

ECOLOGIE DE *SPIRULINA PLATENSIS* DANS LE MILIEUX NATRONES D'AFRIQUE SAHELIEENNE

A. ILTIS

ORSTOM PARIS

RIASSUNTO

S. platensis (Nord.) Geitler è una specie a larga distribuzione geografica segnalata in Asia (Pakistan, India, Ceylon, Thailandia, Israele), in America del Sud (Uruguay, Perù) e in Africa (Kenya, Egitto, Zaire, Zambia, Etiopia, Sudan, Tchad, Libia), la specie è considerata come una forma delle regioni tropicali e subtropicali. Una specie vicina, *S. geitler*, è segnalata in Messico e in California.

Gli ambienti in cui *S. platensis* si sviluppa massivamente in condizioni naturali si trovano nella zona sudano-saheliana dell'Africa: questa zona semidesertica è caratterizzata da debole piovosità (meno di 300 mm annui), ripartita in 3 mesi dell'anno, con scarti fra un anno e un altro rilevanti (minimi di 46 mm, massimi di 700 mm su 29 anni), da tempi di insolazione elevati (più di 9 ore al giorno in media) e da elevate temperature (temperatura media annua dell'acqua fra 25 e 26° C). Le acque dei laghi a *Spirulina* sono di debole trasparenza, hanno un pH elevato (9,5-11) e tenori in sali disciolti che variano da 8,5 a 200 g/l, con le produzioni più importanti di *Spirulina* alle concentrazioni di 22-60 g/l. Dal punto di vista della composizione chimica delle acque, il sodio è maggiormente rappresentato fra i cationi; è presente il potassio; calcio e magnesio sono inesistenti o in deboli quantità; fra gli anioni, carbonati e bicarbonati sono nettamente dominanti, in alcuni ambienti possono essere presenti in quantità apprezzabili cloruri e solfati.

La densità dei popolamenti a *S. platensis* è funzione della salinità: più questa è elevata, più la densità, nell'ambito dei limiti tollerati di salinità, è importante. La percentuale di organismi estranei, coesistenti con la *Spirulina*, è tanto più bassa, quanto più alto è il tenore di sali disciolti.

Nei laghi temporanei la densità di *S. platensis* è funzione della salinità media e della durata del periodo di acqua. La velocità d'insediamento di *Spirulina* è più rapida che nei laghi permanenti.

RESUMÉ

Ecologia di *Spirulina platensis* negli ambienti ad alcalinità sodica dell'Africa Saheliana

S. platensis (Nordstedt) Geitler est une espèce ayant un large distribution géographique. Elle est signalée en Asie (Pakistan, Indes, Ceylon, Thaïlande, Israël), en Amérique du Sud (Uruguay, Pérou) et en Afrique (Kenya, Egypte, Zaire, Zambie,

Ethiopie, Soudan, Tchad, Lybie). Elle est considérée comme une forme des régions tropicales et sub-tropicales. Une espèce voisine, *S. geitleri* est signalée au Mexique et en Californie.

Les milieux où elle se développe massivement de façon naturelle, se situent dans la zone soudano-sahélienne d'Afrique: cette zone semi-désertique est caractérisée par une pluviométrie faible (moins de 30 mm annuels) répartie sur 3 mois de l'année, avec des écarts interannuels importants (minimum 4 m/m, max. 700 m/m sur 29 ans), des temps d'insolation élevés plus de 9 h par jour en moyenne) et des fortes températures (température annuelle moyenne de l'eau entre 25 et 26°). Les eaux des lacs à spirulines ont des transparences faibles, un pH élevé (9,5 à 11) et des teneurs en sels dissous variant entre 8,5 et 200 g/l, les développements les plus importants de spirulines se produisant entre 22 et 60 g/l. Au point de vue de la composition chimique des eaux, le sodium est le mieux représenté parmi les cations, le potassium est présent, calcium et magnésium sont inexistantes ou en faibles quantités; parmi les anions, carbonates et bicarbonates sont fortement dominants; dans certains milieux, chlorures et sulfates peuvent présenter des proportions appréciables.

La densité des peuplements à *S. platensis* est fonction de la salinité; plus cette dernière est élevée, plus la densité, à l'intérieur des limites de salinité tolérées, est importante. Le pourcentage d'organismes étrangers coexistant avec les spirulines est d'autant plus faible que la teneur en sels dissous est élevée.

Dans les mares temporaires la teneur en *S. platensis* est fonction de la salinité moyenne et de la longueur de la période en eau. La vitesse d'installation des peuplements y est plus rapide que dans les lacs permanents.

Avant que soient abordées dans cette réunion les questions concernant les cultures de spirulines; je voudrais vous entretenir des conditions dans lesquelles l'espèce la plus connue, *Sp. platensis*, se développe naturellement en Afrique sahélienne et particulièrement en république de Tchad.

C'est en effet dans la partie centrale de ce pays, à proximité du lac Tchad, que l'utilisation de cette algue dans l'alimentation humaine, a été observée. En dehors du Tchad, cette spiruline est signalées en Lybie, au Soudan, en Ethiopie et au Kenya, toujours dans des lacs natronés où elle se développe abondamment (Figure 1). En Afrique de plus, les inventaires floristiques font état de sa présence en Zambie, au Congo et en basse Egypte. Ailleurs, elle est trouvée en Israël, au Pakistan, aux Indes, à Ceylon, en Uruguay et au Pérou. Nulle part toutefois, en dehors du Tchad, elle n'est utilisée dans l'alimentation humaine.

Une espèce très voisine, *Sp. geitleri*, est présente en Amérique et principalement au Mexique où des textes datant du 16^{ème} siècle mentionnent la consommation de cette algue par les populations locales habitant l'emplacement de l'actuelle ville de Mexico. Cette espèce fait aussi l'objet de cultures massives.

En ce qui concerne l'écologie de *Sp. platensis* au point de vue physico-chimique, les développements de cette algue se produisent dans les eaux natronées du sud de Sahara et de la zone sahélo-soudanienne qui s'étend plus au sud. Dans la région du lac Tchad, les lacs permanents ou temporaires à spirulines occupent les dépressions d'un système dunaire fossile

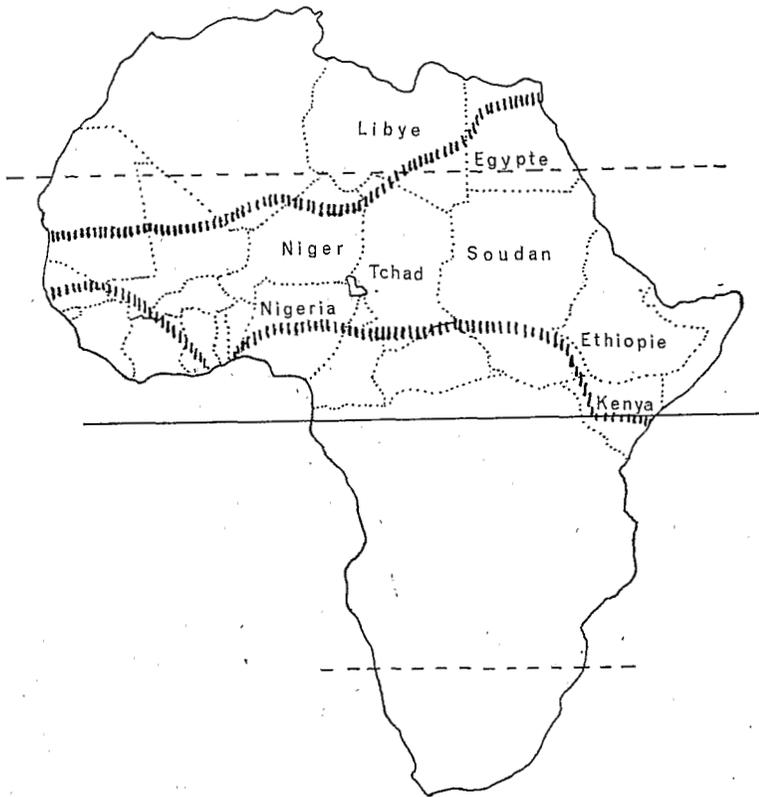


Figure 1. - Carte de l'Afrique avec délimitation approximative de la zone sudano-sahélienne. Les milieux natronés à spiruline sont situés dans les pays de la partie orientale de cette zone.

situé au nord-est de celui-ci. Ces lacs sont alimentés par la nappe phréatique et par les pluies (335 mm en moyenne par an) qui tombent durant une courte saison de trois mois, plus de 50 % des précipitations se produisant en août. L'évaporation moyenne annuelle est de plus de trois mètres.

Les températures de l'eau de ces milieux sont élevées soit plus de 25° de moyenne annuelle (25,3° C. en 1967). L'amplitude des variations moyen-

nes mensuelles est de 10,60° C., l'amplitude des variations absolues est de 20° C. Le maximum intervient en mai-juin, le minimum en janvier. En saison chaude, la température des eaux peu profondes peut atteindre 38° C. dans la journée. En cultures artificielles, d'après ZARROUK, un chercheur de l'Institut Français du Pétrole, 35° C. apparaît comme la température optimale de croissance; au dessous de 20° C., la croissance est très ralenti et même nulle au bout d'un certain temps.

Les pH, sont toujours élevés: ils varient dans les milieux étudiés au Tchad entre 9,5 et 11, les valeurs les plus souvent observées étant de l'ordre de 10,2 à 10,4.

La turbidité est forte en raison de la densité du peuplement algal; le disque de SECCHI disparaît à quelques centimètres de la surface. Nos observations sur les lacs natronés ont montré que les spirulines sont répartiés sur toute l'épaisseur de la couche d'eau et on a jamais observé, même par temps très calmes, la formation d'une nette pellicule d'algues en surface.

L'ensoleillement dans ces régions est en moyenne de plus des 8 h par jour durant l'année.

Pour ce qui est de la teneur globale des eaux en sels dissous, *Sp. platensis* a été inventorié dans des eaux douces mais jamais en quantité; elle est présente dans le lac Tchad, mais à l'état de rareté. En fait, cette *Cyanophycée*, ne se trouve en masse que dans des eaux concentrées de 11 à 115 grammes de sels dissous par litre. La zone optimale de développement se situe entre 22 et un peu plus de 60 grammes de sels par litre, ce qui correspond dans des milieux carbonatés à des conductivités électriques à 25° C. de 25 à 50 millihoms. En culture pure, par suite de l'absence de concurrence, les limites inférieures de salinité pour le développement des spirulines apparaissent plus basses. La salinité maximale tolérée pour le développement de *Sp. platensis* se situe aux environs de 115 g/l.

Au point de vue de la composition ionique des eaux, carbonates et bicarbonates sont dominants en général de façon très marqué, chez les anions SO_4^{--} existe en général en proportions très faibles sauf quelques mares temporaires. La teneur en ions Cl^- est assez variable, presque nulle dans les lacs natronés du Tchad, elle est plus importante sans jamais égaler la teneur en carbonates, dans les eaux natronées d'Ethiopie et du Kenya. Au lac Huacachina au Pérou, la teneur en ions Cl^- égale sensiblement la somme $\text{CO}_3\text{H} + \text{CO}_3$ de même que dans les milieux à *Sp. geitleri* du Mexique.

Parmi les cations, Na^+ est toujours le plus abondant suivi per K^+ en proportions beaucoup moindres: les ions Ca^{++} et Mg^{++} sont toujours dans des proportions négligeables par rapport aux deux autres (Figure 2).

En ce qui concerne la biologie, la principale caractéristique des peuplements à *Sp. platensis* est la densité considérable qu'ils peuvent atteindre durant de longues périodes. Tous les auteurs ayant observé les lacs à spirulines signalent la couleur verte et l'aspect de soupe présenté par ces milieux. Pour estimer la densité des peuplements, la méthode classique

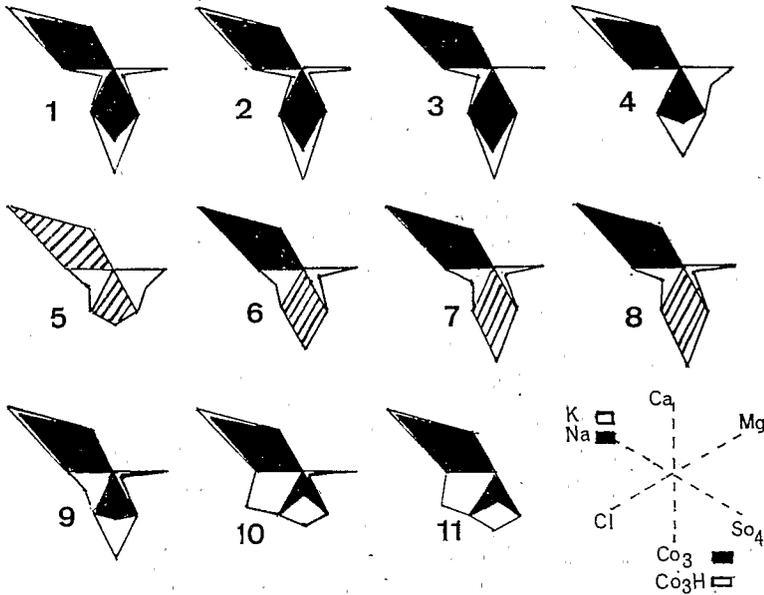


Figure 2. - Représentation graphique (Kufferath) de la composition chimique des eaux de différents lacs à spirulines.

1: Lac de Rombou	}	Tchad (partie centrale)
2: » de Bodou		
3: » temporaire de Liwa		
4: » » » Maou Leila		
5: » Yoan	}	Tchad (partie nord)
6: » Elmenteita		
7: » Nakuru	}	Kenya
8: » Chiltu		
9: » Aranguadi	}	Ethiopie
10: » Huacadhina		
11: » Sosa Texcoco		Pérou Mexique

du comptage des filaments au microscope inversé a été employée; les résultats obtenus ont été convertis en biomasses de matière vivante après estimation du volume moyen des filaments.

Dans les lacs permanents, on peut estimer les teneurs en spirulines vivantes à approximativement 0,5 à 1 gramme par litre. Vers les rives ex-

posées au vent où ces algues s'accumulent, on observe des teneurs très élevées de plus de 20 gr. de spiruline par litre.

Dans les milieux temporaires, les quantités de *Sp. platensis* sont très variables; cette algue n'apparaît que si la durée de la période en eau dépasse quatre mois, des *Chlorophycées* flagellées puis des *Cyanophycées* autres que les spirulines se développant dans les premiers mois suivant la remise en eau. Les densités les plus élevées existent dans la période qui précède l'assèchement, le peuplement d'algue concentré par l'évaporation rapide de l'eau avant l'assec complet, on a dans ce cas trouvé des teneurs de 4 à 5 gr/l au centre des mares.

Des organismes étrangers en plus ou moins grande quantité se trouvent mêlés aux peuplements à spirulines. Ce sont tout d'abord des algues, plus de cent espèces, variétés ou forme ont été inventoriées dans les milieux natronés; les plus fréquentes sont des *Cyanophycées*; plusieurs espèces d'*Oscillatoria*, *Synechocystis salina*, *Anabaenopsis arnoldii*. Ce sont aussi des Diatomées: *Anomoeoneis sphaerophora* et *Navicula halophila*, une *Chrysophycée* du genre *Sphaeroeca* et des *Pyrrhophytes* des genres *Gymnodium* et *Cryptomonas*.

Les Rotifères sont souvent abondants, *Brachionus dimidiatus* principalement; accompagné par *Brachionus plicatilis* et *Hexarthra jenkiniae*. Une sulfo-bactérie, *Lamprocystis roseo-persicina* est parfois très abondante et colore en violet les branchages immergés et la vase humide des rives. Enfin, un certain nombre de débris végétaux, des restes d'insectes, des larves de maustiques ou de chiromnomides et des nématodes aquatiques se trouvent également mêlés aux algues.

D'une manière générale, les proportions de spirulines dans un milieu sont d'autant plus élevées que la teneur en sels dissous, à l'intérieur des limites de salinité tolérées, est forte. On a ainsi observé une teneur moyenne de 98 % de spiruline au cours de l'année pour les lacs d'une salinité moyenne de 40 g/l; cette moyenne tombe à 50 % pour les lacs d'une salinité annuelle moyenne de 18 g/l.

Il serait intéressant de savoir jusqu'à quel point ces impuretés (algues autres que *Spirulina* ou autres organismes) peuvent altérer les qualités nutritives du produit consommé au Tchad.

Il existe peu de connaissances actuellement sur les vitesses de formation ou de renouvellement des peuplements en milieu naturel. Dans les lacs temporaires, la durée de formation d'un peuplement dense à *Sp. platensis* est d'environ deux mois après l'apparition des premières spirales. Dans certains lacs permanents, le peuplement dense reste pratiquement identique

toute l'année avec un léger minimum en saison des pluies. Dans certains lacs, il arrive que le peuplement à spirulines disparaisse totalment pour ne réapparaître qu'au bout de cinq mois au plus. En général, les peuplements des milieux temporaires ont des vitesses de développement les plus rapides.

Avant de terminer, je voudrais vous décrire rapidement l'utilisation local de cette algue au Tchad. Les filaments de spiruline qui montent en surface sont poussés vers la rive par les vents dominants. Ils s'accumulent en soupe épaisse contre la rive exposée au vent. Les riverains récoltent cette pâte molle et la mettent à sécher dans de petites dépressions circulaires peu profondes, de 0,5 à 1 mètre de diamètre, creusées dans la sable de la rive. Ils égalisent à la main la surface exposée au soleil et après quelques instants, y tracent avec le doigt un quadrillage qui leur permettra de fractionner la galette une fois sèches. L'eau qui restait incluse dans la pâte s'infiltré dans le sable et au bout de quelque temps, la surface de la galette desséchée présente la teinte bleu-vert caractéristique des *Cyanophycées*. Elle est alors retirée du sable et fractionnée en un certain nombre de carrés d'environ 10 centimètres de côté sur un à deux centimètres d'épaisseur. Ces morceaux sont exposés au soleil pour un complément de séchage sur une natte ou des herbes coupées. L'inconvénient de ce mode de préparation est que de nombreux grains de sable adhèrent sur toute la partie inférieure du produit. Sur les marchés, la spiruline séchée appelée « Dihé » est vendue par petits tas de morceaux bleu-vert sans forme définie, les carrés existant au départ se fragmentent au cours du transport.

Dans l'alimentation, les spirulines entrent dans la composition de la sause qui accompagne la boule de mil, de maïs ou de blé traditionnelle dans les repas de cette région. Le « dihé » est pilé dans un mortier et la poudre obtenue est versée dans un récipient d'eau et mis à cuire. Les grains de sable adhérant aux galettes restent dans leur plus grande partie au fond du mortier ou du récipient de cuisson et sont éliminés. Le liquide obtenu est ensuite mélangé à du beurre fondu, de la poudre de « gombo » (*Hibiscus esculentus*), des tomates, des oignons et du piment. A ces ingrédients, on peut ajouter selon les disponibilités du moment, des haricots, plus rarement du poisson séché ou de la viande séché.

Le « dihé » entrerait aussi dans la composition de certaines médications locales, mais cette utilisation n'a pu être précisée.

D'après les enquêtes réalisées par des nutritionnistes, la consommation des spirulines du Tchad est strictement limitée au point de vue ethnique et géographique. L'utilisation régulière du « dihé » est surtout le fait de

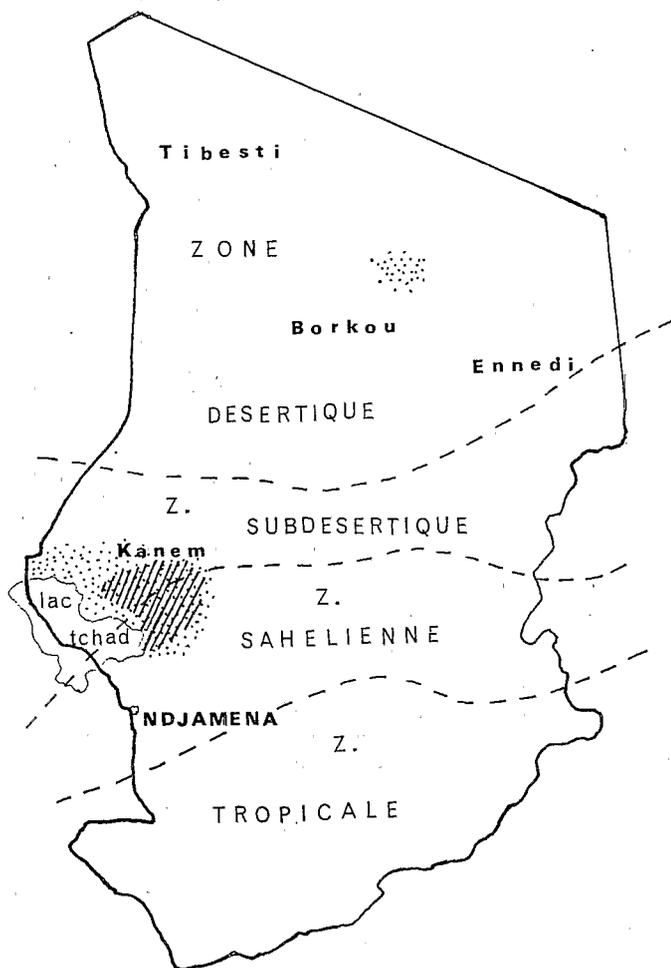


Figure 3. - Carte du Tchad - En piqueté, les zones de lacs à spiruline: en hachuré, la zone où cette algue est utilisée dans l'alimentation.

l'ethnie Kanembou (environ 80.000 personnes), qui occupe le centre de Kanem, région qui borde le lac Tchad au nord-est (Figure 3).

Les quantités consommées par personne et par repas varient entre 9 et 13 g. Les spirulines constituent en fait le principal composant de la sauce consommée et non un simple condiment.

Le principal problème pour accroître la consommation de spiruline sur place paraît être de réussir à adopter le « dihée - aux goûts et aux habitudes alimentaires d'un nombre d'habitants plus important que celui existant actuellement.

NO
5/11/82

A. ILTIS



ECOLOGIE DE **SPIRULINA PLATENSIS**
DANS LE MILIEUX NATRONES D'AFRIQUE SAHELIENNE

Estratto da
Atti del Convegno « Prospettive della coltura di Spirulina in Italia »
Firenze, 20-21 Novembre 1980

Tipografia Coppini - Firenze

1 9 8 1

B.

B 2236
ex 1