

## CHAPITRE II : LA SPIRULINE ET SES AVANTAGES

### II.1 HISTORIQUE DE LA SPIRULINE

La spiruline est en fait la plus ancienne forme de vie "verte", apparue sur la terre il y a environ 3,5 milliards d'années [4]. La spiruline eut même un rôle primordial dans l'apparition et le développement du vivant puisque comme toutes les cyanobactéries, elle permet à travers un phénomène de photosynthèse de produire de l'oxygène à partir du gaz carbonique. Et qui parle d'oxygène, parle donc de la vie, bref le développement du genre humain [57].

Les Aztèques et les peuplades autochtones du Tchad ont consommé la spiruline pendant des siècles, et elle fait encore l'objet d'une récolte, d'une consommation et d'un commerce importants chez les tchadiens, qui la nomment "*dihé*" [4]. La spiruline, si elle est l'une des premières formes de vie terrestre, n'en a pas moins suscité que tardivement l'intérêt des scientifiques occidentaux. La première mention écrite que l'on connaisse remonte à Cortès, qui, en ses mémoires, décrit vers 1521 la façon dont les aztèques la récoltaient et la consommaient. Après l'avoir fait sécher au soleil, ils obtenaient des pains, les "*tecuitlatl*", qui étaient en fait la base de leur alimentation. Elle fut redécouverte au Tchad vers 1930 par un pharmacien français des troupes coloniales. En 1959, Brandilly, anthropologue et cinéaste, publie un article sur la spiruline : "Depuis les lustres, une tribu africaine du Tchad (les kanembous) exploite la nourriture de l'an 2000" [4].

Ce n'est que dans le milieu des années 1965-1967 que la spiruline commença à se faire connaître grâce à un botaniste belge, Jean Léonard qui, lui aussi, découvrit les fameuses galettes bleues-vertes de spiruline sur les marchés tchadiens. La spiruline fut alors analysée, ce qui permit de découvrir sa composition et ses bienfaits [57].

Du côté du Mexique, une société nommée "Sosa Texcoco" avait la concession d'exploitation du lac Texcoco pour la production des dérivés de la soude. Après des années d'exploitation, l'étang solaire d'évaporation (900 hectares), a été envahi par une mystérieuse algue verte-bleue : la spiruline. La "Sosa Texcoco", a eu l'heureuse idée, parallèlement à ses activités de base d'exploiter la spiruline présente dans les eaux du lac. L'idée fut un succès et la société produisit jusqu'à 300 tonnes de spiruline sèche par an. La première exploitation commerciale de spiruline était née [57].

Depuis les années 80, la spiruline a fait l'objet de plusieurs dizaines d'études scientifiques, par des chercheurs du monde entier, mais le constat reste que la communauté scientifique est

encore loin de connaître tous les effets bénéfiques d'une consommation quotidienne de spiruline [4].

## II.2 DESCRIPTION DE LA SPIRULINE

### ✚ Eléments de biologie de la spiruline

#### a) Taxonomie

La spiruline était à l'origine considérée comme une algue. Cependant, en 1960 une claire distinction entre procaryote et eucaryote a été définie, basée sur la différence d'organisation cellulaire : les procaryotes regroupent les organismes dépourvus de compartiment cellulaire tandis que les eucaryotes regroupent ceux qui possèdent des organelles c'est à dire des nucléoles et des mitochondries. En 1962, Stanier et al constataient que cette algue bleu-verte était dépourvue de compartiments cellulaires, et donc faisait partie des procaryotes; ils proposaient de désigner ce microorganisme «Cyanobactérie». Cette nouvelle désignation est finalement acceptée [8].

La spiruline est une algue microscopique qui pousse naturellement dans certains lacs chauds et alcalins du Tchad et du Mexique. Ses caractéristiques biologiques font qu'elle se situe à la frontière du monde bactérien et du monde végétal. C'est une bactérie parce qu'appartenant au groupe des cyanobactéries (ou algues bleues), et un végétal parce qu'étant une micro-algue puisant son énergie de la photosynthèse. Riche en chlorophylle, elle est dépourvue de cellulose. Il convient de préciser la terminologie souvent confuse [4] :

- spiruline est le nom commercial d'une cyanobactérie appartenant toujours au sous genre *Arthrospira*.
- spirulina est le nom commercial anglais de la même cyanobactérie.
- *Arthrospira* ou *Spirulina* est le nom scientifique et taxonomique d'un groupe de cyanobactéries auxquelles appartient notre spiruline alimentaire.

Ripley Fox classe la spiruline suivant la taxonomie suivante [8] :

**Règne** Monera

**Groupe ou Sous Règne** Procaryotes

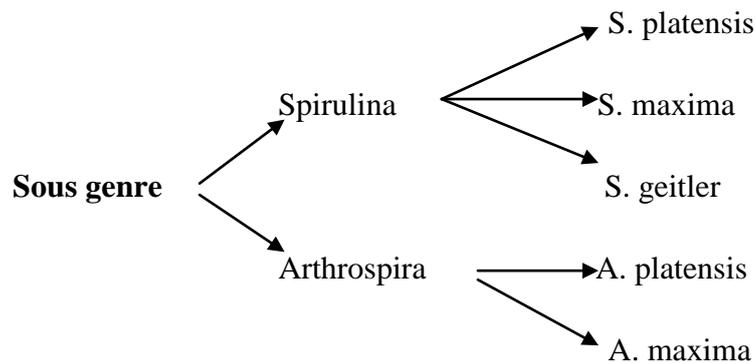
**Embranchement** Cyanophyta

**Classe** Cyanophyceae

**Ordre** Nostocales (= Oscillatoriales)

## Famille Oscillatoriaceae

### Genre Oscillatoria



Les Nostocales sont des cyanophycées filamenteuses, unisériées, ramifiées ou non ramifiées. Elles se multiplient le plus souvent par hormogonies pluricellulaires et parfois par akinètes.

Les Oscillatoriaceae se caractérisent par : des trichomes cylindriques, unisériées, simples, qui sont atténués parfois à l'apex par une courbure ou par la présence d'une coiffe, mais jamais en poils articulés. Les trichomes sont nus ou pourvus d'une gaine. Il n'y a pas de ramification et pas d'hétérocyste.

Chez le genre Oscillatoria, les trichomes sont libres, solitaires et dépourvus de gaine. Ils sont droits ou flexueux et parfois tordus en une hélice régulière.

On peut considérer Spirulina comme sous genre d'Oscillatoria car elle diffère seulement par l'enroulement hélicoïdal du trichome. Chez Spirulina, les trichomes sont régulièrement enroulés en hélice plus ou moins serrée et leurs cloisons sont plus ou moins visibles.

Le trichome d'Arthrospira est de grande taille et les cloisons sont bien marquées. Cette micro algue change de forme en fonction des caractéristiques physiques et chimiques du milieu dans lequel on la trouve. Mais on remarque aussi que dans un même milieu on trouve des variétés de formes. C'est peut être là l'origine de la confusion entre les termes Spirulina et Arthrospira.

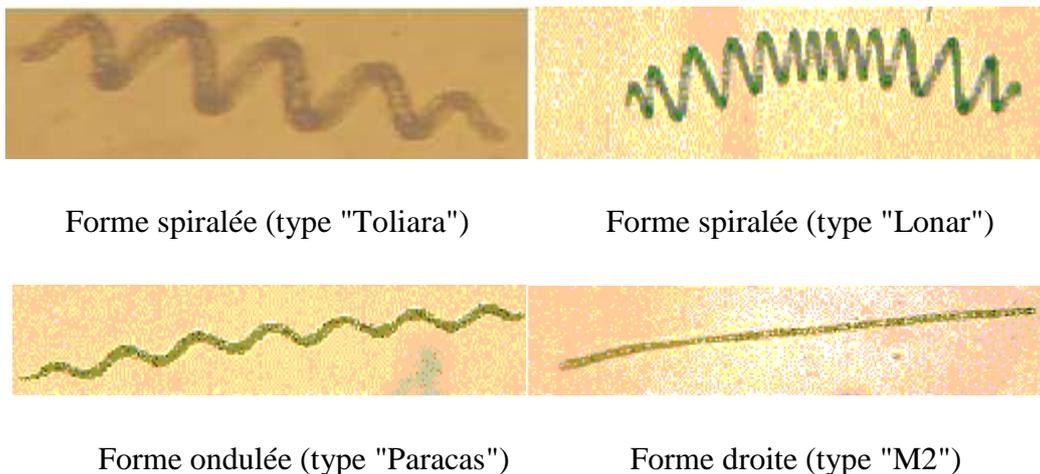
#### b) Répartition géographique

La spiruline se développe préférentiellement dans des eaux chaudes, alcalines et riches en nutriments azotés et phosphorés. Plus communément, elle s'observe dans les eaux saumâtres, ainsi que dans les lacs salins de régions tropicales et semi-tropicales. Son caractère thermophile 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 [19].

Sa forte plasticité écologique permet de la retrouver à l'état naturel à la fois dans les lacs alcalins en Afrique (Tchad, Ethiopie, Tunisie), en Amérique latine (Mexique, Pérou), en Asie du sud (Inde, Sri Lanka, Thaïlande). Cet organisme est dit ubiquiste. Il est cependant beaucoup moins abondant en Amérique du Nord et en Europe [19].

### c) Morphologie et caractères généraux

La spiruline est une cyanophycée microscopique d'une longueur moyenne d'environ 250µm. Elle est composée de filaments mobiles de 10 à 12 µm de diamètre non ramifiés et enroulés en spirale, généralement en 6 ou 7 spires. Cette forme hélicoïdale lui donnant l'allure d'un minuscule ressort lui a valu son appellation de «spiruline». Cependant les spirulines présentent différentes formes (Figure 1). On trouve des formes spiralées classiques, ondulées et parfois droites. Cette particularité est en relation directe avec les conditions écologiques rencontrées dans leur habitat [19].



**Figure 1:** Morphologies typiques de spiruline [19]

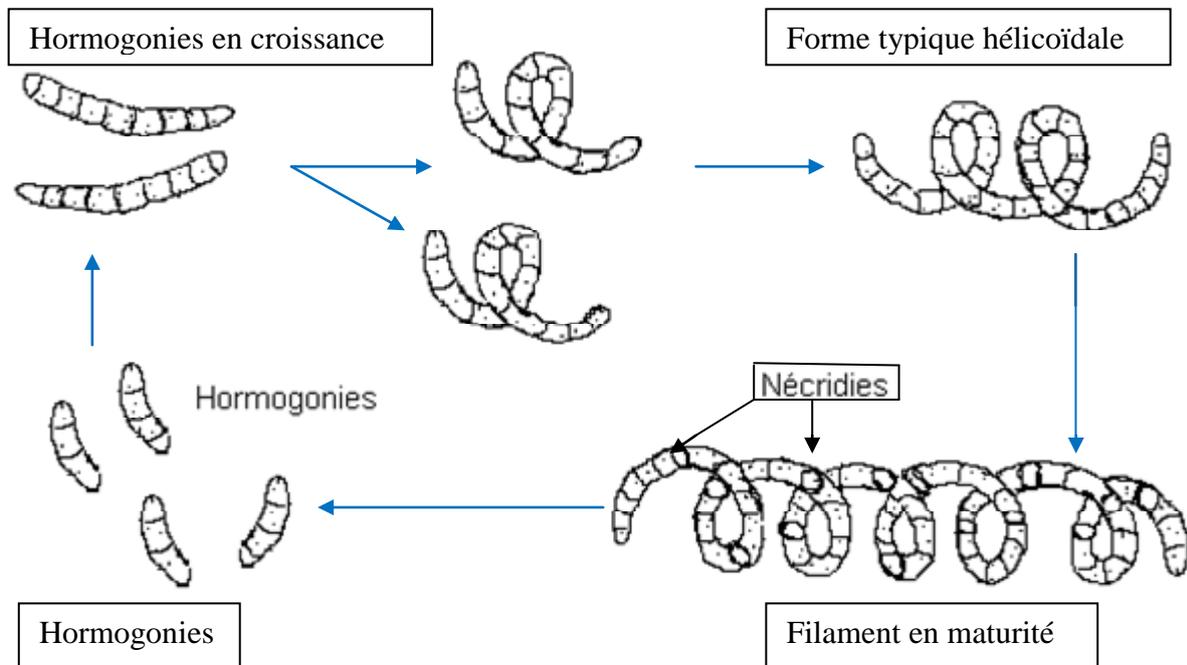
La spiruline est constituée de cellules transparentes empilées bout à bout formant ainsi un filament ou trichome. L'enroulement du trichome sur lui-même s'effectue suivant le sens des aiguilles d'une montre lorsqu'on regarde au dessus de la spirale. Les facteurs environnementaux tels que la température auraient cependant une influence sur l'orientation de l'hélice [45]. Cette morphologie typique lui permet de se déplacer dans l'eau en adoptant le mouvement d'une vis. Le système pigmentaire de la spiruline est constitué :

- de chlorophylle *a* ;

- de pigments hydrosolubles, les phycobilines rouge (phycoérythrine) et bleu (phycocyanine) ;
- de caroténoïdes ( $\beta$ -carotène, cryptoxanthine).

#### d) Cycle biologique

La spiruline comme tout être vivant possède un cycle biologique matérialisé par la figure 2.



**Figure 2 : Cycle biologique de la spiruline [7]**

Le filament de spiruline, arrivé à maturité forme des cellules spéciales appelées nécriidies. Elles se différencient des autres cellules par leur aspect biconcave et sont assimilées à des disques de séparation. A partir de ces disques, le trichome se fragmente pour donner de nouveaux filaments de 2 à 4 cellules appelés hormogonies. Les hormogonies vont croître en longueur par division binaire (chacune des cellules va donner deux cellules par scissiparité) et prendre la forme typique hélicoïdale. En conditions expérimentales, le temps de génération (passage d'une génération à une autre) maximal de la spiruline est de l'ordre de 7 heures [19].

#### e) Conditions physiques et chimiques de croissance

Pour se développer, la spiruline a besoin d'éléments minéraux simples tels que l'eau, les sels minéraux, le gaz carbonique et l'oxygène qu'elle puise directement dans son milieu tout en utilisant la lumière solaire comme source d'énergie grâce à son système pigmentaire. Ce mode de synthèse de biomasse est la photo-autotrophie [19].

La spiruline croît dans des milieux naturels caractérisés par des eaux saumâtres, chaudes, alcalines ( $8 < \text{pH} < 11,5$ ) et natronées (fortement concentrées en carbonates et bicarbonates) de la zone intertropicale. En règle générale, les phosphates, les carbonates, les nitrates et le fer sont les éléments limitants de la production phytoplanctonique dans les milieux aquatiques. Dans les gisements naturels, ces éléments sont apportés par les bassins versants. La spiruline se développe dans des eaux chaudes (28 à 40°C) et bénéficiant d'une intensité lumineuse élevée. Le vent joue un rôle important en créant une agitation qui favorise une dispersion homogène de la spiruline dans le milieu, et donc son exposition à la lumière [19].

En milieu naturel, lorsque les conditions sont optimales, la spiruline peut se développer en grande quantité et entrer alors en compétition avec d'autres organismes. Lors des efflorescences, la consommation des carbonates et bicarbonates entraîne une augmentation du pH limitant ainsi la croissance des autres microorganismes [19].

## **II.3 COMPOSITION DE LA SPIRULINE**

La spiruline est un concentré d'éléments nutritifs bio disponibles [54]. La composition de la spiruline dépend des éléments chimiques dont elle dispose dans le milieu. La plupart des études des constituants de la spiruline ont été réalisées sur *Spirulina platensis* (connue aussi sous l'appellation *d'Arthrospira platensis*). Cette espèce sert de référence car sa composition est relativement constante même si elle varie selon la souche, les conditions de culture et le mode de conditionnement [19].

### **II.3.1 Composition en protéines et acides aminés**

La teneur en protéine de la spiruline est élevée. Elle représente 10 à 11% de la masse humide, soit 60 à 70% de sa matière sèche. Ce pourcentage est bien plus élevé que celui du poisson (25%), du soja (35%), de la poudre de lait (35 %) et des céréales (14%) [19].

On relève toutefois une variation du contenu en protéines de 10 à 15% selon le moment de la récolte par rapport à la photopériode, les valeurs les plus fortes étant obtenues au début de la période lumineuse [33].

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. 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%.

De ce fait, la spiruline ne nécessite pas de cuisson ni même l'administration d'un traitement spécial pour une bonne digestibilité protéique [19].

### II.3.2 Glucides

Les glucides représentent 15 à 25% du poids sec. La spiruline contient très peu de glucides simples, il y'a surtout des glucides complexes sous forme de polysaccharides membranaires aux propriétés immunostimulantes [4].

Du point de vue nutritionnel, les substances glucidiques intéressantes par leur quantité dans la spiruline sont : le méso-inositol phosphate qui constitue une excellente source de phosphore organique ainsi que l'inositol (350-850 mg/kg de la matière sèche). Cette teneur en inositol est environ huit fois supérieure celle de la viande de bœuf et plusieurs centaines de fois celle des végétaux qui en sont les plus riches [33].

### II.3.3 Lipides

Les lipides représentent jusqu'à 11% du poids sec de la spiruline, à noter la présence d'acide gammalinoléique, d'acides gras essentiels (AGE) du groupe des Omega 6. Ils sont des précurseurs des prostaglandines, des leukotriènes et des thromboxanes, médiateurs chimiques impliqués dans les processus immunitaires et inflammatoires [4].

Bien que plusieurs publications sur la spiruline aient donné une valeur de 5,6 à 7% du poids sec en lipides totaux, de meilleurs systèmes d'extraction permettent d'obtenir des valeurs situées entre 6 et 13%. Ces lipides totaux peuvent être séparés en une fraction saponifiable (83%) et une fraction insaponifiable, contenant essentiellement des paraffines, des pigments, des alcools terpéniques et des stérols [33].

### II.3.4 Vitamines

➤ **Provitamine A (β-carotène)** : le β-carotène représente 40 à 80% des caroténoïdes présents dans la spiruline, le reste étant composé principalement (par ordre décroissant) de xanthophylle, de cryptoxanthine, d'échinénone, de zéaxanthine et de lutéine. On trouve entre 700 et 2000 mg de beta-carotène et environ 100 à 600 mg de cryptoxanthine par kilo de spiruline sèche, ces deux caroténoïdes sont convertibles en vitamine A par les mammifères [33]. Il participe au mécanisme de la vision, au métabolisme de la peau, au système immunitaire. C'est aussi un antioxydant particulièrement efficace [4].

➤ **Vitamine B12** : On ne la trouvait que dans la viande rouge, elle est indispensable à la fabrication des globules rouges [4].

Une souche particulière de spiruline (NIES-39) a été soigneusement étudiée en termes de contenu et d'identité des composés de la famille de la vitamine B12, les corrinoïdes. Il en résulte que le corrinoïde prédominant (83%) est une pseudo-B12, la 7-adeninyl cyanocobamide, mais que la véritable vitamine B12 représente tout de même 17% des corrinoïdes totaux [33].

➤ **Autres vitamines du groupe B** : Ils sont tous présents dans la spiruline, et sont impliqués dans tous les métabolismes, la synthèse des hormones et enzymes, la transmission de l'influx nerveux, la production d'énergie, le système immunitaire [4].

➤ **Vitamine E ou tocophérol** : présente dans la spiruline elle est indispensable à la lutte contre les radicaux libres [4].

### II.3.5 Oligoéléments

Ils sont très nombreux dans la spiruline. Il s'agit du fer à forte concentration (seul fer végétal bio-disponible), du calcium à concentration supérieure à celle du lait de vache, du phosphore, du magnésium, du cuivre, du zinc et du sélénium [4].

La très haute teneur en fer de la spiruline cultivée (550-6000 mg/kg) est à souligner doublement du fait que les carences en fer sont très répandues (anémies ferriprives), surtout chez les femmes et les enfants et que les bonnes sources alimentaires de fer sont rares. Dans le cas de la spiruline, la biodisponibilité élevée du fer a été démontrée tant chez le rat que chez l'homme [48].

Il est démontré que le fer de la spiruline est mieux absorbé que celui de la viande, ce qui est exceptionnel pour un fer non-hémique. Selon les mêmes travaux, le taux de formation de ferritine après digestion de spiruline serait plus de six fois plus élevé que dans le cas d'une même quantité de fer apporté par digestion de viande. Un essai portant sur 26 patients ayant une hémoglobinémie comprise entre 120 et 146 g/l, a comparé l'apport de fer sous forme de spiruline ou de sulfate de fer : après quatre semaines de supplémentation par l'équivalent de 10,3 mg de fer par jour, le taux d'hémoglobine du groupe spiruline avait augmenté en moyenne de 5 g/l alors qu'elle n'avait progressé que de 1 g/l chez les patients sous sulfate de fer. Ces résultats pourraient en partie s'expliquer par un effet de la phycocyanine (du fait de sa teneur très élevée dans la spiruline) et pour laquelle certains auteurs invoquent une stimulation de l'érythropoïèse [33].

### II.3.6 Chlorophylle

Elle est présente dans la spiruline et possède un effet détoxiquant et purifiant [4].

### **II.3.7 Phycocyanine**

Elle est active sur le fonctionnement de la moelle osseuse.

Cette molécule complexe agit sur la moelle osseuse en stimulant l'évolution et la différenciation des cellules souches des lignées sanguines rouges et blanches [4].

### **II.3.8 Acides nucléiques**

Chez *Spirulina platensis* comme chez *Spirulina maxima*, il est rapporté des valeurs de 4,2% à 6% d'acides nucléiques totaux dans la matière sèche. La proportion d'ADN serait d'un quart à un tiers par rapport à l'ARN. La teneur en acides nucléiques des spirulines est très inférieure à celle de la plupart des unicellulaires [33].

## **II.4 PRODUCTION DE SPIRULINE**

La production de spiruline se fait à plusieurs échelles : artisanale, semi-industrielle et industrielle. Les éléments de différenciation de ces modes de production sont la surface totale des bassins de culture et leurs surfaces unitaires, les moyens et matériaux utilisés, les degrés de technologie et les objectifs. Le processus de fabrication de la spiruline passe cependant par les mêmes étapes obligatoires [19].

### **II.4.1 Production artisanale**

Les fermes artisanales de spiruline sont des systèmes d'exploitation nécessitant un faible apport en énergie [19]. La surface des bassins est très variable, n'excédant pas la centaine de mètres carrés pour une surface totale inférieure à 3000 m<sup>2</sup>. Les moyens mis en œuvre peuvent être rustiques, faisant appel au bon sens et à l'ingénierie [19].

Ripley Fox est un précurseur des projets de culture de la spiruline à l'échelle artisanale pour lutter contre la malnutrition [19]. En 1985, dans le cadre du système de santé villageois intégré, il a proposé une alternative pour la petite production, utilisant les concepts de bioconversion. Son objectif était l'amélioration de l'état de santé des enfants malnutris dans les pays en développement [19]. Plus tard, Jourdan [19], sensibilisé par la thèse de P Bucaille sur l'utilisation de la spiruline pour soigner les enfants atteints de malnutrition sévère (1986-1987), a organisé en 1992 au Zaïre la construction de plusieurs petits bassins. Il a lancé par la suite sur les continents sud-américain (Pérou, Chili) et africain (République Centre Afrique) des productions artisanales de spiruline à vocation humanitaire.

Durant ces dernières années, le nombre de productions artisanales de spiruline n'a cessé de s'accroître, particulièrement dans les pays en développement. C'est grâce à l'appui financier et technique des Organisations Non Gouvernementales (ONG) que ces productions ont vu le jour. L'objectif des ONG est de créer un maximum de fermes aquacoles dans les contrées touchées par la malnutrition, afin de rendre la spiruline accessible aux populations. Sur le continent africain, les fermes existent dans une quinzaine de pays. La culture de spiruline suscite souvent l'intérêt des autorités. En France, une quinzaine de fermes ont été créées suite à l'ouverture en 2004, au Centre de Formation Professionnelle et de Promotion Agricoles (CFPPA) de Hyères, d'une formation à la culture de la spiruline à vocation humanitaire [19].

Les méthodes de production artisanale sont :

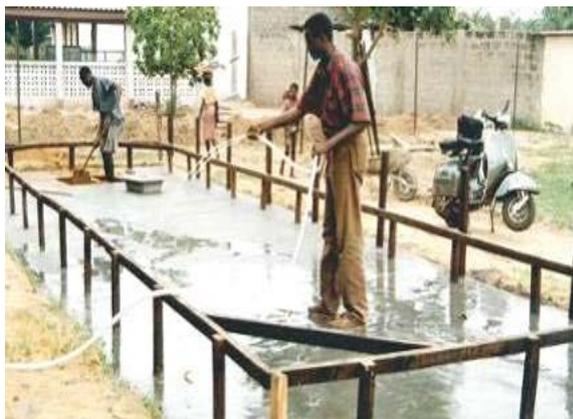
a- Mise en route d'une culture

Pour lancer une production artisanale de spiruline, il faut de l'eau contenant des nutriments, du soleil et une température entre 25 et 40°C. Pour la mettre en place et en assurer le suivi, il faut avoir fait le bon choix du site et des matériaux de construction, disposer de quelques instruments de laboratoire (balance, loupe 19 ou microscope), de quelques outils simples à réaliser, d'intrants (engrais) et d'une souche de spiruline robuste. Le choix du site doit tenir compte [19]:

- du climat : l'exposition au soleil pour un maximum d'intensité lumineuse, la température (au dessous de 20°C, la croissance est stoppée).
- de l'accès à l'eau (cours d'eau, fleuves, puits, mer)
- de la possibilité d'acheter les intrants.

Le choix d'un site pour l'implantation d'une ferme de spiruline en Afrique dépend en outre de la volonté et de la compétence d'un partenaire local et de l'acceptation par les populations locales.

Les bassins peuvent être construits en dur, en argile ou en bâche plastique (Figure 3).



Armature en bois avec lit de cendre



Bâche plastique



Parpaings revêtus de plastique



Béton

**Figure 3** : Exemples de bassins de culture [19]

Actuellement la taille minimale recommandée pour un bassin est de  $60\text{m}^2$ . Les bassins sont remplis d'eau à un niveau atteignant 15 à 20 cm.

Le milieu de culture est modifié la plupart du temps en fonction des disponibilités des intrants [63]. L'agitation des bassins se fait de plus en plus avec une roue à aube ou une pompe, exceptée pour les petits bassins encore agités au balai. Les sites de production ne sont pas toujours situés à proximité d'un gisement naturel de spiruline. Les souches circulent d'une exploitation à l'autre et franchissent les frontières. Lorsque le choix est possible, les souches préférées sont la *Platensis*, la Lonar et la Paracas (considérée à l'heure actuelle comme la plus résistante et la plus productive) [19].

#### b- Récolte et extrusion

Dans de bonnes conditions il est possible de récolter chaque jour 1/6 à 1/3 de la culture. La culture est filtrée à travers deux dispositifs, en général superposés. Le premier est constitué

d'une toile fine (maillage environ 300 µm de vide) 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 [19].

#### c- Séchage et conditionnement

La biomasse est extrudée en spaghettis afin de pouvoir la sécher plus facilement. Elle est mise à sécher dans des séchoirs solaires, à gaz ou électriques. La norme de la teneur en eau de spiruline sèche est inférieure à 10%. En général la spiruline vouée à la commercialisation contient 7% d'eau. Le séchage dans un four jusqu'à 60° semble ne pas modifier de façon notable les propriétés de la spiruline. La spiruline sèche est alors broyée sous forme de poudre ou sous forme de paillettes et conservée dans un récipient étanche à l'abri de l'humidité et de la lumière. La spiruline peut être conditionnée dans des sachets, boîtes ou flacons sous forme de brindilles, de poudre, de gélules et de comprimés [19].

### **II.4.2 Production semi-industrielle et industrielle**

Les systèmes de production semi-industrielle et industrielle se différencient par l'ordre de grandeur de l'investissement, la surface des bassins de culture, le tonnage de production, et la sophistication des techniques de production [19].

Les fermes semi-industrielles sont des systèmes de production qui peuvent être modulaires et démarrer à partir de petites exploitations de type artisanal. Ces fermes sont constituées de bassins de 200 à 1000 m<sup>2</sup> avec une surface totale exploitée entre 3000 m<sup>2</sup> et 1 hectare. Leur capacité de production annuelle est de 10 à 50 tonnes [19].

La demande de spiruline au niveau mondial est en augmentation et certaines exploitations sont passées à une échelle industrielle. Les productions industrielles sont représentées, depuis plus de 20 ans, par de grosses compagnies telles que Earthrise, Cyanotech ou Siam Algae. Une exploitation industrielle, d'une surface totale de plusieurs hectares, peut produire entre 50 et 500 tonnes de spiruline sèche par an. Les bassins ont une surface de 1000 à 5000 m<sup>2</sup>. La plupart des productions industrielles utilisent des systèmes informatisés contrôlant automatiquement la production [19].

### **II.4.3 Production de la spiruline au Sénégal**

Au Sénégal, la spiruline est cultivée au niveau des laboratoires de l'Institut Sénégalais de Recherche Agricole (ISRA) de Bambey grâce à l'Association Education Santé (AES) [38].

Le site de culture dispose de 2 bassins contigus sous serre (figure 4) et de 4 grands bassins