

Utilisations de la Spiruline autrement que pour traiter la malnutrition

Marie José Langlade, Romain Alliod, Loïc Charpy

URCYROCO, IRD, COM, rue de la Batterie des Lions, 13007, Marseille

marie-jose.langlade@univmed.fr

Résumé

La très grande richesse de la composition chimique de la Spiruline lui confère un large potentiel d'utilisations. Outre dans le domaine de la malnutrition, elle est utilisée dans des domaines variés. Elle est vendue dans les parapharmacies et les magasins de produits biologiques pour : équilibrer une alimentation par ses apports en micro-nutriments ; réguler les surcharges pondérales par sa richesse en protéines et phénylalanine ; améliorer les capacités sportives par ses teneurs en fer, vitamine B12 et β -carotène ; lutter contre l'asthénie par son apport en oligoéléments et vitamines ; freiner le vieillissement cellulaire par les propriétés antioxydantes du β -carotène, de la phycocyanine et de la vitamine E ; diminuer le cholestérol grâce aux acides gras polyinsaturés et à la vitamine E. Des études ont été faites sur son action anti-inflammatoire, dans la prévention de l'athérosclérose, sur la diminution du diabète. Elle est utilisée en aquariophilie et en aquaculture pour favoriser la croissance des poissons et des crevettes, renforcer les défenses immunitaires des poissons d'élevage, améliorer la fertilité et stimuler la coloration des poissons d'ornement tels le *Xiphophorus helleri*. Dans l'industrie agroalimentaire, elle est vendue pour la nutrition des animaux (chats, chiens, chevaux, vaches et taureaux) mais aussi dans l'alimentation humaine comme colorant naturel (chewing gums, sorbets, sucreries, produits laitiers, boissons). La phycocyanine est un des rares pigments naturels de couleur bleue. En cosmétologie, elle est utilisée dans les masques cryogéniques et crèmes anti-âge, par son action sur le renouvellement cellulaire. Dans le cadre du programme MELISSA, l'agence spatiale européenne s'est intéressée à la Spiruline qu'elle intégrerait dans un écosystème artificiel fermé dans le compartiment photoautotrophe, d'une part pour équilibrer la ration alimentaire, d'autre part pour régénérer l'atmosphère par photosynthèse.

La Spiruline répond à la législation sur les compléments alimentaires. Elle est vendue localement en Afrique à un prix commercial allant généralement de 20€ à 28€ le kg (rarement à plus de 40€ le kg), très variable selon le prix de revient, mais relativement bon marché. Dans les pays développés, les prix sont beaucoup plus élevés. Sous forme de paillettes, la Spiruline est vendue de 150€ le kg pour de faibles quantités à 44€ le kg pour de grandes quantités ; sous forme de comprimés, 200€ le kg ; sous forme de gélules, 500€ le kg. Les prix de gros sont pratiqués sur la poudre vendue en grande quantité (minimum 100kg). Pour les productions industrielles ils oscillent aujourd'hui de 16€ à 19€ le kg en qualité « humaine » et de 7,65€ à 12,75€ le kg en qualité « animale ». Pour la Spiruline issue des productions artisanales en France, les prix pratiqués sont d'environ 75€ le kg (prix de gros) et de 130€ le kg (prix au détail). La Spiruline est aussi vendue sous forme de composant comme la phycocyanine. Le marché de la Spiruline est largement ouvert et se

développe. Le potentiel de la Spiruline en termes de santé continue à faire l'objet de nombreuses études. La production de Spiruline a un bel avenir.

Mots clé : Spiruline, santé, marché

Abstract.

The vast richness of the chemical composition of Spirulina gives it a wide potential uses. In addition of the area of malnutrition, it is used in various fields. It is sold in stores of biological products and drug stores for balancing food intake by its micro-nutrients; regulate obesity by its richness in protein and phenylalanine; improve the sport performance thanks to iron, vitamin B12 and beta-carotene; decrease fatigue thanks to vitamins and trace elements; reduce the aging of cells by the antioxidant properties of beta-carotene, the phycocyanine and vitamin E; reduce cholesterol level thanks to polyunsaturated fatty acids and vitamin E. Research has been conducted on its anti-inflammatory action, in the prevention of arthroscleroses, on the reduction of diabetes. It is used in aquarium and aquaculture to promote the growth of fish and shrimp, strengthen the immune system of farmed fish, improve fertility and boost the colouring of ornamental fish such as *Xiphophorus helleri*. In the food industry, it is sold for feeding animals (cats, dogs, horses, cows and bulls), but also for human food as a natural colouring (chewing gum, sorbets, sugar, dairy products, beverages). The phycocyanin is a rare blue natural pigment. In cosmetology, it is used in cryogenic masks and anti-aging creams by its effect on cell renewal. Under the programme MELISSA, the European Space Agency was interested in the Spirulina integration in a closed photoautotroph ecosystem, on the one hand to balance food intake, on the other hand to regenerate the atmosphere by photosynthesis.

The Spirulina responds to the legislation on food supplements. It is sold locally in Africa at commercial prices generally ranging from € 20 to € 28 per kg (rarely more than € 40 kg), highly variable depending on the production cost, but relatively cheap. In developed countries, the prices are much higher. As flakes it is sold € 150 per kg for small amounts to € 44 per kg for large quantities, as tablets it is sold € 200 kg and as capsules it is sold € 500 per kg. Wholesale prices are performed on the powder sold in bulk (minimum 100kg). For industrial productions they vary from € 16 to € 19 per kg as "human quality" and € 7.65 to € 12.75 per kg as "animal quality". For the Spirulina production in France, the prices are about 75 € per kg (wholesale prices) and € 130 per kg (detail price). The Spirulina is also sold as a component as phycocyanin. The market for Spirulina is wide opened and it is developing. The potential of Spirulina in terms of health continues to be the subject of numerous studies. The production of Spirulina has an exciting future.

Keywords : Spirulina, health, trade

Introduction

La Spiruline est cultivée en Afrique depuis une vingtaine d'années. L'objectif des fermes est la lutte contre la malnutrition. La plupart des fermes ont vocation à être autonomes en finançant la distribution humanitaire par une vente commerciale. Les produits naturels utilisés comme compléments alimentaires intéressent de plus en plus les populations des pays développés.

Des recherches sont effectuées principalement en Asie et sur le continent américain, sur les propriétés des molécules présentes dans la Spiruline. Ces recherches sont prometteuses, même s'il n'y a pas de preuve d'efficacité chez l'homme. Un ouvrage de synthèse vient de paraître (ME Gershin & A Belay, 2007) faisant état des multiples actions que la Spiruline pourrait avoir dans le traitement de maladies virales et infectieuses.

Les souches de Spiruline étudiées ne possèdent pas les gènes qui assurent la synthèse des cyanotoxines connues jusqu'à présent. D'autre part, le pH élevé du milieu de culture empêche la prolifération d'autres espèces de cyanobactéries et de bactéries pathogènes. La Spiruline accumule des métaux lourds mais en quantité en dessous des seuils de toxicité. A notre connaissance, aucun cas de toxicité n'a été rapporté concernant l'utilisation de Spiruline aux doses classiques (< 10g/jour). Il serait cependant souhaitable de mettre à jour, à l'aide des connaissances et techniques actuelles, des études de toxicité déjà anciennes sur la paraffine et d'approfondir celles sur la BMAA (Beta-N-méthylamino-L-alanine), potentiellement présente dans la Spiruline (Cox 2005, Cruz-Aguado et al 2006).

L'objectif de cette communication est de faire état de l'utilisation de la Spiruline dans une large gamme de domaines, autre que celui de la malnutrition, dans l'objectif d'apporter des éléments de réponse à la question : « Faut-il promouvoir la culture de Spiruline dans les pays en voie de développement pour un usage autre que la malnutrition ? »

Spiruline à usage humain

Pour la santé

Dans les pays développés, et depuis peu dans quelques régions d'Afrique, la Spiruline est consommée comme complément alimentaire « bénéfique à la santé ». Longtemps recommandée comme complément en cas de carences en acides gras essentiels (Hudson & Karis 1974), elle répond actuellement en Europe à la législation sur les compléments alimentaires et sa commercialisation pour la santé est indépendante de l'obtention de preuves d'efficacité, non réclamées pour les compléments alimentaires.

Elle est vendue dans les parapharmacies, les magasins de produits biologiques, rayons spécialisés des grands magasins, sur Internet. Diverses utilisations sont proposées par les négociants, avec des arguments basés sur la composition de cet organisme et les études sur les activités de ses composants. Ces études sont pour la plupart réalisées sur des animaux ou des tissus de culture. Nous présentons ci-dessous certaines utilisations, mais nous ne pouvons pas juger de leur efficacité. D'une part la Spiruline n'est pas un médicament, donc pas soumise à l'obligation de test d'efficacité : le dosage recommandé et la qualité du produit vendu ne sont pas nécessairement en adéquation avec les effets affichés. D'autre part l'expérimentation d'une molécule au laboratoire ou sur des animaux ne permet pas de prévoir complètement ses effets chez l'homme.

Elle est vendue :

- ✓ Pour une alimentation équilibrée : par ses apports en micronutriments.
- ✓ Dans les régimes amaigrissants : pour ses taux importants en protéines et en phénylalanine, qui réguleraient l'appétit.
- ✓ Pour l'amélioration des capacités sportives : par ses teneurs en fer, en vitamine B12, et en β -carotène qui faciliteraient la récupération
- ✓ Pour lutter contre l'asthénie par son apport en oligoéléments et vitamines
- ✓ Pour ses effets sur la sénescence : par les propriétés antioxydantes du β -carotène, de la phycocyanine et de la vitamine E, elle serait un frein au vieillissement des cellules
- ✓ Pour son activité antioxydante¹ : Fedkovic et al. 1993 ; Jaime et al. 2005 ; Pinero Estrada et al. 2001 ; Chopra & Bishnoi (2007)
- ✓ Pour son activité anticoagulante² : Le *Spirulane Calcique (Sp-Ca)* agirait en activant le cofacteur II de l'héparine, molécule qui inhibe la thrombine, donc la coagulation (Hayakawa et al. 1996, 2000, 2003). Yamamoto et al. (2003) montrent les effets

¹ L'oxydation fait partie d'une réaction d'oxydo-réduction qui transfère des électrons d'une substance vers un agent oxydant. Cette réaction d'oxydation est nécessaire à la vie mais peut produire parfois des radicaux libres qui entraînent des réactions en chaîne destructrices pour les cellules. On parle alors de stress oxydatif. Les antioxydants sont capables de stopper ces réactions en chaîne en s'oxydant avec les radicaux libres et annihilant ainsi leur action.

² Un anticoagulant est une molécule destinée à empêcher ou à retarder la coagulation du sang. Ils préviennent les thromboses (caillots sanguins dans la circulation générale) et les embolies (caillot sanguin dans la circulation artérielle pulmonaire). Les plus connus sont l'héparine et ses dérivés et les antivitamines K

anticoagulants du *Spirulane Sodique* (*Sp-Na*), autre polysaccharide sulfaté spécifique à la spiruline.

- ✓ Pour renforcer le système immunitaire : il est maintenant bien établi que les apports en éléments comme les lipides essentiels (Hwang 1989, Pascaud et al. 1993), le sélénium (Rayman 2000), le zinc, influent sur le système immunitaire tant humoral que cellulaire. Des carences en zinc sont fréquemment associées à des diarrhées, à l'anorexie, à des problèmes cutanés, ou à l'infection au VIH (Melchior&Goudet 1997). Plusieurs expériences positives ont été réalisées sur les animaux (Quershi et al 1996, Pascaud et al 1993, Borchers et al. 2007). La Spiruline régulerait favorablement le système immunitaire en augmentant l'activation des macrophages, l'activité des cellules T et l'activité des cellules naturellement destructrices (NK). Ce processus permettrait la libération des gamma-interféron (IFN - γ), ce qui peut éventuellement rendre les virus inactifs. Ces actions se feraient par le biais des polysaccharides.
- ✓ Pour son activité antivirale : le groupe des cyanobactéries produit une variété de métabolites secondaires dans leur milieu de culture (Harrigan&Goetz 2002). Beaucoup de ces produits naturels ont des activités antibiotique, algicide, antiviral, fongicide (Harrigan et al. 1999, Jaki et al. 1999, Mundt et al. 2001). L'activité antivirale de la Spiruline interviendrait selon deux mécanismes 1) inhibition de la pénétration des virus (Hayashi et al 1996). 2) inhibition de la phase de réplication des virus. Le composant lipide SQDG (sulfoquinovosyldiacylglycerol) de *Spirulina Platensis* riche en sulfolipides a démontré par expérience in vitro sa capacité à inhiber la RT du hiv-1 et du hiv-2 alors que ce dernier est naturellement résistant à cette classe de molécules (Kiet Pham Quoc & Durand Chastel 2006).
- ✓ Pour son activité antitumorale : la phycocyanine de la Spiruline induirait un mécanisme d'apoptose (autodestruction) des cellules cancéreuses (Li et al. 2006). D'après l'étude de Fedkovic et al. (1993) les antioxydants contenus dans la Spiruline (β -carotène) permettraient d'inhiber à la fois l'effet mutagène et l'effet régulateur induit par les radicaux libres, freinant ainsi le développement du cancer. Zhang et al. (2001) considèrent que la Spiruline pourrait améliorer la restauration de l'hématopoïèse³ chez l'homme et être ainsi utilisée comme traitement dans les thérapies anticancéreuses pour en diminuer les effets secondaires. D'autre part les polysaccharides inhiberaient le développement des cellules tumorales et des cellules de HeLa (Li JH 2006)

³ Fonctions de production du sang, de transport de l'oxygène et des métabolites, et de la coagulation.

- ✓ Pour son activité pour diminuer le cholestérol : les acides gras polyinsaturés (AGPI) 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 (1996) et Samuels et al. (2002). Ces expériences sur l'homme sont cependant réalisées avec de faibles effectifs.
- ✓ Pour ses autres actions sur la santé : une diminution du diabète chez l'homme (Parikh et al. 2001) ; une activité anti-inflammatoire sur les articulations (études sur la souris de Ramirez et al. 2002) ; une hépato protection ; un effet possible de la molécule Spirulane-sodique dans la prévention de l'athérosclérose [L'article de Yamamoto et al. (2006) sur cette dernière action révèle une activation par le Na-Sp du système fibrinolytique endothélial mais ne conclut pas sur le rôle du Na-Sp dans la prévention de cette maladie].

En cosmétique

Elle est utilisée dans les masques cryogéniques et crèmes anti-âge, par son action sur le renouvellement cellulaire et la tonicité des tissus (Spolaore et al. 2006). Elle est aussi utilisée en synergie avec d'autres algues, comme agent cicatrisant et antiseptique.

Dans l'agroalimentaire

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

Dans l'aérospatiale

L'agence spatiale européenne (ESA) s'est intéressée à la Spiruline dans le cadre de son programme MELISSA (Micro-Ecological Life Support System Alternative). Ce projet, prévoit d'utiliser dans l'espace un écosystème artificiel fermé⁴ composé de plantes supérieures et de micro-organismes, en vue des voyages à longue distance (Terre - Mars par exemple).

⁴ Dans cet écosystème, le cycle de la matière a été réduit au minimum, soit à cinq compartiments : les compartiments consommateur ; liquéfacteur ; photohétérotrophe ; nitrificateur et photoautotrophe. Les plantes supérieures et la Spiruline sont utilisées dans le compartiment photoautotrophe, d'une part pour équilibrer la ration alimentaire, d'autre part pour régénérer l'atmosphère par photosynthèse.

Commencé en 1989, ce programme implique à présent une dizaine d'équipes dans toute l'Europe et au Canada.

Spiruline à usage animal

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

Pour favoriser la croissance et la fertilité

Des études sur les poissons d'aquarium tels le *Xiphophorus helleri* (James et al. 2006) et la crevette *Fenneropenaeus chinensis* (Kim et al. 2006) ont montré les effets bénéfiques de *Spirulina platensis* en ce domaine. L'influence bénéfique sur la croissance, de l'incorporation de Spiruline dans la nourriture des poulets de chair, a été présentée par Razafindrajaona et al (comm. coll. Tuléar 2008).

Pour renforcer les renforcer défenses immunitaires

En aquaculture, les poissons d'élevage, beaucoup plus fragiles que les poissons sauvages, sont souvent soumis à des infections virales et/ou bactériennes qui peuvent être catastrophiques en bassin. Watanuki et al. (2006) ont mis en évidence l'effet immunostimulant de *Spirulina platensis* chez la carpe *Cyprinus carpio*.

Des vétérinaires préconisent l'administration de Spiruline à des animaux domestiques affaiblis.

Pour augmenter la pigmentation

La Spiruline est utilisée pour sa richesse en caroténoïdes :

- En aquariophilie pour accentuer la coloration des poissons d'ornement tels le *Xiphophorus helleri* ou les carpes Koi (James et al. 2006)
- En aquaculture pour améliorer la pigmentation des crevettes et des poissons (Regunathan & Wesley 2006)
- En agroalimentaire pour accentuer la couleur des oeufs et de la chair de poulet et les rendre plus attrayants au consommateur (Ciferri 1983, Henrikson 1994, Toyomizu et al. 2001).

Pour augmenter les performances des animaux

Elle est vendue pour la nutrition des taureaux reproducteurs, des chevaux de course

Les extraits de Spiruline

La phycocyanine

C'est un des rares colorants alimentaires naturels de couleur bleue. Son usage est autorisé en Europe. Un extrait liquide de spiruline fraîche titrée en phycocyanine a été mis au point par la société Alpha Biotech (Jaouen P et al 1999)

La phycocyanine extraite de la Spiruline est vendue sous le nom de « linablue » ou « sérum bleu » dans les industries alimentaires et cosmétiques à titre de colorant alimentaire, marqueur fluorescent, enzyme.

Les extraits combinés

En combinaison avec des extraits d'algues vertes, les extraits de Spiruline sont commercialisés pour leurs vertus cicatrisantes, antiseptiques et régénératrices cellulaires. La commercialisation porte soit sur l'extrait brut actif stabilisé, soit sur le produit fini (gels, shampoings, laits). Les marchés concernés sont ceux 1) des produits cosmétiques de soin 2) de la parapharmacie pour le traitement de problèmes dermatologiques 3) des soins vétérinaires.

Les résidus d'extraction

Le résidu d'extraction de la phycocyanine est intéressant. Après extraction réalisée en phase aqueuse, le reliquat obtenu est une pâte humide et colorée qui contient encore un pourcentage élevé de protéines, des pigments (chlorophylle et caroténoïdes) ainsi que la fraction lipidique, y compris les acides gras essentiels et l'acide gamma-linolénique. Ce reliquat conserve donc une valeur notable tant au point de vue nutritif que thérapeutique.

Le marché de la Spiruline

Il est très difficile d'obtenir des renseignements permettant de connaître la production mondiale actuelle et les coûts de la Spiruline. Les chiffres donnés dans ce paragraphe ne le sont qu'à titre indicatif. Ils viennent pour la plupart d'une étude réalisée en 2000 par le bureau d'étude Tractebel Consult en association avec le Centre Universitaire de Biotechnologie Algale (CUBIA), Belgique.

L'offre

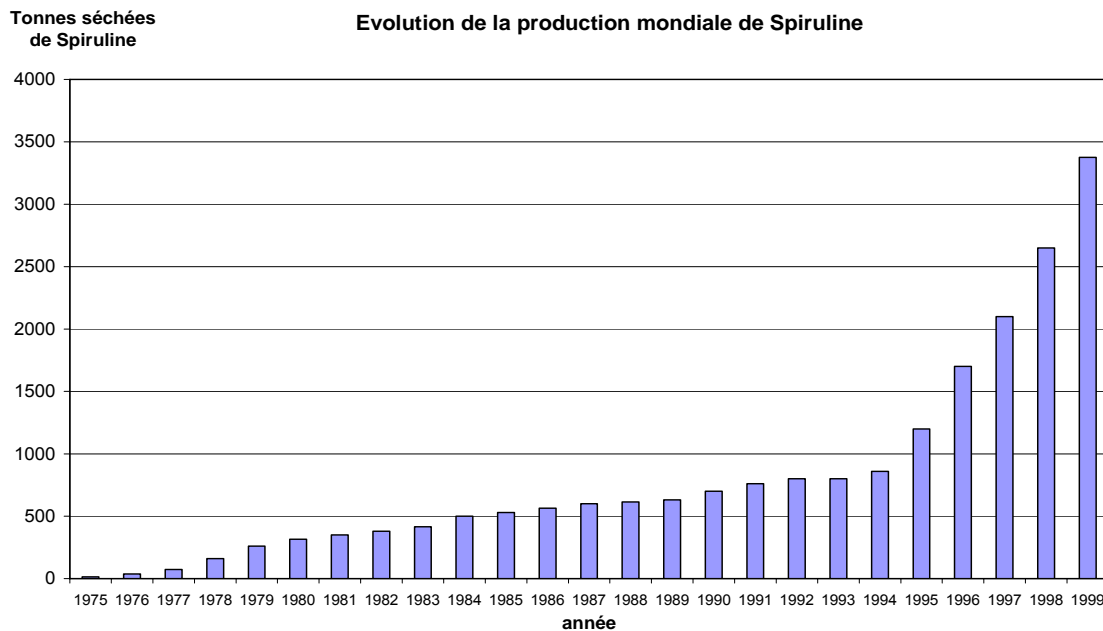


Figure 1 : Evolution de la production mondiale de Spiruline d'après l'étude réalisée en 2000 par Tractebel Consult en association avec le Centre Universitaire de Biotechnologie Algale (CUBIA).

La production mondiale a régulièrement augmenté surtout depuis 1995. De 1400T en 1995, 3500T en 2000, elle est supérieure à 4000T aujourd'hui.

Formes de distribution

En poudre à l'état « brut »

La poudre sèche de Spiruline est vendue sous forme de gélules ou de comprimés dans des magasins spécialisés en diététique, en parapharmacie, dans certains clubs sportifs (body building) et dans les rayons spécialisés en aliments de régime des grandes surfaces.

En produit fini

Dans l'agroalimentaire et les cosmétiques

Les coûts

Dans les pays développés, la Spiruline issue de la production industrielle est vendue au prix de gros sous forme de poudre de 16€ à 19€ le kg en qualité humaine et de 8€ à 13€ le kg en qualité animale. Elle apparaît sur le marché sous forme de comprimés à 200€ le kg et sous forme de gélules à 500€ le kg. La Spiruline issue des productions artisanales en France, est vendue de 75€ le kg (prix de gros) à 130€ le kg (prix au détail). En Afrique, les prix de vente

sont bien inférieurs : généralement de 25€ à 40€ le kg (rarement à plus de 40€ le kg), très variable selon le prix de revient, mais relativement bon marché.

La demande de Spiruline

Le Tableau donne une estimation de la demande en Spiruline par type d'utilisation en 2000.

Tableau : Estimation de la demande de Spiruline en 2000 par secteur d'après l'étude réalisée en 2000 par Tractebel Consult en association avec le Centre Universitaire de Biotechnologie Algale (CUBIA).

Secteur	En tonnes de Spiruline sèche	Observations
Usage humain (alimentation, diététique, parapharmacie)	2500 (70%)	Dont 700 USA, 800 Japon, 500 Asie, 500 Europe
Colorants alimentaires naturels (phycocyanine, etc.)	500 (14%)	
Alimentation animale	300 (8%)	
Composants pour cosmétiques et produits cicatrisants	300 (8%)	(en forte croissance)
TOTAL	3600 (100%)	

Les filières de vente

Il n'y a pas à proprement parler de filières de vente. Les grosses entreprises ont leur propre département de distribution. En France, les producteurs du sud se sont associés en groupement PASS (Producteurs Associés de Spiruline du Sud) pour vendre une Spiruline artisanale séchée à basse température, de qualité « FILAO »

La vente se fait dans les industries agroalimentaires, dans les boutiques de produits naturels, en magasins spécialisés en diététique, cosmétique, compléments alimentaires pour animaux, sur Internet

Un débouché pour les fermes africaines : l'exportation de Spiruline ?

Un marché local de la Spiruline existe en Afrique. Cependant les revenus des Africains sont souvent trop faibles face au coût encore élevé de la Spiruline, pour que le marché local suffise à écouler la production, encore moins à financer la part humanitaire. L'exportation d'une partie de la production à un coût nettement plus élevé que celui du marché local

apparaît alors comme une solution intéressante pour les pays d'Afrique, dont les latitudes sont favorables à la culture de Spiruline.

Pour que l'exportation soit jouable il serait nécessaire : 1) de diminuer le prix de revient de la Spiruline en diminuant l'import d'intrants, en augmentant la production et la productivité 2) d'améliorer la qualité du produit 3) de prendre en compte les critères de toxicité du produit emballé (présence de bactéries et métaux lourds). Les exploitants africains ont été sensibilisés sur ces trois paramètres.

Une simulation a pu montrer que le prix de revient pourrait dans l'idéal baisser à 6€50 et la productivité augmenter à 10 g m⁻² jour⁻¹ (Jourdan JP, comm. colloque Tulear, 2008).

La qualité du produit Spiruline est très variable selon la souche et le procédé de culture.

- **Les protéines** : La teneur en protéines peut décroître de 10 à 15% selon le moment de la récolte, celle en méthionine (AA soufré) de 30% selon le mode de séchage. Les conditions pour une teneur optimum sont une récolte au début de la photopériode et un séchage par pulvérisation au détriment des tambours chauffants (Falquet & Hurni 2006).
- **Les vitamines** : La chaleur et la granulométrie interviennent dans la conservation des teneurs en vitamines (Bujard et al 1970 ; Sedrashi et al. 1991). Ce dernier auteur déconseille le séchage par pulvérisation pour une meilleure conservation de la provitamine A.

La biodisponibilité de la vitamine B12 semble hautement dépendante de la souche de Spiruline utilisée et des procédés de culture (Falquet & Hurni 2006).

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

Cette variabilité de la qualité a stimulé les recherches pour le développement d'une culture en bassins maîtrisée, avec l'amélioration des procédés d'agitation, de séchage, de conditionnement, au bénéfice de la qualité de la Spiruline.

Des analyses microbiologiques sont effectuées dans les pays d'Afrique de l'Ouest où la production est encore jeune et à Madagascar. La régularité de ces analyses et le contrôle des métaux lourds sont à encourager dans une production qui tendrait à se développer.

Conclusion

- La Spiruline a un marché autre que la malnutrition basé sur son potentiel (non démontré mais en cours d'études) pour la santé des humains et des animaux ainsi que pour l'extraction de phycocyanine.

- La production industrielle mondiale augmente montrant qu'il y a une demande croissante.
- Les pays en voie de développement ont un climat favorable à cette culture et pourraient exporter une part de leur production s'ils arrivent à diminuer leur prix de revient, augmenter la qualité et promouvoir leur produit emballé sous un label de qualité régional, national voire panafricain.

Bibliographie

- Blanchot J (2008) Comm. Colloque international « Spiruline et Développement », 28-30 avril 2008, Tulear, Madagascar
- Bujard-E, U. Braco-U, Mauron-J, Mottu-F, Nabholz-A, Wuhrmann-JJ & Clément-G (1970). Composition and Nutritive Value of Blue Green Algae (Spirulina) and their Possible Use in Food Formulations, 3rd international Congress of Food Science and Technology, Washington 1970.
- Ciferri O (1983) Spirulina, the edible microorganism. Microbiological Reviews 47: 551-578
- Chopra K, Bishnoi M (2007) Antioxydant Profile of Spirulina : A Blue-Green Microalga in Spirulina In Gershwin & Belay (ed.) Spirulina in Human Nutrition and Health : 101-118
- Cox PA, Banack SA, Murch SJ, Rasmussen U, Tien G, Bidigare RR, Metcalf JS, Morrison LF, Codd GA and Bergman B. (2005) Diverse taxa of cyanobacteria produce {beta}-N-methylamino-L-alanine, a neurotoxic amino-acid PNAS 102:5074-5078
- Cruz-Aguado R, Winkler D, Shaw CA (2006) Lack of behavioral and neuropathological effects of dietary beta-methylamino-L-alanine (BMAA) in mice. Pharmacol Biochem Behav. 84(2):294-9
- Durand-Chastel (1999) Production of Spirulina biomass rich in gamma-linolenic acid and sulfolipids Marine Cyanobacteria NS19 (dissem.), pp. 541-546 in Bull. Inst. océanogr. (Monaco)
- Falquet J, Hurni J-P (2006) Spiruline, Aspects Nutritionnels. Antenna Technologies: 22 p. (disponible sur le site <http://www.antenna.ch/malnutrition/aspects-nutritionnels.html>)
- Fedkovic Y, Astre C, Pinguet F, Gerber M, Ychou M, Pujol H (1993) Spirulina and cancer. Bull. Inst. Oceano., Monaco NS 12: 117-120
- Gershwin ME, Belay A (2007) Spirulina in Human Nutrition and Health, CRC Press edts: 328pp
- Harrigan GG, Goetz G (2002) Symbiotic and dietary marine microalgae as a source of bioactive molecules-experience from natural products research. Journal of Applied Phycology 14: 103-108
- Harrigan GG, Luesch H, Yoshida WY, Moore RE, Nagle DG, Paul VJ (1999) Symplostatins 2: a dolastatin 13 analogue from the marine cyanobacterium *Symploca hydroides*. J. Nat. Prod. 62: 655-658
- Hayakawa Y, Hayashi T, Hayashi K, Hayashi T, Ozawa T, Niiya K, Sakuragawa N (1996) Heparin cofactor II-dependent antithrombin activity of calcium spirulan. Blood Coagulation and Fibrinolysis 7: 554-560

- Hayakawa Y, Hayashi T, Lee J-B, Ozawa T, Sakuragawa N (2000) Activation of Heparin Cofactor II by Calcium Spirulan. *J. Biol. Chem.* 275: 11379-11382
- Hayakawa Y, Hirashima Y, Yamamoto H, Kurimoto M, Hayashi T, Lee J-B, Endo S (2003) Mechanism of activation of heparin cofactor II by calcium spirulan. *Arch. Biochem. Biophys.* 416(1): 47-52
- Hayashi K, Hayashi T, Kojima I (1996a) A natural sulfated polysaccharide, calcium spirulan, isolated from *Spirulina platensis*: In vitro and ex vivo evaluation of anti-herpes simplex virus and anti-human immunodeficiency virus activities. *AIDS Research and Human Retroviruses* 12: 1463-1471.
- Hayashi T, Hayashi K, Maeda M, Kojima I (1996b) Calcium spirulan, an inhibitor of enveloped virus replication, from a blue-green alga *Spirulina platensis*. *Journal of Natural Products* 59: 83-87
- Henrikson R (1994) *Microalga Spirulina, superalimento del futuro*. Barcelona:Ediciones S. A. Urano ISBN 84-7953-047-2
- Hudson BJB, Karis IG (1974) The lipids of the alga *Spirulina*. *J. Sci. Food Agric* 25: 759-763
- Hwang D (1989) Essential fatty acids and immune response. *FASEB J.* 3: 2052-2061
- Iteman I (2004) Comm. In: Colloque international: CSSD "Cyanobactéries pour la Santé SeDiDE (ed.)
- Jaime L, Mendiola JA, Herrero M, Soler Rivas C, Santoyo S, Senorans FJ, Cifuentes A, Ibanez E (2005) Separation and characterization of antioxidants from *Spirulina platensis* microalga combining pressurized liquid extraction, TLC, and HPLC-DAD. *Journal Of Separation Science* 28: 2111-2119
- Jaki B, Orjala J, Sticher O (1999) A novel extracellular diterpenoid with antibacterial activity from the cyanobacterium *Nostoc commune*. *J. Nat. Prod.* 62: 502-503
- James R, Sampath K, Thangarathinam R, Vasudevan I (2006) Effect of dietary spirulina level on growth, fertility, coloration and leucocyte count in red swordtail, *Xiphophorus helleri*. *Israeli Journal Of Aquaculture Bamidgeh* 58: 97-104
- Jaouen P, Lépine B, Rossignol N (1999) Clarification and concentration with membrane technology of a phycocyanin solution extracted from *Spirulina platensis*. *Biotechnology Techniques* 13: 877-881
- Jourdan JP (2008) Comm. Colloque international « Spiruline et Développement », 28-30 avril 2008, Tulear, Madagascar
- Kiet Pham Quoc, Dubacq J.-P, Demandre C et Mazliak P (1994) Comparative effects of exogenous fatty acid supplementations on the lipids from the cyanobacterium *Spirulina platensis* *Plant physiology and biochemistry*, vol. 32, n°4, pp. 501-509
- Kiet Pham Quoc, Durand-Chastel H (2006) *Spirulina* rich in AIDS-Antiviral Sulfolipids. In Charpy et al. (ed.) *International Symposium on Cyanobacteria for Health, Science and Development*: 111-117.
- Kim CJ, Yoon SK, Kim HI, Park YH, Oh HM (2006) Effect of *Spirulina platensis* and probiotics as feed additives on growth of shrimp *Fenneropenaeus chinensis*. *Journal of Microbiology and Biotechnology* 16: 1248-1254

- Li JH (2006) Recherche sur les applications et fonctions cliniques de la Spiruline en Chine. Comm. In: Colloque international: CSSD "Cyanobactéries pour la Santé SeDIde (ed.)
- Melchior JC, Goudet O (1997) Nutrition et infection par le VIH. Masson, Paris
- Mundt S, Kreitlow S, Nowotny A, Effmert U (2001) Biochemical and pharmacological investigations of selected cyanobacteria. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 203: 327-334
- Parikh P, Mani U, Iyer U (2001) Role of Spirulina in the control of glycemia and lipidemia in type 2 diabetes mellitus. *Journal of Medicinal Food* 4: 193-199
- Pascaud M, Doumenge F, Durand-Chastel H, Toulemont A (1993) The essential polyunsaturated fatty acids of Spirulina and our immune response. *Bull. Inst. océanogr. NS12*: 49-57
- Pinero Estrada JE, Bermejo Bescos P, Villar del Fresno AM (2001) Antioxidant activity of different fractions of Spirulina platensis protean extract. *Farmaco* 56: 497-500
- Qureshi MA, Garlich JD, Kidd MT (1996) Dietary Spirulina platensis enhances humoral and cell-mediated immune functions in chickens. *Immunopharmacology and Immunotoxicology* 18: 465-476.
- Ramamoorthy A, Premakumari S (1996) Effect of supplementation of Spirulina on hypercholesterolemic patients. *Journal of Food Science and Technology* 33: 124-128
- Rayman MP (2000) Review: The importance of selenium to human health. *Lancet* 356: 233-241
- Remirez D, Gonzalez R, Merino N, Rodriguez S, Ancheta O (2002) Inhibitory effects of Spirulina in zymosan-induced arthritis in mice. *Mediators of Inflammation* 11: 75-79
- Samuels R, Mani UV, Iyer UM, Nayak US (2002) Hypocholesterolemic effect of Spirulina in patients
- Seshadri CV, Umesh BV et Manoharan R (1991) Beta-carotene studies in Spirulina Society of Applied Algology. *International conference No5, vol. 38, no 2-3, pp. 111-113*
- Spolaore P, Joannis-Cassan C, Duran E, Isambert A (2006) Commercial Applications of Microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 101: 87-96
- Toyomizu M, Sato K, Taroda H, Kato T, Akiba Y (2001) Effects of dietary Spirulina on meat colour in muscle of broiler chickens. *British Poultry Science* 42: 197-202
- Tulliez J, Bories G, Février C et Boudène C. (1975) Les hydrocarbures des algues spirulines: nature, étude du devenir de l'heptadécane chez le rat et le porc *Ann. Nutr. Aliment.* 29, 563-571.
- Watanuki H, Ota K, Tassakka ACMAR, Kato T, Sakai M (2006) Immunostimulant effects of dietary Spirulina platensis on carp, *Cyprinus carpio*. *Aquaculture* 258: 157-163
- Yamamoto C, Fujiwara Y, Kajia T (2006) The biological effects of depolymerized sodium spirulan and sulfated colominic acid on vascular cells are beneficial in preventing atherosclerosis. *Journal of Health Science* 52: 205-210
- Yamamoto C, Nakamura A, Shimada S, Kaji T, Lee JB, Hayashi T (2003) Differential effects of sodium spirulan on the secretion of fibrinolytic proteins from vascular endothelial cells: Enhancement of plasminogen activator activity. *Journal of Health Science* 49: 405-409

Zhang HQ, Lin AP, Sun Y, Deng YM (2001) Chemo- and radio-protective effects of polysaccharide of *Spirulina platensis* on hemopoietic system of mice and dogs. *Acta Pharmacologica Sinica* 22: 1121-1124