

# Livret pédagogique

Accompagnement du film :  
« La spiruline contre la malnutrition »  
(Madurai - Inde)



# Sommaire

I- Script du film : « La spiruline contre la malnutrition en Inde »	p1
II- Référentiels BEP et Bac Pro visés	p8
IV- La spiruline	p9
1- Historique et systématique	p9
2- Biologie et écologie	p11
3- Technique de culture	p13
a- En lumière naturelle	p13
b- En lumière artificielle ou photobioréacteur	p14
4- La production mondiale et française	p15
5- Conditionnement	p17
6- Consommation et valeurs nutritives	p17
a- Les protéines	p18
b- Les vitamines	p20
c- Les minéraux	p21
d- Les lipides	p22
e- Contrôle sanitaire et législation en vigueur	p23
V- Bibliographie	p24

## **I- Script du film : « La spiruline contre la malnutrition en Inde »**

L'ONG suisse Antenna Technology, dirigée par Monsieur Denis von der Weid, existe depuis dix ans. Elle est impliquée dans des missions de développement visant à lutter contre la malnutrition à un niveau international.

En Inde du sud à Madurai, l'ONG Antenna Trust est un de ses pôles d'action. Elle lutte contre la malnutrition des plus démunis, particulièrement les femmes et les enfants, en mettant en place des cultures de spiruline.

Cette micro algue est un filament de forme spiralée d'une centaine de micron de long. Chaque filament est constitué de nombreuses cellules de 3 à 4  $\mu\text{m}$ .

La spiruline est un excellent complément alimentaire car elle contient jusqu'à 70% de protéines et possède la quasi-totalité des acides aminés essentiels.

On la cultive facilement en Inde car toutes les conditions naturelles de croissance comme la température et la luminosité sont réunies.

Les bassins d'Antenna Trust sont alimentés en eau par le forage d'une nappe phréatique et les pluies. Les 15 bassins sont identiques et mesurent 6 m sur 3 m.



La spiruline est récoltée sur des toiles de filtration. Afin de séparer la spiruline des impuretés, on utilise des toiles de maillages différents.

La première toile de 200 à 300  $\mu\text{m}$  retient les éléments indésirables de gros diamètre. Tandis que la spiruline, plus petite, est récoltée sur une toile à mailles plus fines, de 25 à 60  $\mu\text{m}$ .

Seulement une partie de la culture est filtrée. Le filtrat obtenu se concentre et forme une pâte de spiruline à 90% d'eau.

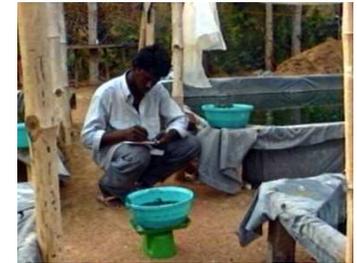
Par bassin on récolte plus ou moins 1 kg de pâte fraîche de spiruline. Chaque récolte est pesée afin de connaître la productivité individuelle des bassins. Ces mesures permettront de remplacer les éléments du milieu de culture absorbés par la spiruline.

Thaomani rincera ensuite la pâte de spiruline pour la laver avant de passer à l'étape de séchage.

La pâte fraîche de spiruline est étalée finement sur des carrés de toile plastique.

Les cadres sont disposés sur des supports au soleil et le séchage va durer 3 à 4 heures en fonction des conditions climatiques.

Quand la spiruline commence à être sèche, elle forme des flocons très légers. On pose donc des filets au-dessus pour éviter qu'ils ne s'envolent et pour les protéger des poussières.



Pendant ce temps, Yuvaraj, kannan et Thaomani se réunissent pour faire un bilan sur le travail de la matinée.

Uma Devi calcule les doses de milieu de remplacement à ajouter dans chaque bassin en fonction de la quantité de spiruline récoltée. Elle prépare ensuite ces milieux en mélangeant des engrais de type agricole.

Yuvaraj et pottiraja agitent l'eau des bassins à l'aide de brosses montées sur balai. L'agitation se fait régulièrement toute la journée pour brasser la spiruline qui a tendance à se stratifier dans le milieu. En effet, la stratification entraîne la photolyse des cellules de surface et ralentit la croissance des cellules du dessous.

Une fois la spiruline séchée, Yuvaraj emmène toutes les toiles dans la salle de conditionnement.

Les flocons vont être pesés, on obtient environ 100 gr de spiruline sèche pour 1 kg de pâte fraîche. Antenna trust produit 50 à 60 kg de spiruline sèche par mois.

Les flocons vont être analysés au laboratoire pour vérifier s'il n'y a pas de contaminations ou de toxiques comme les salmonelles ou les coliformes.

La spiruline est conditionnée sous différentes formes, soit en poudre dans des sachets de 1 à 50g, soit en flocons avec du riz soufflé.



Les sachets sont destinés aux enfants mal nourris. Ils contiennent 10g de riz soufflé et 2g de spiruline en flocons. Ce sont des portions individuelles et quotidiennes.



Antenna trust est aussi un centre d'expérimentation. La croissance de la spiruline et les variations des paramètres physico-chimiques sont surveillées méticuleusement.

On effectue des mesures de pH et de densité sur des échantillons prélevés dans chacun des bassins. Le pH est compris entre 10 et 11.



Priya vérifie la structure droite ou spiralée ainsi que les éventuelles contaminations par des bactéries ou des microalgues.

Parallèlement, Kannan effectue à différents moments de la journée des prises de températures et de densité pour chacun des bassins. Généralement l'eau est à 30 degrés.



En fin d'après midi, Yuvaraj et Pottiraja nettoient l'eau des bassins à l'aide d'un filet à fines mailles pour enlever les feuilles et les insectes. Des toiles plastifiées sont déroulées pour protéger les bassins du vent et de la pluie pendant la nuit.

Mr Karthikeyan, directeur d'Antenna Trust nous explique le rôle de ce centre d'expérimentation :



*«La principale mission d'Antenna trust est de lutter contre la malnutrition des jeunes générations par la distribution quotidienne de spiruline directement dans les villages.*



*Antenna trust a aussi un rôle d'enseignement en initiant les femmes des villages aux techniques de cultures de la spiruline et donc d'ammener les villageois vers une autonomie sociale et financière.*

*La production directe de notre site et celles des différents centres est redistribuée aux enfants des villages par les éducateurs pendant leur temps de classe. »*



Pour avoir une action efficace, Antenna trust est intégrée dans un groupe constitué de sept ONG indiennes dont le rôle est social. Elles prennent en charge la répartition équitable de la spiruline dans une dizaine de villages du district de Madurai. 950 enfants âgés de deux à huit ans bénéficient de ce réseau.



Ce réseau dans lequel est inséré Antenna trust s'appelle Antenna network, il est dirigé par Mr Devamanoharan. Leur objectif est de faire respecter les droits de l'homme par la lutte contre les castes sociales. En effet, les personnes vivants dans ces villages d'intouchables appartiennent à la caste sociale la plus basse.

Pour lutter contre l'intouchabilité, Antenna network met en place des programmes d'éducation. Pour cela des éducateurs animent des groupes de soutien scolaire et font passer des messages éducatifs grâce à du théâtre, des chants et de la danse.



## **II- Référentiels BEP et Bac Pro visés :**

Ce film peut être utilisé comme point de départ d'un thème du cours ou alors à certains moments du cours, par fractions comme illustration-support. Il peut ouvrir sur différents champs thématiques des référentiels :

- *Biologie et EPS :*

Etude des besoins nutritionnels de l'Homme, relation entre nutrition et santé. Les élèves doivent être capables de dégager les règles essentielles d'une alimentation équilibrée et adaptée aux besoins : groupes d'aliments, règles d'équivalence, conciliation des aspects biologiques, économiques et culturels, principales erreurs à éviter.

- *Connaissances et pratiques sociales :*

Mettre en œuvre une action d'animation ou de développement, mention spécifique à des actions dans le cadre de la coopération internationale.

- *L'Homme et le monde contemporain :*

Mettre en évidence la diversité des civilisations du monde actuel et approfondir la connaissance de deux d'entre elles dont une des civilisations doit être extra européenne. L'Inde est un pays particulièrement intéressant d'étudier de part sa situation géographique, son histoire et sa culture.

- *Mathématiques et traitements de données :*

Acquérir et utiliser des savoirs mathématiques en partant de situations issues des autres disciplines et de la vie professionnelle. En informatique, il serait par exemple intéressant de monter un site Internet avec les élèves.

- *Connaissances socio-économiques de l'espace rural :*

Connaître le contexte spatial et social de la mise en œuvre des technologies de la production agricole, aquacole et de l'aménagement.

Présenter la diversité (au niveau international) des systèmes de production agricole et aquacole, les facteurs de leur évolution, les relations avec l'espace. Comprendre le fonctionnement d'une entreprise en mettant en œuvre les technologies de production ou d'aménagement de l'espace (illustration de l'importance des échanges internationaux).

- *Science et technique :*

Réaliser une approche pluridisciplinaire, écologique et agronomique de la notion d'agro-systèmes, étude de l'énergie apportée par l'Homme dans les écosystèmes.

- *Aquaculture :*

Comprendre et mettre en œuvre des processus de production aquacole ; ici, l'algoculture.

- *Expression et communication :*

Réalisation, par les élèves, de diaporamas visant à développer leur sens critique, les initier à un ou plusieurs langages non verbaux, structurer leur pensée et exercer leur imagination. Un travail d'écriture des commentaires peut être réalisé. Il serait opportun de choisir le CD-ROM comme support.

- *Anglais :*

Communiquer en langue étrangère, oralement ou par écrit et développer par l'ouverture sur d'autres civilisations anglophones et le contact avec les étrangers, sa curiosité, son esprit critique et son aptitude à l'auto-formation. Les élèves peuvent traduire le film français en anglais ou la version anglaise en français.

Organiser des échanges d'élèves, voyages d'étude, séjours et stages à l'étranger : l'étude de la civilisation et de la culture d'un ou plusieurs pays étrangers permettra d'aborder un domaine culturel vaste, ouvert et varié, de fixer des repères historiques, géographiques, sociaux et culturels.



**Antenna trust** peut prétendre à plusieurs activités dont les objectifs sont humanitaires. La principale mission est évidemment celle de lutter contre la malnutrition des jeunes indiens par la distribution quotidienne de spiruline. En effet la production directe du site complétée par celles des différents centres locaux est quasi entièrement redistribuée dans les villages du district de Madurai.

A un autre niveau **Antenna trust** a aussi un rôle de formation. En initiant les femmes des milieux ruraux aux techniques de culture de spiruline, cette ONG amène progressivement les villageois vers une plus grande autonomie sociale et financière.

Enfin grâce à son laboratoire et aux connaissances scientifiques de l'équipe, Antenna trust vise à faire connaître les bienfaits de la consommation de spiruline sur l'organisme.

## **IV- La spiruline :**

### **1- Historique et systématique**

En 1513, les Conquistadores relataient que les Aztèques filtraient la spiruline du lac Texcoco avec des filets finement tissés. La population la consommait mélangée avec du maïs afin de leur donner de la vigueur nécessaire pour supporter la haute altitude et leur vie fatigante. Ainsi réputée pour ses qualités nutritives (forte richesse en protéines, vitamines, acides aminés essentiels et minéraux), la spiruline est toujours consommée par les Kanembous du lac Tchad, sous le nom de Dihé.

Ce n'est qu'au début des années 60, que des études pour le développement commercial de la spiruline ont commencé (via la création de grandes fermes de production) parallèlement aux projets de lutte contre la malnutrition et la déshydratation dans le monde.

En effet, la FAO (United Nations Food and Agriculture Organization) a conclu qu'en l'an 2000, sur les 65 pays ciblés n'ayant pas les ressources suffisantes pour leurs besoins alimentaires, seuls 19 d'entre eux peuvent les satisfaire grâce à des récoltes de nature conventionnelle, d'où l'idée de se tourner vers des nouvelles sources alimentaires comme les algues (en particulier les micro algues).

L'*Arthrospira platensis*, dont l'appellation courante est la spiruline est actuellement produite à l'échelle industrielle et commercialisée comme complément alimentaire diététique dans le monde entier.

Tableau 1 : Systématique de la spiruline

REGNE	MONERA
SOUS-REGNE	PROCARYOTA
PHYLUM	CYANOPHYTA
CLASSE	CYANOPHYCEAE
ORDRE	NOSTOCALES
FAMILLE	OSCILLATORIAEAE
GENRE	ARTHROSPIRA
ESPECES	PLATENSIS

Il existe une grande variation de la taille et la forme des filaments.

Tableau 2 : Résumé de plusieurs descriptions d'*Arthrospira platensis*

Date	Lieu	Longueur des cellules $\mu$	Diamètre des cellules $\mu$	Diamètre des spires $\mu$	Distance entre spires
1844	Uruguay	2-6	6-8	26-36	43-57
1893	Uruguay	2-6	6-8	26-36	43-57
1931	Kenya	3-10	6-11	36-60	15-45
1959	Uruguay	2-6	6-8	26-36	43-57
1967	Tchad	5	6-9	25-45	35-50
1980	Pérou	2.5	7.8	36	95
1984	Inde	4.5	12	99	55
1990	Mexique	3.2	12.45	52.3	52
1993	Pérou	2.4	9.5	33	43
1994	France (Camargue)	2.3	11.6	44	109
1994	Madagascar	3.8	7.2	12.2	32.5
1994	Californie	2.6	6.1	32	65
Moyennes		3.7	8.6	44	59.7

La tendance est de considérer qu'il existe des sous-espèces ou variétés et certaines études génétiques semblent le confirmer. En effet, les analyses les plus récentes de leurs caractéristiques génétiques (Scheldeman) ne montrent que 2 sous-espèces identiques à *Arthrospira platensis*.

D'après R.Fox, les variétés peuvent être des sous-espèces ayant subi une mutation irréversible ou des adaptations qui mises dans des conditions différentes reviendront type.

## **2- Biologie et écologie**

### Etude biologique

La spiruline est une cyanobactérie : c'est donc un procaryote pourvu de pigments assimilateurs tels que la chlorophylle A, les caroténoïdes et les phycobiliprotéines. Elle est donc dotée du pouvoir de photosynthèse, c'est à dire qu'elle produit de la matière organique à partir du gaz carbonique et de l'énergie solaire qu'elle convertit en énergie chimique utilisée pour réaliser la synthèse d'un grand nombre de métabolites.



Photo d'Arthrospira platensis, variété Lonar

C'est une micro algue vivant en eau douce, d'environ 0.3 mm de long, se présentant sous forme de filaments microscopiques non ramifiés et enroulés en spirale. Ses filaments sont mobiles et se déplacent par des mouvements de vrilles à plus de 5 $\mu$ m/sec : sa motilité lui sert à se protéger des expositions trop fortes au soleil.

De plus, elle possède une forme de résistance à la sécheresse en forme de kystes qui s'enfouissent dans les boues des lacs, dans lesquels elle vit. En effet, en absence de pluie, beaucoup de lacs s'assèchent, mais la spiruline peut supporter la concentration très élevée des sels. Lors de l'évaporation de l'eau, les filaments des algues s'agglomèrent par traction capillaire en petits agrégats. La pression osmotique très élevée fait sortir des cellules les polysaccharides qui forment alors une couche protectrice contre la perte d'eau interne ou adhérente. Cette faible quantité d'eau permet aux cellules placées à l'intérieur des agrégats de survivre même pendant des années de sécheresse jusqu'aux prochaines pluies qui remplissent le lac. Ensuite, des bactéries dévorent les polysaccharides libérant les cellules encore vivantes, qui repeuplent alors le lac. Cette technique de survie s'appelle la cryptobiose.

Elle est aussi dotée de vésicules gazeuses (les aérocystes) dégonflables qui permettent aux filaments de monter dans la colonne d'eau pour atteindre la lumière nécessaire à la photosynthèse.

Elle a une reproduction asexuée, commune aux bactéries, qui se fait par simple division cellulaire, ce qui rend sa culture relativement aisée.

### Etude écologique

Elle croit naturellement dans les lacs alcalins contenant du carbonate de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ou du bicarbonate de sodium ( $\text{NaHCO}_3$ ), d'autres minéraux et une source d'azote fixée.

On trouve de tels lacs sur tous les continents, très souvent près des volcans et anciens cratères, ainsi que dans les déserts, là où se ramasse l'eau minérale des montagnes. Elle est capable de se développer dans des milieux extrêmes, où l'eau peut occasionnellement atteindre des salinités avoisinant les 200 ‰.

Tableau 3 : Répartition géographique de la spiruline dans le monde

<b>AFRIQUE</b>	
ALGERIE	KENYA
TCHAD	TANZANIE
SOUDAN	TUNISIE
DJIBOUTI	ZAMBIE
ETHIOPIE	MADAGASCAR
CONGO	
<b>ASIE</b>	
INDE	PAKISTAN
MYANMAR	THAÏLANDE
SRI LANKA	AZERBAÏDJAN

AMERIQUE DU SUD	
PEROU	URUGUAY
MEXIQUE	EQUATEUR
AMERIQUE DU NORD	
CALIFORNIE (USA)	REPUBLIQUE DOMINICAINE
HAÏTI	
EUROPE	
HONGRIE	FRANCE (CAMARGUE)

Les flamants nains, *Phoeniconaias minor*, contribuent à l'extension des zones de peuplement de la spiruline. En effet, ces oiseaux migrateurs se nourrissent de spiruline et de diatomées qu'ils trouvent dans l'eau qu'ils filtrent.

La spiruline croit naturellement des latitudes comprises entre 35°N et 35°S. Les paramètres biologiques sont souvent difficiles à contrôler : le climat et l'approvisionnement en nutriments peuvent modifier la composition des algues et un milieu spécifique de croissance est souvent la seule façon sûre de réguler la production.

### **3- Techniques de culture**

Les systèmes de production pour les micro algues sont principalement des cuves ou des bassins dans lesquels les nutriments et les algues sont maintenus sous agitation. Cela permet d'éviter la sédimentation ou la formation de gradients de température et/ou de nutriments ainsi que de permettre une bonne exposition des micro algues à la lumière. Des systèmes utilisant de l'eau fraîche non résiduaire supposent un apport en gaz carbonique, soit par un brassage d'eau, soit par une injection directe.

a- En lumière naturelle :

#### **□ Un mode de production industriel :**

Des bassins ouverts où les micro algues sont cultivées à l'air libre possèdent une faible productivité en comparaison du système de culture, que nous verrons plus tard, en photobioréacteurs. Des coûts de production moindres en font le mode de culture le mieux adapté pour de fortes productions, destinées à la consommation. Il s'agit en général de longs bassins en « race ways », ou en zigzag, dans lesquels le milieu circule par pompage ou à l'aide de bras rotatifs radiaux (roues à aubes).

Les grandes fermes utilisant ce principe se situent en général sous des latitudes comprises entre 14° et 33° N et S. Les conditions de lumière et de température nécessaires à la culture de spiruline ont limité les zones de production à une bande située au niveau des Tropiques.

□ **Un mode de production artisanal, de type « villageois » :**

De simples étangs sont également utilisés. La culture se présente alors comme un système naturel exploitable. La hauteur d'eau n'y dépasse pas 1m (limite de pénétration de la lumière). Ils se trouvent dans des pays en voie de développement comme l'Inde, le Sénégal ou le Tchad. Ils restent très appropriés pour les pays aux climats chauds et arides, impropres aux cultures traditionnelles. Ces systèmes de production modestes, autant du point de vue technologique que du point de vue de leur taille, sont totalement dépendants des contraintes saisonnières (problèmes de manque d'eau) et sont exploités pour les besoins des populations locales afin de combattre la malnutrition.

Notons qu'aujourd'hui, avec l'aide d'associations de développement et d'aide humanitaire, on peut trouver dans ces contrées des exploitations aussi productives que certaines exploitations industrielles, mais à des échelles plus réduites et aux modes de culture plus rudimentaires.

b- En lumière artificielle ou photobioréacteurs :

Ce sont des systèmes clos, apparus après les années 60 qui sont plus facilement contrôlables et qui affichent des performances supérieures aux systèmes fonctionnant en lumière naturelle.

Leur coût de fonctionnement est au contraire beaucoup plus important. Ils sont réservés à la production de molécules à hautes valeurs ajoutées (caroténoïdes, phycocyanine).

Tableau 4 : Entreprises exploitant la spiruline dans le monde (Biofutur 1991)

ENTREPRISES	PAYS	TECHNOLOGIE DE CULTURE	PRODUITS VENDUS
Biogenics	USA	extraction	Caroténoïdes
Cyanotech	USA	système ouvert	Biomasse
Earthrise Farms	USA	système ouvert	Biomasse
Microalgae International Inc.	USA	système ouvert	Phycocyanine
Dainippon Ink + Chemicals InC.	Japon	extraction, purification	Phycocyanine
Ballapur Industries Ltd	Inde	système ouvert	Biomasse
Texcoco*	Mexique	système ouvert	Biomasse

\*Cette entreprise pionnière n'existe plus depuis 1998.

#### **4- La production mondiale et Française**

Aujourd'hui, le Japon et la Chine sont les leaders dans la production de Spiruline. Earthrise Farms (Californie) est devenue une propriété de Dai Nippon Ink Corporation Tokyo et Siam Algae est une de leur filiale.

Actuellement la globalité des petites structures asiatiques produit autant, si ce n'est plus que les grandes exploitations industrielles comme Earthrise. La quantité de spiruline ainsi produite est difficilement estimable, mais nous pouvons estimer à ce jour la production totale mondiale de 2000 tonnes.

La principale limitation de la production pour les fermes situées dans les plus hautes latitudes est qu'elles ont une saison de culture et de récolte plus courte que les exploitations situées à des latitudes plus basses (5 mois au lieu de 9-12 mois/an), du fait de température et d'ensoleillement inférieurs.

Cependant, Taiwan qui a priori réunit de bonnes conditions présente une production plus faible, car elle subit l'influence des orages l'été.

Tableau 5 : Production mondiale de spiruline destinée à la consommation (1997)

<b>PRODUCTEUR</b>	<b>LOCALITE</b>	<b>TONNES/AN</b>
Earthrise Frams* (20ha)	Calipatria, Californie	200
Cyanotech Corp (12ha)	Keahole Point, Hawai	175
Siam Algae Co*(2ha)	Bangkok, Thaïlande	80
Far East Microalgae	Taiwan	200
Nan Pao Chemicals (6ha)		
Blue Continent (3 ha)		
Tung Hai		
Solarium	Iquique, Chili	20
Bionor	La Serena, Chili	20
Vinh Hoa	Thuanhai, Vietman	30
Cyanotech Ltd	Bangalore, Inde	15
Parey Agro Ltd	Inde	10
Green Diamond	Chang Mai, Thaïlande	10
Unisyn	Kaomua Hawaï	30
Ballapure industries	Mysore, Inde	50
Proteal Saint Anne	Martinique	20
Imade Grenade	Espagne	10
Strembel Sourrigues	Rosario, Argentine	15
Fermes gouvernementales		
La Havane	Cuba	20
Ile de Hainan	Chine	100
Nanchang	Chine	50
Wuhan	Chine	100
Myanmar	Birmanie	30
Ukraine	Ukraine	20
<b>TOTAL</b>		<b>1205</b>

### La distribution de la spiruline en France

Dans cette partie, ne sera évoqué que la production destinée à l'alimentation, et non la spiruline dont sont extraites des molécules à forte valeur ajoutée.

La production de spiruline dans l'hexagone est très fortement limitée par les facteurs climatiques des zones tempérées. Les produits consommés proviennent donc essentiellement d'importations. Les grandes marques leaders, étrangères, telles que FLAMANT VERT, MARCUS ROHRER ou EARTHRISE sont distribuées en magasins « bio » et diététiques.

Les produits ont suivi des réseaux de distribution internationaux jusqu'aux distributeurs de la marque des pays développés, pour enfin être commercialisés dans les rayons des magasins spécialisés. Par exemple, la marque française FLAMANT VERT conditionne à Bourges, sous des formes très variées, une spiruline produite en grande quantité en Equateur. C'est la marque la plus distribuée en France

La production française destinée à la consommation directe est réalisée à l'échelle artisanale. Les producteurs ont un réseau de clients généralement situé dans un périmètre proche du lieu de production. Les produits ne passent pas par un organisme de distribution du fait de la faible quantité produite et la vente a lieu directement du producteur au consommateur. En général, cette spiruline subit peu de conditionnement. Le consommateur peut se fournir directement sur le site de production, sur des marchés et foires artisanales ou peut être livré si le service est proposé par le producteur.

De plus, il est aujourd'hui possible, grâce au développement d'Internet, d'acheter de la spiruline par correspondance. Celle-ci provient principalement d'exploitations étrangères, mais on trouve aussi des fournisseurs de spiruline dite française. Il est cependant difficile de connaître la provenance de celle-ci.

## **5- conditionnement**

La biomasse fraîche peut être directement consommée après la récolte ou mise en conserve (congelée, salée, sucrée ou séchée). Elle peut se garder (non lavée) en récipient fermé jusqu'à 8 jours à 1°C, 2 à 3 jours à 5°C, un jour à 8°C. La spiruline fraîche et crue est plus efficace (environ deux fois plus) que la spiruline séchée ou cuite, car elle est plus digeste et plus riche en certains éléments actifs. Il faut absorber de l'ordre de trois fois plus de spiruline cuite pour avoir la même quantité de vitamines que dans la pâte de spiruline fraîche. La spiruline congelée doit être décongelée et utilisée rapidement.

La spiruline séchée conserve ses qualités pendant des années, à condition d'être à l'abri de l'oxygène, de la lumière, de l'humidité et de la chaleur (comme toute autre nourriture). L'emballage sous vide ou sous atmosphère inerte d'azote ou de CO2 est plus efficace que l'addition d'antioxydants, en choisissant des emballages imperméables à l'oxygène, de préférence de plastique métallisé.

## **6- Consommation et valeurs nutritives**

Elle est utilisée, en alimentation humaine, compte tenu de ses teneurs en protéines, vitamines, minéraux et acides gras non saturés. C'est l'ensemble de tous ses nombreux facteurs nutritifs qui en fait un aliment si précieux.

La spiruline ne remplace pas les aliments caloriques tels que le manioc, le riz ou le maïs, mais c'est un ingrédient idéal de la sauce protéinée qui accompagne la « boule » africaine, par exemple, apportant des protéines mais aussi de nombreux autres éléments très favorables pour la santé, notamment celle des enfants.

La spiruline de second choix peut être valorisée dans l'alimentation des animaux, elle améliore leur santé, leur qualité, leur apparence ou leurs performances. Pour les poissons, elle peut être donnée fraîche, sèche ou incorporée aux granulés.

La composition chimique des spirulines est variable selon les conditions de culture, mais les caractéristiques les plus intéressantes restent toujours présentes : les résultats présentés ici sont tirés de la composition de *Spirulina platensis* en provenance de Earthrise Farms dans l'Imperial Valley du Sud Californien.

## 1- Les protéines

La teneur en protéines de la spiruline oscille entre 60 et 70% de son poids sec : valeurs tout à fait exceptionnelles, même parmi les micro-organismes.

D'autre part, les meilleures sources de protéines végétales n'arrivent qu'à la moitié de ces teneurs. Le pourcentage de protéines utilisables dans la matière sèche de spiruline reste supérieur à celui des autres végétaux, équivalent à celui de la viande et des produits laitiers comme le parmesan mais demeure inférieur aux valeurs atteintes par la volaille et le poisson.

Tableau 6 : Taux de protéines de quelques aliments

<b>Aliment</b>	<b>Taux de protéines en %</b>
Spiruline	60-70
Farine de soja	35
Haricots	30-35
Bœuf	18-22
Oeufs	12-16
Lait	3

D'un point de vue qualitatif, les protéines de la spiruline sont complètes, car 8 des acides aminés essentiels y figurent (43% du poids total des protéines). Parmi ces acides aminés essentiels, les plus faiblement représentés sont les soufrés, c'est à dire la méthionine et la cystéine, qui sont toutefois présents à plus de 80% de la valeur idéale définie par la FAO.

Tableau 7 : Composition de la spiruline en acides aminés

	<b>% de protéines totales minimum</b>	<b>% de protéines totales maximum</b>
<b>Acides aminés essentiels</b>		
Isoleucine	5.81	6.15
Leucine	8.17	9.26
Lysine	4.93	5.63
Méthionine	2.65	3.05
Phénylalanine	4.62	5.56
Thréonine	5.30	5.87
Tryptophane	1.37	1.59
Valine	7.00	8.45
<b>Total</b>	<b>39.85</b>	<b>45.56</b>
<b>Acides aminés non essentiels</b>		
Alanine	8.20	8.28
Arginine	7.43	8.42
Acide aspartique	9.05	9.95
Cystine	0.93	0.94
Acide glutamique	12.59	13.82
Glycine	4.87	5.28
Histidine	1.48	1.52
Proline	4.18	4.46
Sérine	5.30	5.63
Azote de l'acide nucléique	1.25	1.99
Acide ribonucléique (ARN)	2.20	3.50
Acide désoxyribonucléique (ADN)	0.63	1.00

Le spectre d'acides aminés montre que la valeur biologique des protéines de la spiruline est très haute et que l'optimum pourrait être atteint par complémentation avec une bonne source d'acides aminés soufrés et éventuellement de lysine et/ou histidine. Remarquons que les populations du Tchad qui en consomment, l'associent au mil spécialement riche en méthionine et cystéine.

L'absorption de 50g /jour de spiruline apporterait la moitié des allocations journalières de régime recommandées en protéines.

## 2- Les vitamines

La spiruline contient des taux exceptionnels de vitamines A et B12.

Elle est très riche en pigments caroténoïdes provitamine A. Ces provitamines A sont converties en vitamines A au cours de la digestion ou lors du passage à travers la paroi intestinale. L'activité de la vitamine A est essentiellement liée à celle du  $\beta$ -carotène : elle serait 25 fois plus riche que les carottes crues.

Il faut souligner la teneur exceptionnelle de la spiruline en vitamine B12 (cobalamine), de loin la plus difficile à obtenir dans un régime sans viande car aucun végétal courant n'en contient. La spiruline en serait quatre fois plus riche que le foie cru, longtemps donné comme sa meilleure source.

La carence en vitamine B12 (anémie pernicieuse) provient d'un défaut d'apport nutritif comme dans les régimes végétariens stricts, soit d'un défaut d'absorption. Il semble d'autre part que certains états pathologiques entraînent systématiquement une déficience en vitamine B12. C'est le cas des infections à VIH menant au sida.

Une dose de 3g/jour de spiruline séchée suffit amplement à couvrir la totalité des besoins en vitamine B12.

Tableau 8 : Composition de la spiruline en vitamines

<b>Vitamines</b>	<b>Teneur (mg/Kg de matière sèche)</b>	<b>Besoin/jour (mg pour un adulte)</b>
$\beta$ Carotène (pro-A)	1 700	
Thiamine (B1)	55	1.5
Riboflavine (B2)	40	1.8
Pyridoxine (B6)	3	2
Cyanocobalamine (B12)	0.4	0.003
Acide ascorbique (C)	90	15-30
Tocophérol (E)	190	
Acide nicotinique (PP)	118	
Acide folique	0.5	0.4
Inositol	350	
$\delta$ -Ca-Panthoténate	11	6-10
Biotine (H)	0.4	0.1-0.3

### 3- Les minéraux

Le haut niveau de fer est une caractéristique de la spiruline. En effet, même si la quantité de fer varie selon les conditions physiques et chimiques de la croissance, la spiruline contient (si on se base sur le poids sec) plus de fer que les aliments conventionnels (d'origines végétale ou animale) avec une échelle de 950 mg/kg, soit 20 fois plus que le germe de blé. Le fer est un minéral essentiellement présent dans les aliments comme la viande, les abats, le poisson. Cette forte teneur en fer est d'un grand intérêt pour les sportifs, les végétariens, les femmes enceintes et les adolescents en phase de croissance.

Tableau 9 : Composition de la spiruline en minéraux

<b>Minéral</b>	<b>Teneur en g/kg de matière sèche</b>
Potassium (K)	13.6
Phosphore (P)	8.09
Calcium (Ca)	5.35
Sodium (Na)	4.1
Magnésium (Mg)	3.0
Chlore (Cl)	1.53
<b>Fer (Fe)</b>	<b>0.86</b>
Manganèse (Mn)	0.03
Zinc (Zn)	0.02
Cuivre (Cu)	0.004
Chrome (Cr)	0.002
Bore (B)	0.01
Sélénium (Se)	0.002
Germanium (Ge)	0.0006
Molybdène (Mo)	0.001

#### 4- Les lipides

Tableau 10 : Composition de la spiruline en lipides

<b>Lipides totaux</b>	<b>% minimum</b>	<b>% maximum</b>
Acides gras	4.9	5.7
	<b>Teneur minimale en mg/kg de matière sèche</b>	<b>Teneur maximale en mg/kg de matière sèche</b>
Acides gras saturés		
Laurique (C12)	180	229
Myristique (C14)	520	644
Palmitique (C16)	16 500	21 141
Stéarique (C18)	traces	353
Acides gras non saturés		
Palmitoléique (C16)	1 490	2 035
Palmitolinoléique (C16)	1 750	2 565
Heptadécanoïque (C17)	90	142
Oléique (C18)	1 970	3 009
Linoléique (C18)	10 920	13 784
γ linoléique (C18)	8 750	11 970
α Linoléique (C18)	699	700

Contrairement aux autres micro organismes proposés comme sources de protéines (levures, chlorelles), la spiruline ne contient pas de parois cellulosiques mais une enveloppe relativement fragile ; elle libère donc facilement ses nutriments.

Ce fait explique la très bonne digestibilité des protéines de la spiruline simplement séchée. Ainsi la spiruline ne nécessite ni cuisson ni traitements spéciaux destinés à rendre ses protéines accessibles. C'est un avantage considérable tant du point de vue de la simplicité de production que de la préservation des constituants de haute valeur tels que les vitamines et les acides gras poly insaturés.

La valeur NPU de la spiruline, qui correspond à l'utilisation protéique nette, déterminée par la digestibilité (c'est à dire la proportion d'azote protéique absorbée) et par la composition en acides aminés, est estimée entre 53 et 61%, soit 85 à 92% de celle de la caséine.

## 5- Contrôle sanitaire et législation en vigueur

La qualité sanitaire est l'état dans lequel se trouve le produit sur le plan bactériologique et toxique. Un produit alimentaire quel qu'il soit, se doit de présenter une qualité sanitaire irréprochable n'entraînant pas, chez le consommateur, des troubles de la santé.

L'avis favorable concernant l'emploi de la spiruline dans l'alimentation humaine a été émis par le Conseil Supérieur d'Hygiène publique de France, en 1989. Il a émis l'avis suivant : la spiruline peut être utilisée en alimentation humaine (en tant que légumes ou condiments et non en tant que gélifiants ou épaississants) en l'état ou incorporé à d'autres denrées alimentaires.

Ces algues doivent être conformes aux spécifications suivantes (valeurs exprimées par rapport à la matière sèche), en matière de toxicologie.

Arsenic minéral < ou = 3mg /Kg	Iode < ou = 500 mg/Kg
Cadmium < ou = 0.5mg /Kg	Mercure < ou = 0.1 mg/Kg
Etain < ou = 5 mg/Kg	Plomb < ou = 5 mg/Kg

Le risque micro biologique est lié à la présence de microorganismes ou de substances élaborées par les microorganismes. Ce risque résulte souvent d'une maîtrise insuffisante des conditions d'hygiène au cours de la production, du stockage, du transport ou de la commercialisation des produits.

Pour les algues en sachet les critères micro biologiques suivants :

Germes aérobies mésophiles à 30°C < ou = 100 000/g	Clostridium perfringens < ou = 1/g
Coliformes fécaux à 44.5°C < ou = 10/g	Staphylococcus aureus < ou = 100/g
Anaérobies sulfite-réducteurs à 46°C < ou = 100/g	Salmonella absente dans 25 g

### Conclusion :

La déclaration de l'Administration Fédérale des Produits Pharmaceutiques dit : « la spiruline est une source de protéines et contient différentes vitamines et sels minéraux. Elle peut être légalement commercialisée comme nourriture ou complément nutritif aussi longtemps qu'elle est étiquetée correctement et qu'elle ne contient pas de substances contaminées ou altérées ». Il est intéressant de remarquer que la spiruline est le seul genre de micro algues autorisé à la consommation alimentaire humaine en France.

## **V- BIBLIOGRAPHIE**

- ❑ **Audineau et Blancheton**, (1986), *Production d'algues unicellulaires*. Rapport d'activité de l'équipe MERECA de l'Ifremer Palavas les Flots, 19 pages.
- ❑ **Cornet J-F.**, (1998), *Technoscope : les photobioréacteurs*. Biofutur n°176, 11 pages.
- ❑ **Dillon J.C. et Phan P.A.**, (1993), *Spirulina as a source of proteins in human nutrition*. Bulletin de l'institut océanographique de Monaco, n° spécial 12
- ❑ **Fox R.D.**, (1999), *La spiruline : technique et promesse*. Edisud, 246 pages.
- ❑ **Fox R.D.**, (1986), *Algoculture : la spiruline, un espoir pour le monde de la faim*. Edisud, 270 pages.
- ❑ **Falquet J.**, (1996), *Spiruline : aspects nutritionnels*. Antenna Technologie.
- ❑ **Gouesin PY., Chibret L., Touchot AC.**(2001), *Etude de faisabilité d'une entreprise de production et de valorisation pour l'alimentation humaine*, 85 pages.
- ❑ **Jourdan J.P.**, (1999), *Cultivez votre spiruline*. Antenna Technologie.
- ❑ **Muller et Farga A.**, (1997), *Microalgues marines, les enjeux de la recherche*. Ifremer Brest, 35 pages.
- ❑ **Sasson A.**, (1998), *L'exploitation industrielle des micro algues*. Biofutur n°179.
- ❑ **Sautier C.**, (1990), *Aspects nutritionnels et réglementaires de l'utilisation des algues en alimentation humaine*. Revue du Palais de la Découverte, p 40-46.
- ❑ **Zarrouk C.**, (1966), *Contribution à l'étude d'une cyanophycée. Influence de divers facteurs physiques et chimiques sur la connaissance et la photosynthèse de Spirulina maxima*. Thèse de doctorat, Paris.

## **SITES INTERNET CONSULTÉS**

- ❑ Ifremer sur la recherche de molécules à haute valeur ajoutée qui présente succinctement les grandes orientations de l'organisme. <http://www.ifremer.fr>
- ❑ Collaboration entre le CEVA et CBB développement où nous pouvons trouver les thèmes de recherche dans l'industrie et prendre connaissance de quelques résultats. <http://www.cbb-developpement.com>
- ❑ Spirulina<sup>r</sup> qui propose des produits à base de spiruline. <http://www.spirulina.nl>
- ❑ Université de Perpignan sur la Spiruline dans l'alimentation humaine. <http://www.univ-perp.fr>
- ❑ Antenna technologie : ONG de lutte contre la malnutrition. Aide au développement de culture de Spiruline. [www.antenna.ch](http://www.antenna.ch)
- ❑ Site internet du Ministère de l'Agriculture

Réalisation :

Isabelle TABUTIN  
Pierre-Yves GOUESIN  
Pierre MOLLO

Aide à la réalisation :

Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche et des affaires rurales (B.C.I.)  
CEMPAMA de Beg-Meil  
Télé5000

Partenaires :

Antenna technology (Suisse)  
Antenna trust (Inde)

Mots clés :

Microalgue / Milieu de culture / Spiruline / ONG / Malnutrition

Date de réalisation : Avril 2002