

PHYTOPLANCTON DES EAUX NATRONÉES DU KANEM (Tchad)

X. CONCLUSIONS (1)

A. ILTIS

Hydrobiologiste, Centre O.R.S.T.O.M., B.P. 65, N'Djaména (Tchad)

RÉSUMÉ

La flore algale des eaux natronées du Kanem ne présente pas un caractère tropical bien marqué. Les Cyanophycées composent en général la majeure partie de la biomasse phytoplanctonique. Une corrélation positive existe entre la densité algale et la teneur en sels du milieu. Les valeurs de l'indice de diversité spécifique de même que celles de la constante de Motomura ou constante de milieu diminuent en relation avec l'accroissement de la salinité.

Suivant la salinité et les caractéristiques phytoplanctoniques, on peut distinguer pour les pièces d'eau permanentes prospectées, trois grandes zones biologiques. Les eaux temporaires forment des milieux où les peuplements évoluent rapidement et continuellement.

ABSTRACT

The algal flora of natroned waters of Kanem near the Chad lake does not offer a well pronounced tropical character. Cyanophyta generally compose the major part of the phytoplanktonic biomass. A positive correlation exists between the algal density and the saline concentration of water. Specific diversity and Motomura's constant (or « constante de milieu ») are decreasing in relation to the increase of salinity.

According to the salinity and the biological characteristics, three biological zones may be defined among the prospected permanent lakes. In the temporary ponds, algal populations evolve rapidly and continually.

L'étude d'une série de pièces d'eaux natronées possédant des concentrations en sels très diverses a permis l'inventaire de la flore algale existant dans ces milieux et la mise en évidence des modifications dues à l'accroissement de la teneur en sels dissous sur un peuplement algal à l'origine identique pour tous les milieux; les eaux du lac Tchad ont en effet plusieurs fois envahi cette région au cours des transgressions du quaternaire récent.

I. COMPOSITION DE LA FLORE.

La flore ne présente pas dans son ensemble un caractère tropical bien marqué, elle a une composition

moyenne particulière qui la différencie des flores algales des régions voisines et qui est la suivante :

- 20 % de Cyanophycées ;
- 38 % de Diatomées ;
- 36 % de Chlorophycées (avec 10 % de Desmidiées) ;
- 6 % pour l'ensemble des divers autres groupes.

Si l'on compare la composition des flores algales natronées répertoriées hors du Tchad avec celle du Kanem, c'est la flore des lacs de la vallée du Rift en Afrique orientale qui se rapproche le plus de celle

(1) Cette étude sur le phytoplancton des eaux natronées a constitué le manuscrit d'une thèse de doctorat d'État soutenue le 17 janvier 1974 à l'Université de Paris VI.

du Kanem, 59 % des taxons inventoriés dans les lacs de cette vallée ayant été retrouvés dans les eaux natronées tchadiennes. Si l'on considère la composition spécifique des différents groupes d'algues :

- 70 % des Cyanophycées ;
- 65 % des Diatomées ;
- 48 % de Chlorophycées ;
- 75 % des divers autres groupes de cette région du Kénya ont été recensés au Kanem.

Pour les autres lacs natronés analysés, 38 % des espèces inventoriées dans la région du Grand Coulee aux États-Unis et respectivement 33 et 40 % des taxons récoltés dans deux séries de lacs hongrois ont été retrouvés au Tchad. Ce sont en général les Cyanophycées et les Diatomées qui ont le plus fort pourcentage d'espèces communes aux différentes régions.

De l'analyse de l'ensemble des taxons inventoriés, il ressort que seulement quatre de ceux-ci apparaissent dans l'état actuel de nos connaissances, plus spécialement liés aux eaux natronées tropicales représentées ici par les mares du Kanem et les collections d'eau de la vallée du Rift. Ce sont : *Anabaenopsis arnoldii*, *Oscillatoria platensis*, *O. platensis f. minor*, *Cymbella muelleri*. De plus, *Amphora ovalis var. libyca* et *Melosira granulata*, espèces présentes dans les eaux à faible concentration en sels dissous et signalées habituellement comme cosmopolites, n'ont été recensées dans le cas présent que dans les milieux tropicaux. Les évaluations de densité phytoplanctonique par espèce mettent en évidence la forte proportion d'*Anabaenopsis arnoldii* et d'*Oscillatoria platensis* dans les peuplements tropicaux.

II. ANALYSE QUANTITATIVE DU PHYTOPLANCTON.

Les biomasses algales présentes sont dans l'ensemble importantes, elles atteignent en général 0,5 à 1 g/l dans les lacs permanents fortement natronés (milieux poly et eucarbonatés) où domine *Oscillatoria platensis*. Dans les eaux oligocarbonatées, les densités d'algues sont bien plus faibles et se situent autour de 3 à 4 mg/l. Il existe entre le biovolume algal présent et la teneur en sels dissous du milieu une relation directe qui s'énonce pour les lacs permanents sous la forme $\log B$ (densité algale en $\mu\text{l/l}$) = $0,63 \log C$ (concentration totale en sels en g/l) + 1,85. Au-dessous de 2 g/l environ, on ne peut établir de corrélation entre la teneur en sels et le volume d'algues présent. Dans les mares temporaires, les densités sont en général moins élevées; la droite de régression obtenue a pour équation $\log B = 0,84 \log C + 0,96$. Durant la phase ultime de la période en

eau toutefois, sous l'action de l'évaporation qui concentre les peuplements existants, la densité algale dans ces milieux peut atteindre des valeurs équivalentes à celles des lacs permanents.

Les Cyanophycées composent presque entièrement la biomasse végétale partout où la teneur en sels dépasse un gramme par litre; les rares périodes où les algues bleues sont relativement peu abondantes correspondent à des époques d'évolution rapide des conditions de milieu, comme c'est le cas par exemple dans les mares temporaires au début de la mise en eau ou juste avant l'assèchement.

Lors du passage des eaux douces aux eaux les plus fortement natronées, l'examen des échantillons laisse apparaître les dominances successives d'un certain nombre d'espèces qui se relaient pour former la majorité de la biomasse (fig. 1). À partir des données des seuls lacs permanents, les biotopes temporaires formant un type de milieu distinct, on a reporté tous les biovolumes des espèces ayant une densité supérieure à 1 microlitre par litre. On a ensuite relié entre elles toutes les valeurs maximales pour chaque espèce et à partir de là tracé en passant au plus près de ces points une courbe qui délimite ainsi approximativement la répartition de chaque taxon vis-à-vis de la concentration totale en sels dissous. Les dominances successives de *Synechocystis salina*, *Oscillatoria platensis f. minor* et *O. platensis* sont très apparentes tandis que plusieurs autres espèces, *Oscillatoria laxissima*, *Navicula halophila*, *Chroococciopsis cf. thermalis* montrent des maximums bien marqués; *Anabaenopsis arnoldii* couvre un plus large éventail de salinités.

La présence d'un rythme saisonnier dans le développement algal, phénomène déjà habituellement peu marqué dans les eaux tropicales, n'a pas été observée dans les lacs étudiés. Dans les mares temporaires, les variations de salinité liées aux différentes phases du remplissage ou de l'assèchement font évoluer les communautés algales durant la période en eau suivant un rythme assez régulier pouvant être assimilé à un rythme saisonnier, mais cette évolution est souvent perturbée par des phénomènes d'inertie biologique et des inégalités dans la durée de la période inondée.

La structure des peuplements évolue en relation avec l'augmentation de la concentration en sels; on constate dans les lacs permanents une diminution des valeurs de l'indice de diversité spécifique parallèlement à l'accroissement de salinité; dans les lacs eucarbonatés, les peuplements sont pratiquement monospécifiques et la diversité est nulle. L'étude des différentes distributions spécifiques a montré que le modèle log-linéaire de Motomura (MOTOMURA 1932, INAGAKI 1967) pouvait s'ajuster à la plupart de celles-ci; la constante de milieu m ou constante de Motomura est d'autant plus faible que la concen-

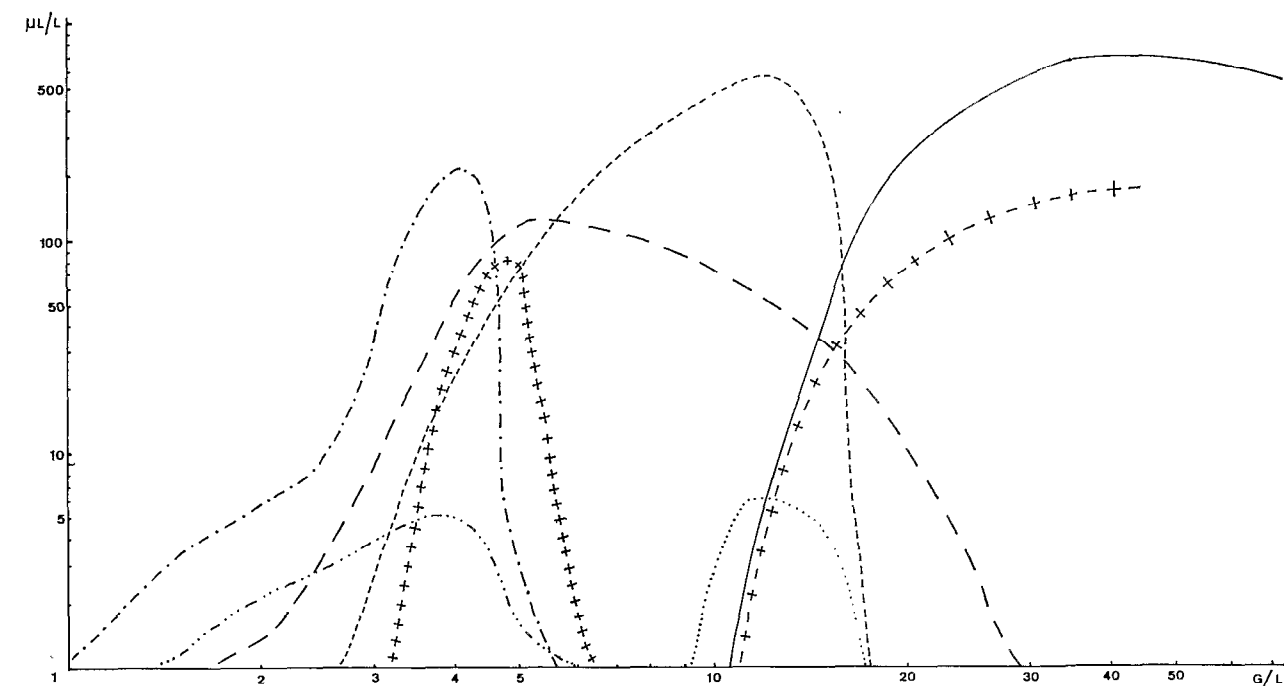


Fig. 1. — Biovolume des espèces en fonction de la teneur en sels dissous du milieu :

.....	<i>Synechocystis salina</i>	+++++	<i>Navicula halophila</i>
-----	<i>Oscillatoria laxissima</i>	<i>Chroococciopsis cf. thermalis</i>
- - - - -	<i>Anabaenopsis arnoldii</i>	—————	<i>Oscillatoria platensis</i>
- · - · -	<i>Oscillatoria platensis f. minor</i>	+ - + - +	<i>Cryptomonas sp.</i>

tration en sels est forte, la relation pouvant s'exprimer suivant l'équation suivante : $m = -0,029 C$ (salinité en g/l) $+0,55$.

III. REMARQUES GÉNÉRALES SUR LES PEUPELEMENTS ÉTUDIÉS.

Pour l'ensemble des peuplements étudiés, on peut distinguer au point de vue biologique trois grandes zones. Ces divisions apparues lors de l'étude qualitative de la flore ont été confirmées par l'étude quantitative des échantillons. La répartition de ces zones s'effectue de la façon suivante :

— La première comprend les eaux douces fortement minéralisées jusqu'à un maximum de 2 à 2,5 g/l de résidu sec. Cette limite, d'abord fixée entre 3 et 4 g/l à la suite de l'examen qualitatif de la flore a été abaissée de un gramme environ après l'analyse quantitative des prélèvements. Le peuplement algal est très varié.

— La seconde zone s'étend de 2,5 à 30 g/l de concentration saline; c'est une zone moyenne qui

peut se subdiviser en deux : domaine mésocarbonaté et domaine polycarbonaté. Les Cyanophycées y sont dominantes.

— La dernière enfin, s'étend au delà de 30 g/l où les populations algales deviennent pratiquement monospécifiques.

Comparé avec les différentes classifications biologiques proposées pour les eaux saumâtres ou salées continentales, en particulier par BEADLE (1959), le découpage effectué ici est sensiblement identique à celui défini pour les eaux saumâtres. En fait, il apparaît que chaque auteur, suivant le groupe animal ou végétal et le type de milieu sur lequel il travaille parvient à une classification dans laquelle le partage des zones est dans la plupart des cas original. Il y a donc lieu de considérer pour l'instant ces classifications biologiques seulement comme un moyen pratique pour la présentation des résultats obtenus et la caractérisation des biotopes étudiés. L'écologiste qui aborde l'étude d'un ensemble de biotopes ayant des salinités très diverses doit a priori choisir une classification parmi celles qui ont été établies pour les eaux salées d'après leurs caractéristiques physico-chimiques (celle du Symposium

de Venise en 1958 par exemple) afin d'organiser le déroulement de ses travaux. Une fois acquise une bonne connaissance biologique des milieux, des zones ou domaines biologiques peuvent être délimités, se superposant ou se substituant au classement adopté au départ. La difficulté, non encore résolue jusqu'à présent semble-t-il, réside dans la définition d'une classification biologique générale en accord avec ces classifications propres à des ensembles d'organismes ou à des régions.

Dans notre cas, le classement des eaux saumâtres a été choisi a priori, puis trois grandes zones ont été définies, les deux premières se subdivisant d'après les espèces dominantes présentes en deux sous-zones de sorte que l'ensemble de la classification finale obtenue se superpose approximativement avec celle des eaux saumâtres. Chacune de ces zones peut être caractérisée par un groupe d'espèces qui y trouve les conditions optimales pour son développement. Ces groupements spécifiques ont été décelés au cours de cette étude par observation directe et confirmés grâce aux recherches des corrélations et à l'analyse multivariable.

Dans les mares temporaires, les observations montrent que lorsque la concentration en sels dissous du milieu varie de façon rapide (soit un gradient de 3 à 10 au cours d'un mois), la répartition des taxons par rapport à celle-ci apparaît très différente de ce qu'elle est dans les lacs permanents : par un phénomène d'inertie des peuplements en place, des variations rapides de salinité n'entraînent pas de modifications spécifiques identiques à celles causées par une lente évolution, montrant ainsi l'importance du facteur temps dans les phénomènes écologiques. Chaque organisme présent a la possibilité de supporter durant une période assez longue un accroissement ou une diminution de la concentration du milieu et de se maintenir en quantité même si certaines fonctions du métabolisme — croissance, reproduction — sont inhibées. La présence, vis-à-vis d'un facteur de milieu, d'une zone optimale de développement encadrée par deux zones d'inactivité où l'organisme considéré parvient seulement à survivre est un fait connu en écologie, les valeurs létales représentant les limites extrêmes de l'ensemble de la zone optimale de développement et des deux zones supérieures et inférieures d'inactivité. Toutefois dans le cas de la salinité vis-à-vis des algues des eaux natronées, les zones d'inactivité, et particulièrement celle située au-dessus de la zone optimale, apparaissent particulièrement étendues lors des variations rapides de la concentration en sels du milieu. La comparaison des tolérances à la salinité observées chez *Anabaenopsis arnoldii* dans des lacs natronés permanents et dans des mares temporaires (fig. 2) illustre ce fait. Cette Cyanophycée qui, dans des milieux relativement stables n'apparaît

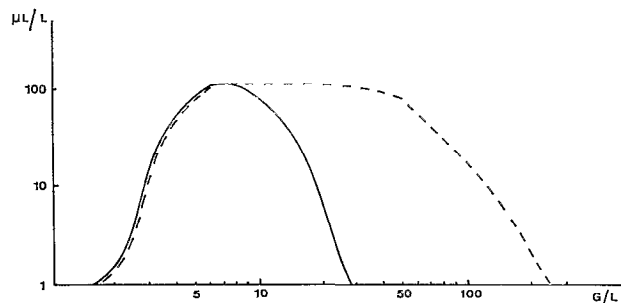


Fig. 2. — Tolérances à la salinité d'*Anabaenopsis arnoldii* :
 — dans les lacs permanents
 - - - dans les mares temporaires
 Les valeurs correspondant aux fins de période en eau ont été retirées.

pas au-delà de 30 g/l parvient à se maintenir temporairement par des salinités de plus de 100 g/l. Il en est de même pour *Oscillatoria platensis* observé vivant dans des fonds de mare concentrés à plus de 200 g/l alors qu'il s'agissait manifestement de peuplements formés au moment de la période de pleine eau qui se maintenaient à ces fortes concentrations. Il en résulte que les mares temporaires peuvent présenter à un temps donné des peuplements dont la composition peut amener à des conclusions erronées sur la biologie des espèces vis-à-vis de la salinité.

Il y a donc lieu, pour fixer les relations exactes d'une espèce avec la concentration saline dans des milieux où celle-ci est très fluctuante, d'observer les limites de tolérance apparentes basées sur la simple présence ou absence de cette algue dans le milieu et par ailleurs de définir les limites de tolérance réelles entre lesquelles elle peut avoir une croissance normale et se multiplier. Ces dernières ne peuvent être définies que par des observations *in situ* pendant une période de temps assez longue ou grâce à des expérimentations sur des cultures.

Les principales différences qui, à salinité moyenne égale, séparent au point de vue phytoplanctonique les milieux temporaires des milieux permanents peuvent se résumer en quatre points principaux ; on constate en effet que dans les mares temporaires :

— le nombre de taxons présents au cours d'une période en eau est plus élevé, l'éventail de salinités étant beaucoup plus ouvert ;

— la structure des populations est instable et de fréquents changements apparaissent dans la composition du peuplement tant qualitativement que quantitativement ;

— la multiplication des espèces est en général plus rapide que dans les lacs permanents ;

— enfin les biovolumes d'algues présents sont en général plus faibles.

Certains auteurs (ROEN 1955, WILSON 1958, BAYLY 1964, COLE 1966) travaillant principalement sur les crustacés en régions désertiques, ont fait état de différences morphologiques, principalement des variations de taille, entre les spécimens vivant dans des milieux temporaires et ceux des lacs permanents. Nous n'avons pas observé ici de telles différences chez quelque espèce que ce soit. Le caractère aléatoire à l'échelle biologique du classement des milieux en mares temporaires et lacs permanents, consécutif à l'existence de phases climatiques tantôt sèches, tantôt humides s'étendant sur quelques années, l'imbrication des deux types de milieux dans cette région du Kanem permettant des passages éventuels de flore de l'un à l'autre, font paraître

bien improbable la présence de différences génétiques chez les algues peuplant ces deux sortes de milieux.

Enfin, on peut estimer que le seuil de salinité au-dessus duquel l'influence de celle-ci apparaît prépondérante sur le peuplement algal se situe à deux grammes par litre environ. Au-dessous de cette limite les phénomènes dus aux variations de la concentration en sels dissous peuvent être plus diffus et même masqués par l'action d'autres facteurs biologiques ou physico-chimiques. Les études entreprises sur le lac Tchad où la concentration saline varie, pour un niveau de remplissage moyen, de 0,06 à 1,3 g/l suivant les endroits, permettront de vérifier ce fait. Au-dessus de 2 g/l, la salinité joue un rôle prépondérant avant de devenir le facteur essentiel dans les milieux les plus natronés.

Manuscrit reçu au S.C.D. le 18 octobre 1974.

BIBLIOGRAPHIE

- BAYLY (I. A. E.), 1964. — Chemical and biological studies on some acidic lakes of east Australian sandy coastal lowlands. *Aust. J. mar. Freshwat. Res.*, 15 : 56-72.
- BAYLY (I. A. E.), 1969. — The occurrence of calanoid copepods in athalassic saline waters in relation to salinity and anionic proportions. *Verh. int. Verein. Limnol.*, 17 : 449-455.
- BEADLE (L. C.), 1959. — Osmotic and ionic regulation in relation to the classification of brackish and inland saline waters. *Arch. Oceanogr. Limnol.*, 11 (suppl.) : 143-151.
- COLE (G. A.), 1966. — Contrasts among calanoid copepods from permanent and temporary ponds in Arizona. *Am. Midland Nat.*, 76 : 351-368.
- ILTIS (A.), 1974. — Le phytoplancton des eaux natronées du Kanem (Tchad). Influence de la teneur en sels dissous sur le peuplement algal. Thèse Doctorat, n° A.O. 9523, Paris, 313 p.
- INAGAKI (H.), 1967. — Mise au point de la loi de Motomura et essai d'une écologie évolutive. *Vie et Milieu*, B, 18, 1 : 153-166.
- MOTOMURA (I.), 1932. — Étude statistique de la population écologique. *Doobutu-gaku Zasshi*, 44 : 379-383.
- ROEN (U.), 1955. — On the number of eggs in some free living freshwater copepods. *Verh. int. Verein. Limnol.*, 12 : 447-454.
- WILSON (M. S.), 1958. — New records and species of Calanoid Copepods from Saskatchewan and Louisiana. *Canad. J. Zool.*, 36 : 489-497.