3/02/2018](http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2017/world-hunger-report/fr/consulte-le-3/02/2018).
- Yamani E, Kaba-Mebri J, Mouala C, Gresenguet G, Rey JL .2009. Intérêt de la Spiruline chez les personnes vivant avec le VIH à Bangui (RCA). *Médecine Tropicale* 69: 66-70.
- Zafilaza A., Andriasimahavandy A., Ramamonjisoa D. J., Andrianarivelo M. .2015: An Evaluation Study of the Cultivation of *Spirulina* in the
- Zarrouk C ,1966. Contribution à l'étude d'une cyanophycée: influence de divers facteurs physiques et chimiques sur la croissance et la photosynthèse de *Spirulina maxima* (Setch et Gardner) Geitler Thèse Doctorat Faculté des Sciences. Université de Paris 96p.
