

ALGUES DES EAUX NATRONÉES DU KANEM (TCHAD)

2^e Partie

A. ILTIS*

Hydrobiologiste de l'O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy (Rép. du Tchad)

RÉSUMÉ

La flore algale des eaux natronées du Kanem comprend deux cinquièmes de Diatomées, un tiers de Chlorophytes et un quart de Cyanophytes. Les Desmidiées forment une part très faible de la flore ; Chrysophycées et Xanthophycées sont pratiquement absentes. Quelques espèces de Diatomées marines ont été observées mais leur présence paraît accidentelle.

L'ensemble des taxons ne présente pas un caractère tropical bien marqué ; de plus, les caractéristiques spéciales des milieux donnent à la flore un aspect particulier différent de celui existant dans les eaux voisines mais concordant avec celui trouvé pour les eaux natronées du Kenya, de Hongrie ou des États-Unis. Les Chlorophytes sont abondantes dans les milieux oligocarbonatés (1) mais les Cyanophytes supportent les plus grandes variations de salinité.

L'accroissement de la concentration en sels entraîne une diminution du nombre de taxons présents et des changements de la composition qualitative de la flore algale ; mais ces modifications se font avec des paliers entre lesquels l'évolution du peuplement est rapide. Trois zones de salinité peuvent être définies :

1. Les eaux douces fortement minéralisées (jusqu'à 3 ou 4 g/l) avec presque toutes les espèces existant habituellement dans les eaux douces. Le nombre de taxons présents n'est pas inférieur à 200.

2. Les eaux moyennement salées (entre 4 et 30 g/l) où Euglénophytes et Chlorophytes ont presque totalement disparu. Le nombre de taxons présents varie entre 50 et 100.

3. Les eaux fortement salées (plus de 30 g/l) ayant une flore composée principalement de Cyanophytes et de Diatomées. Le nombre de taxons présents est bas, 40 à 50 étant un maximum.

Chacune de ces trois zones est caractérisée au point de vue algal par quelques espèces, ou quelquefois une seule, qui forment des peuplements très denses.

SUMMARY

The algal flora of natroned waters near the Chad lake is composed of 2/5 of Diatoms, 1/3 of Chlorophyta and 1/4 of Cyanophyta. Desmids constitute a very slight part of the flora, Chrysophyceae and Xanthophyceae are almost completely absent. Several species of marine Diatoms have been observed, but their presence seems accidental.

The whole of the taxa does not offer a well pronounced tropical character ; moreover, the special characteristics of the waters give to the flora a particular aspect different from that of the phytoplankton of neighbouring countries but in suit with the one existing in natroned waters of Kenya, Hungary or U.S.A. Chlorophyta are abundant in the oligocarbonated waters but Cyanophyta are tolerating the widest variations of salinity.

(1) On se reportera à la première partie de ce travail (*Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol., VI, 3-4*) pour la classification des différents milieux d'après leur teneur en sels dissous.

The increase of saline concentration is the cause of a diminution of the number of present taxa and of changes in the qualitative composition of algal populations; but these modifications are made with intermediate degrees between which the evolution of the populations is fast. Three zones of salinity may be defined:

1. Strongly mineralized freshwaters (up to 3 or 4 g/l) with nearly all the species living usually in freshwaters. The number of present taxa is not below two hundred.

2. Moderately salt waters (between 4 and 30 g/l) where Euglenophyta and Chlorophyta have disappeared almost completely. The number of present taxa is varying between 50 and 100.

3. Strongly salt waters (over 30 g/l) having a flora with Cyanophyta mainly and Diatoms. The number of present taxa is low, 40 to 50 being a maximum.

Each of these three zones is characterised, from an algal point of view, by a few species, or sometimes only one, in very high density.

TABLE DES MATIÈRES

1. REMARQUES GÉNÉRALES SUR LA FLORE.

Composition du peuplement.

Biogéographie.

Analyse comparative de la flore.

Comparaison avec des flores tropicales voisines.

Comparaison avec diverses flores des eaux natronées.

2. TOLÉRANCES A LA SALINITÉ DES DIFFÉRENTES ESPÈCES.

Chlorophytes.

Chromophytes.

Chrysophycées.

Xanthophycées.

Diatomophycées.

Pyrrhophytes.

Dinophycées.

Euglénophytes.

Cyanophytes.

Conclusions.

3. INFLUENCE DE LA SALINITÉ SUR LA FLORE ALGALE.

Variations du nombre de taxons.

Variations de la composition qualitative des peuplements.

Cas des mares temporaires.

Conclusions.

4. OUVRAGES CONSULTÉS.

1. REMARQUES GÉNÉRALES SUR LA FLORE

Composition du peuplement

Avec environ 514 espèces, formes et variétés inventoriées, la flore des milieux natronés étudiés se révèle assez variée ; en particulier les lacs oligo-carbonatés (1) se montrent riches en espèces et leur flore se rapproche de celle du lac Tchad autant que les connaissances actuelles sur le phytoplancton de ce dernier permettent la comparaison (2). De plus, il faut tenir compte du fait que les flagellés n'ont pu être répertoriés, les études ayant porté sur du matériel fixé. Les taxons déterminés se répartissent comme suit entre les différentes classes d'algues :

TABLEAU 1

	Nombre de taxons	%
Cyanophytes.....	97	18,7
Euglénophytes.....	52	10,2
Chromophytes.....		
Diatomophycées.....	209	40,7
Chrysophycées.....	1	0,3
Xanthophycées.....	1	
Pyrrhophytes.....	5	0,9
Chlorophytes.....		29,2
Volvocales.....	6 ?	1,1
Chlorococcales.....	83	16,4
Ulothricales.....	3	0,8
Ulvales.....	1	
Chaetophorales.....	4	0,8
Oedogoniales.....	2	0,4
Zygnématales.....	50	9,7
(dont Desmidiacées).....	45	8,8

Le groupe le plus important est celui des Diatomées qui forme les 2/5 de l'ensemble ; les Naviculales sont l'ordre le mieux représenté avec 143 taxons qui se répartissent en 92 Naviculacées, 10 Epithémiacées, 26 Nitzschiacées et 15 Surirellacées ; les Diatomales et les Coscinodiscales viennent ensuite avec respectivement 25 et 23 taxons. Les Chlorophytes forment un peu moins du tiers de la flore ; les Chlorococcales sont les plus abondantes avec 83 taxons sur 149 avec, classés par ordre d'importance décroissante, Scenedesmacées, Oocystacées, Chlorococcacées, Hydrodictyacées, Dictyosphaeria-

(1) Cf. note infrapaginale p. 25.

(2) Seuls les travaux de COMPÈRE sur la flore algale du lac Tchad parus en 1967 étaient connus lors de la rédaction de ce travail.

cées, Micractiniacées, Palmellacées ; les Zygnématales groupent 50 taxons dont 45 Desmidiacées. Un peu moins du 1/5 de la flore est composé de Cyanophytes ; Chroococcales et Nostocales sont les deux groupes les plus importants, les premières avec 25 taxons dont 24 Chroococcacées, les secondes avec 71 dont 52 Oscillatoriacées, 16 Nostocacées, 2 Microchaetacées et 1 Rivulariacée. Les Euglénophytes, enfin, groupent 52 taxons, soit 1/10 environ de la flore, répartis en 18 *Trachelomonas*, 15 *Phacus*, 10 *Euglena* et 8 divers.

On remarquera la proportion relativement faible des Desmidiées qui ne forment que 8,8 % du total des espèces alors qu'elles représentent, d'après les échantillons étudiés par COMPÈRE en 1967, 41,4 % de la flore du lac Tchad. Le fait que la plupart des Desmidiées soient acidophiles et supportent mal les eaux alcalines à forte concentration en sels explique facilement leur raréfaction. On notera aussi l'absence presque complète des Chrysophycées et des Xanthophycées, classes représentées chacune par un seul taxon. Ce sont des groupes dont on ne trouve en général que très peu d'espèces dans les eaux tropicales, leurs préférences allant aux eaux à basse température. Les valeurs toujours supérieures à 4, même dans les lacs oligo-carbonatés, de l'indice combiné (Myxophycées + Chlorococcales + Centrales + Euglénacées / Desmidiacées) défini par NYGAARD (1955) confirment le caractère nettement eutrophe de ces eaux.

La présence de plusieurs espèces marines dans des eaux natronées à plus de 1000 km de l'océan paraît assez surprenante. Dix taxons ont ainsi été inventoriés la plupart du temps dans des lacs oligo-carbonatés : *Actinoplychus senarius*, *Coscinodiscus eccentricus* var. *fasciculatus*, *C. radiatus*, *Cyclotella striata*, *Biddulphia tridens*, *Dimerogramma marinum*, *D. marinum* f. *lanceolatum*, *Fragilariopsis rhombica*, *Grammatophora hamulifera*, *Raphoneis nitida*. Il s'agit de Diatomées des régions littorales, quelques-unes étant trouvées dans les zones d'estuaire le plus souvent des mers chaudes du sud de l'Europe ou des régions tropicales. Le cas de *Fragilariopsis rhombica* est un peu particulier : espèce signalée des mers antarctiques, elle a été retrouvée dans une lagune d'Afrique du Sud. Certaines de ces espèces sont très rares et n'ont été récoltées qu'en un ou deux exemplaires : c'est le cas de *Biddulphia tridens*, *Dimerogramma marinum*, *D. marinum* f. *lanceolatum*, *Grammatophora hamulifera*, *Raphoneis nitida* ; d'autres telles *Actinoplychus senarius*, *Coscinodiscus eccentricus* var. *fasciculatus*, *Cyclotella striata*, *Fragilariopsis rhombica* sont beaucoup moins rares ; enfin *Coscinodiscus radiatus* est abondant dans certaines récoltes du Troisième barrage.

Le fait que beaucoup de ces formes aient été

trouvées souvent à l'état de débris laisse supposer que certaines espèces ne vivent pas dans les eaux oligocarbonatées où elles ont été récoltées mais qu'elles se sont développées dans ce milieu à un moment où celui-ci présentait une concentration en sels différente, les lacs étudiés pouvant être sujets à des fortes variations de la teneur moyenne en sels en l'espace de quelques années.

Des Diatomées marines ont été aussi observées dans plusieurs mares de l'Ennedi, région désertique située à 900 kilomètres au nord-est du Kanem (COMPÈRE, 1970). Un fait identique est mentionné par BAILEY (1922) dans les lacs carbonatés ou sulfatés du Saskatchewan, au Canada central où un certain nombre de Diatomophycées marines ont été découvertes. Au Kanem il faut signaler de plus dans le lac de Yoursoula de nombreux restes de Silicoflagellés marins des genres *Dictyocha* et *Distephanus* (*Dictyocha fibula* Ehr. et *Distephanus speculum* (Ehr.) Haeckel probablement).

L'origine de ces formes marines dans les bassins endoréiques de la zone sud saharienne ne peut s'expliquer que par des apports accidentels dus par exemple au transport de formes de résistance par des animaux migrants. La zone étudiée est située sur le passage de nombreuses migrations aviennes (GILLET, 1960; LÉVÊQUE, 1967) qui s'effectuent suivant l'axe Golfe de Guinée-Méditerranée (28 % de migrants d'Europe tempérée et boréale dans l'avifaune de l'Ennedi d'après un inventaire effectué en 1957-1958). Les algues dont les formes de résistance sont apportées dans ces lacs par les oiseaux aux cours des étapes de leurs migrations peuvent se développer durant des périodes plus ou moins longues. MANGUIN et LÉBOIME (1948) signalent ainsi le développement de Diatomées marines apportées par des mouettes dans les bassins d'eau douce du jardin du Muséum à Paris. La présence de Diatomées marines dans les eaux douces ou salées du Kanem pourrait donc s'expliquer de la même façon.

Le pourcentage des espèces nouvelles inventoriées n'atteint pas un pour cent même en ajoutant aux espèces dont la diagnose a été récemment publiée (ILTIS 1971) celles incomplètement définies pour être correctement décrites, soit une valeur faible par rapport aux 20 et 18 % de nouveautés trouvées respectivement dans les flores algales étudiées au Mali et en Côte d'Ivoire par BOURRELLY (1957, 1961). Dans les récoltes du Sahara et du lac Tchad et dans les eaux de l'Ennedi (COMPÈRE 1967, 1970), ce pourcentage tombe à 5 et 3 %. Le petit nombre d'espèces nouvelles peut s'expliquer par les deux raisons suivantes. La flore des mares natronées, surtout dans les lacs oligocarbonatés les plus riches en nombre d'espèces présente des affinités très nettes avec celle du lac Tchad dont elle est originaire, les

eaux du lac ayant au cours des nombreuses transgressions qui marquent son histoire, envahi les dépressions du Kanem. Les algues du lac et de ses environs ayant fait l'objet d'un premier inventaire assez important, la flore peut être considérée comme déjà assez bien connue, et présentant un caractère tropical moins marqué qu'en Côte d'Ivoire ou au Mali, elle comprend de nombreux taxons cosmopolites. Enfin, il est connu que les algues montrent dans les eaux à salinité variable un assez grand polymorphisme : nous avons tenu compte de ce fait en évitant de créer des formes et des variétés nouvelles pour des modifications peu importantes de forme ou de taille constatées chez quelques spécimens.

Biogéographie

Sur les 514 taxons déterminés, 49, soit 9 %, ont une répartition géographique mal définie, 396 sont cosmopolites soit 78 % et 69, soit 13 %, sont pantropicaux. Parmi ces derniers, on trouve aussi bien des algues connues des régions chaudes d'Afrique que d'Asie et d'Amérique. Ce pourcentage de formes tropicales apparaît faible comparé à celui existant dans la flore algale de différentes régions de l'Afrique. Dans des récoltes de la région de Macina au Mali, BOURRELLY (1957) trouve, en incluant les taxons nouvellement inventoriés, 53 % d'algues pantropicales ; en Côte d'Ivoire, ce pourcentage est de 34 % (BOURRELLY 1961). Toutefois ces proportions ont été établies sans tenir compte des Diatomées qui n'ont pas été étudiées. Dans l'Ennedi, COMPÈRE (1970) trouve 18 % de formes tropicales dans la florule récoltée par le professeur MONOD.

Les Desmidiées étant considérées comme un bon indicateur de répartition géographique, nous avons appliqué, malgré le nombre relativement peu élevé de taxons de ce groupe dans nos échantillons, les indices empiriques proposés par BOURRELLY dans ses travaux sur la flore algale du Mali. Ajoutons que les Desmidiées sont parmi les algues des flores tropicales un des groupes relativement les mieux connus et qui permet donc des comparaisons entre différentes régions. Ces indices s'obtiennent en calculant le pourcentage de chacun des genres dans la flore. Les pourcentages de la somme des taxons de Desmidiées filamenteuses et de *Pleurotaenium* et de la somme Desmidiées filamenteuses plus *Euastrum* sont en outre calculés. On a obtenu pour le Kanem les résultats suivants :

	Nombre de taxons	%
Closterium.....	7	15,6
Cosmarium.....	24	53,3
Euastrum.....	1	2,2

Micrasterias.....	1	2,2
Pleurotaenium.....	1	2,2
Staurastrum.....	7	15,6
Staurodesmus.....	3	6,7
Desmid. filamenteuses.....	1	2,2
	<u>45</u>	<u>100</u>

Pleurotaenium + Euastrum + Desm. filam.	6,6 %
Pleurotaenium + Desmid. filamenteuses	4,4 %

Le genre *Cosmarium* est le mieux représenté au point de vue nombre d'espèces; viennent ensuite *Closterium* et *Staurastrum*. Parmi les indices de répartition définis par BOURRELLY (1957), le pourcentage *Pleurotaenium* plus Desmidiées filamenteuses qui semble donner les meilleures indications sur le caractère biogéographique des flores étudiées est ici très faible et s'élève à 4,4 % alors qu'il atteint ou dépasse normalement 10 % dans les régions chaudes (Brésil, Insulinde, Burma, Ceylan, Mali, Côte d'Ivoire). Il est de l'ordre, ou même un peu plus faible, que les pourcentages observés en Laponie, en Grande-Bretagne et en France. Au Tchad, les valeurs trouvées pour le lac Tchad sont 8,5 % (COMPÈRE, 1967), pour le Tibesti 7,1 % (GAUTHIER-LIÈVRE, 1958) et pour l'Ennedi 0 % (COMPÈRE, 1970). Le pourcentage *Pleurotaenium* plus *Euastrum* plus Desmidiées filamenteuses atteint pour le Kanem 6,6 %, alors qu'il est de 19,2 % pour la région du lac Tchad, 16,7 pour le Tibesti et 5,5 % pour l'Ennedi. Il est de 28,5 % au Mali et 23,6 au Soudan. Il dépasse en général 20 % dans les régions tropicales (BOURRELLY, *ibid.*).

Le tableau 2 résume les caractéristiques de la flore desmidiale de différents points de la zone intertropicale d'après des études faites durant ces vingt dernières années. Il a été établi à partir des travaux des auteurs suivants :

- Lac Victoria. VAN MEEL (1954), THOMASSON (1955), GRÖNBLAD, SCOTT, CROASDALE (1964).
- Nouvelle-Guinée. THOMASSON (1967).
- Lac Kariba (Zambie-Rhodésie). THOMASSON (1965).
- Est Afrique. LIND (1967).
- Indonésie. SCOTT, PRESCOTT (1961).
- Kolhapur (Indes). KAMAT (1963).
- Guadeloupe. BOURRELLY et MANGUIN (1952).
- Soudan. GRÖNBALD, PROWSE, SCOTT (1958), GRÖNBLAD (1962).
- Amazonie (Brésil). SCOTT, GRÖNBLAD, CROASDALE (1965).
- Lac Bangweulu (Zambie). THOMASSON (1957-1960).
- Macina (Mali). BOURRELLY (1957).
- Côte d'Ivoire. BOURRELLY (1961).
- Lac Tchad. COMPÈRE (1967).
- Ennedi (Tchad). COMPÈRE (1970).
- Tibesti (Tchad). GAUTHIER-LIÈVRE (1958).
- Kanem (Tchad). Notre présent travail.

Les différentes proportions des genres dans les florules étudiées sont très variables : le plus souvent c'est le genre *Cosmarium* qui possède le plus grand nombre d'espèces, *Staurastrum* venant ensuite. Dans l'ensemble, aucune interprétation ne peut être donnée aux variations des pourcentages des genres constatées au vu du tableau 2. La somme *Pleurotaenium*, *Euastrum*, Desmidiées filamenteuses, avoisine ou dépasse normalement 20 % dans les régions tropicales. C'est le cas ici pour neuf des flores analysées : Amazonie, Mali, Indonésie, Côte d'Ivoire, Soudan, Lac Bangweulu, Est Afrique, lac Tchad, Kolhapur, cette dernière ayant le pourcentage le plus faible de ce groupe avec 18,7 %. Parmi les autres flores, on a, par ordre de pourcentage décroissant, le Tibesti (16,7 %), la Nouvelle-Guinée (13,3 %), le lac Kariba (13,2 %), la Guadeloupe (12,0 %), le lac Victoria (8,8 %), le Kanem (6,6 %) et l'Ennedi (5,5 %). Quand à la somme *Pleurotaenium* plus Desmidiées filamenteuses, les pourcentages les plus élevés sont trouvés dans les mêmes régions que pour le rapport précédent, les plus fortes valeurs existent en Amazonie, Côte d'Ivoire, au Mali et au lac Bangweulu, viennent ensuite Kolhapur, l'Indonésie, l'Est Africain et le Soudan. Des valeurs moyennes existent pour le lac Tchad (8,5 %), le lac Kariba (7,5 %) et les eaux du Tibesti (7,1 %). Des pourcentages très faibles — 0 à 4,5 % — sont trouvés pour le Kanem, la Nouvelle-Guinée, la Guadeloupe, le lac Victoria et l'Ennedi.

On peut donc observer dans ces régions inter-tropicales un certain nombre de flores desmidiales ne présentant pas les caractères habituels des flores de cette zone. Cela s'explique dans certains cas par la présence de caractéristiques écologiques particulières aux milieux étudiés; ainsi le phytoplancton de Nouvelle-Guinée étudié par THOMASSON provient de lacs d'altitude (3500 à 3800 mètres) du massif du Mont Wilhelm, d'où un grand nombre d'espèces des régions tempérées dans la flore. Les eaux de l'Ennedi et du Kanem sont alcalines et riches en sels minéraux, donc peu favorables au développement des Desmidiées. Dans d'autres cas, au lac Victoria par exemple où ce groupe représente 35,4 % des taxons inventoriés, c'est le caractère sporadique des études systématiques effectuées jusqu'à présent sur ce lac qui peut être mis en cause. Seule la flore desmidiale de la Guadeloupe présente des caractéristiques tempérées difficilement explicables.

Sur l'ensemble des Desmidiées de nos récoltes, on rencontre 20 % de formes tropicales, soit un pourcentage assez faible par rapport aux chiffres trouvés par BOURRELLY pour le Mali et la Côte d'Ivoire.

En conclusion sur la flore desmidiale du Kanem, on peut donc dire que l'ensemble des taxons inven-

TABLEAU 2

	Lac Victoria		Nouvelle Guinée		Lac Kariba		Est Afrique		Indonésie		Kolhapur		Guadeloupe		Soudan	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Closterium.....	16	10,9	8	10,7	8	7,6	13	12,1	40	7,6	10	20,8	23	25,0	7	2,8
Pleurotaenium.....	3	2,0	1	1,3	4	3,8	6	5,6	33	6,3	4	8,3	2	2,2	16	6,4
Euastrum.....	10	6,8	7	9,3	6	5,7	12	11,2	61	11,6	3	6,3	8	8,7	31	12,4
Micrasterias.....	2	1,4	3	4,0	15	14,1	8	7,5	37	7,0	0	0	3	3,3	16	6,4
Cosmarium.....	40	27,2	17	22,7	16	15,1	26	24,3	111	21,1	22	45,8	37	40,2	90	36,0
Staurastrum.....	61	41,5	22	29,3	38	35,8	25	23,4	145	27,5	4	8,3	4	4,3	49	19,6
Divers.....	15	10,2	15	20,0	15	14,1	10	9,4	66	12,6	3	6,3	14	15,2	29	11,6
Desm. filament.....	0	0	2	2,7	4	3,8	7	6,5	33	6,3	2	4,2	1	1,1	12	4,8
	147	100 %	75	100 %	106	100 %	107	100 %	526	100 %	48	100 %	92	100 %	250	100 %
Desm. fil. + Pleurot.....	3	2,0	3	4,0	8	7,5	13	12,1	65	12,4	6	12,5	3	3,3	28	11,2
D. fil. + Pleur. + Euast.....	13	8,8	10	13,3	14	13,2	25	23,4	128	24,4	9	18,7	11	12,0	59	23,6

	Amazonie		Lac Bangweulu		Mali (Macina)		Côte d'Ivoire		Lac Tchad		Ennedi		Tibesti		Kanem	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Closterium.....	26	10,0	10	3,4	4	2,4	30	25,0	24	13,6	11	30,6	2	4,8	7	15,6
Pleurotaenium.....	11	4,3	9	3,1	9	5,4	9	7,5	7	4,0	0	0	2	4,8	1	2,2
Euastrum.....	34	13,1	26	9,0	23	13,7	11	9,1	19	10,7	2	5,5	4	9,5	1	2,2
Micrasterias.....	24	9,3	25	8,6	11	6,8	6	5,0	11	6,2	0	0	2	4,8	1	2,2
Cosmarium.....	36	13,9	55	19,0	47	28,5	22	18,3	48	27,1	16	44,4	24	57,0	24	53,3
Staurastrum.....	72	27,8	82	28,3	40	23,9	10	8,3	42	23,7	6	16,7	5	11,9	7	15,6
Divers.....	22	8,5	50	17,2	19	11,4	23	19,2	18	10,2	1	2,8	2	2,4	3	6,7
Desm. filamenteuse.....	34	13,1	33	11,4	15	8,9	9	7,6	8	4,5	0	0	1	2,4	1	2,2
	259	100 %	290	100 %	168	100 %	120	100 %	177	100 %	36	100 %	42	100 %	45	100 %
Desm. fil. + Pleurot.....	45	17,4	42	14,5	24	14,5	18	15,0	15	8,5	0	0	3	7,1	2	4,4
D. fil. + Pleur. + Euast.....	79	30,5	68	23,4	47	28,5	29	24,1	34	19,2	2	5,5	7	16,7	3	6,6

torisés ne présente pas un caractère tropical bien marqué (seul existe dans les milieux les moins concentrés en sels un phytoplancton groupant un certain nombre d'espèces du lac Tchad). De plus, les caractéristiques spéciales du milieu donnent à cette flore un aspect particulier, la différenciant des flores desmidiées voisines (Lac Tchad, Soudan).

Analyse comparative de la flore

COMPARAISON AVEC DES FLORES TROPICALES VOISINES

Les données sur la flore algale des régions tropicales sont le plus souvent fort incomplètes, soit que les

échantillonnages aient été peu nombreux, soit que les données ne concernent qu'un seul groupe d'algues — les Desmidiées par exemple — soit que la flore décrite laisse de côté un groupe particulier, les Diatomées par exemple, comme c'est le cas le plus souvent. Dans d'autres cas, la flore étudiée couvre l'ensemble des familles d'algues mais l'auteur s'est particulièrement intéressé à un groupe qui a été analysé en détails tandis que seules les espèces les plus communes étaient répertoriées pour le reste. Enfin, beaucoup de régions n'ont jamais été prospectées. Nous avons comparé le phytoplancton du Kanem à celui de six régions voisines (Tabl. 3), les inventaires effectués présentant à peu près tous l'avantage de couvrir l'ensemble des groupes d'al-

La flore du Kanem présente quelques similitudes avec celle du Tibesti en particulier par des pourcentages de Cyanophycées et de Chlorophycées assez voisins ; toutefois, les Desmidiées représentent deux tiers des taxons au Tibesti contre un tiers seulement au Kanem et pour les autres groupes, les proportions des Diatomées et des Eugléniens sont nettement différentes dans ces deux régions. Au Sahara, les échantillonnages effectués en plusieurs points d'eau par Compère montrent une flore algale assez particulière dont les Diatomées, et en seconde position les Cyanophycées, composent qualitativement la majeure partie ; les Chlorophytes ne représentent qu'un dixième de l'ensemble.

C'est seulement avec la flore recensée dans les mares et les gueltas temporaires ou permanentes de l'Ennedi que le plancton végétal du Kanem présente des affinités certaines. A part les proportions un peu plus faibles des Diatomées dans l'Ennedi, les pourcentages des différents groupes d'algues sont sensiblement identiques dans ces deux régions. Les caractéristiques physico-chimiques des eaux étudiées ne sont pas connues mais il est fort probable qu'il s'agit d'eaux où carbonates et bicarbonates de sodium sont dominants et, comme le suppose COMPÈRE (1970) « plus alcalines et plus riches en sels dissous que celles du Tibesti », ce qui expliquerait l'identité de flore algale entre le Kanem et l'Ennedi.

La composition de ces divers types de peuplement met en évidence l'accroissement du pourcentage des Chlorophytes dans les eaux tropicales. Dans les flores ayant un caractère tropical peu accusé, au Sahara, au Tibesti, au Kanem et dans l'Ennedi par exemple, les Chlorophytes représentent de 11 à 30 % des taxons. Si, d'après les indices de répartition des Desmidiées, le caractère tropical de la flore devient plus marqué, comme c'est le cas pour le lac Tchad et les eaux soudanaises, le pourcentage des Chlorophycées varie entre 50 et 60 %. Au Mali il représente plus de 90 % des espèces trouvées, mais les Diatomées n'ont pas été inventoriées et leur nombre réduirait sensiblement les proportions des Chlorophycées. Dans les lacs Victoria (VAN MEEL 1954, THOMASSON 1955), Bangweulu (THOMASSON 1960) et Kariba (THOMASSON 1965), il atteint 64, 78 et 80 % ; le reste de la flore étant partagé entre les Diatomées et les Cyanophycées. Le caractère tropical d'une flore paraît donc marqué non seulement par une composition spéciale de la flore desmidiale mise en évidence par le calcul des indices définis par BOURRELLY (1957) mais aussi par l'accroissement du pourcentage de l'ensemble des Chlorophytes par rapport à celui des autres groupes d'algues. La comparaison de la flore du Kanem avec celle des milieux voisins confirme de plus le caractère particulier du peuplement algal des eaux natronées

déjà constaté lors de l'analyse de la flore desmidiale. Ce fait est souligné en outre par la présence dans nos récoltes d'un certain nombre d'espèces décrites de l'est de l'Europe. Ce sont par exemple *Chodatella balalonica* Scherffel, *Scenedesmus coartatus* Hortobagyi, *Trachelomonas orenburgica* Swirenko, *Microcystis salina* Woronichin, *Synechococcus leopoliensis* (Raciborski) Komarek, *Synechococcus salinarum* Komarek, *Synechocystis crassa* Woronichin, *S. minuscula* Woronichin, *S. salina* Wislouch, *Anabaena thermalis* Vouk f. *rotundospora* Aptekarj, *Anabaenopsis arnoldii* var. *natrophila* Kol. Plusieurs de ces espèces ont été trouvées dans des eaux salées ou natronées de Hongrie ou de Bulgarie. Pour d'autres, décrites de Russie ou de Sibérie occidentale, les caractéristiques physico-chimiques de leur milieu ne sont pas précisées mais il est certain que, même sous des climats différents, le même type d'eaux continentales au point de vue chimique, ou même simplement des concentrations en sels identiques entraînent le développement d'espèces semblables. La connaissance des flagellés chlorophylliens, abondants en général dans les eaux salées, confirmerait sans doute cette constatation.

COMPARAISON AVEC DIVERSES FLORES DES EAUX NATRONÉES

Comme il a été indiqué dans l'introduction de ce travail, les études sur la flore des eaux natronées sont peu nombreuses et il est rare qu'elles portent sur l'ensemble des groupes d'algues qui la composent. Pour l'Europe centrale, nous avons utilisé les inventaires dressés par CHOLNOKY (1929) concernant les Diatomées des eaux natronées de la région de Szeged en Hongrie associés aux travaux de KOL (1931) intéressant plus particulièrement le lac de Cserepes-sor-to de la même région. En Afrique, les résultats de l'expédition Percy Sladen aux lacs de la vallée du Rift au Kenya et particulièrement l'étude sur les algues effectuée par RICH (1932) ont été analysés. Pour l'Amérique, les travaux de Castenholz (1960) sur les lacs du Grand Coulee situé dans l'état de Washington aux États-Unis ont été utilisés. Il s'agit d'une série de lacs carbonatés sodiques dont la concentration en sel varie suivant les milieux entre 0,25 et 21 ‰. Enfin, UHERKOVICH (1965) dans son étude sur le Kunfehertoer Feher-Teich, un étang de Hongrie dont les eaux se classent à la limite inférieure des eaux mésocarbonatées (résidu sec 3,4 à 3,7 g/l), donne la liste des algues inventoriées au cours des différentes récoltes. Les résultats de ces études sont regroupés dans le tableau suivant (fig. 2 et tabl. 4).

Il convient de remarquer pour la comparaison des résultats que ces flores sont établies les unes

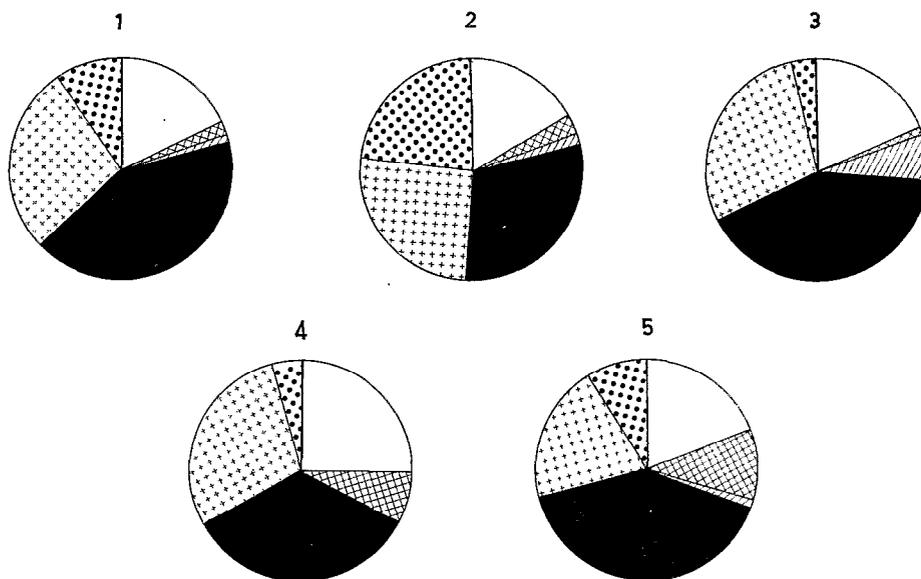


Fig. 2. — Composition qualitative relative du peuplement algal de différents milieux natronés des régions tempérées et tropicales.

La figuration des groupes d'algues est identique à celle de la figure 1.

1. Hongrie (KOL 1931) 3. U.S.A. (Castenholz 1960) 4. Hongrie (UHERKOVICH 1965).
 2. Kenya (RICH 1932) 5. Kanem.

TABEAU 4

	Hongrie Cholnoky. Kol 1931		Rift Valley Rich 1932		Grand Coulee Castenholz 1960		Hongrie Uherkovich 1960		Kanem	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Cyanophycées.....	37	17,8	17	16,0	50	18,4	16	25,0	96	18,7
Euglénophycées.....	5	2,4	3	2,8	2	0,7	5	7,8	52	10,2
Chrysophycées.....					3	1,1			1	0,1
Diatomées.....	88	42,3	32	30,2	114	41,9	22	34,4	209	40,7
Chlorophycées (sauf Desmid.).....	57	27,4	28	26,5	77	28,4	18	28,1	105	20,4
Desmidiées.....	20	9,6	24	22,7	10	3,7	3	4,7	45	8,8
Divers.....	1	0,5	2	1,8	16	5,8			6	1,1

d'après l'étude d'un seul milieu ayant une concentration en sel donnée (cas des deux inventaires faits en Hongrie), les autres d'après celle d'un ensemble de milieux ayant des salinités très diverses (cas des lacs de la Rift Valley, du Grand Coulee et du Kanem). Les cinq populations algales étudiées présentent cependant beaucoup de caractéristiques communes.

On remarque ainsi pour l'ensemble de ces cinq florules le faible pourcentage des Desmidiées, dont beaucoup d'espèces sont en général acidophiles, ce qui

explique leur rareté dans des eaux alcalines riches en sels dissous. Les Chlorophycées autres que les Desmidiées représentent en général le quart de la flore. A noter aussi, comme pour les eaux tropicales, la rareté des Chrysophycées, des Xanthophycées et des Pyrrophytes. Les Diatomophycées sont, sauf dans le cas de la vallée du Rift, dominantes dans les peuplements; elles forment en moyenne plus du tiers de la flore. Les proportions des Euglénophytes sont variables et très probablement plus en relation avec les quantités de matières organiques

disponibles dans les milieux qu'avec la présence ou l'absence des carbonates de sodium ; le pourcentage est le plus élevé dans le Kanem où les apports en matières organiques peuvent être considérés comme importants (déjections des troupeaux, décompositions de végétaux aquatiques), mais leur développement se produit uniquement dans les eaux douces ou oligocarbonatées. Les Cyanophycées enfin représentent environ 1/5 (et même 1/4 dans le lac hongrois étudié par UHERKOVICH) de la flore soit un chiffre assez comparable à celui trouvé pour les régions voisines (Sahara, Tibesti, Ennedi, Soudan) quelle que soit la composition chimique des eaux.

La flore inventoriée dans les lacs natronés de la vallée du Rift présente des pourcentages assez différents de ceux des autres milieux étudiés, en particulier par suite du nombre important de Desmidiées. Cette dissemblance peut s'expliquer par le fait que dans l'étude de RICH, c'est, des six milieux étudiés, le lac Naivasha qui a été de loin le plus amplement prospecté (13 prélèvements sur un total de 30). Or les eaux de ce lac ont une teneur faible en sels dissous et peuvent se classer parmi les eaux douces. Bien que le pH soit toujours alcalin, JENKIN (1932) signale qu'en certains endroits l'accumulation des débris végétaux présents en abondance peut rendre les eaux environnantes plus acides (pH 7,1) que dans l'ensemble du lac. L'existence de ces biotopes plus favorables au développement des Desmidiées est donc probablement à l'origine du fort pourcentage de ces algues.

On peut donc considérer que malgré des latitudes différentes la flore algale des milieux natronés présente en général beaucoup de caractères communs ; au point de vue composition qualitative, les différents groupes d'algues peuvent par ordre d'importance décroissante se classer ainsi : Diatomées, Chlorophycées (à l'exception des Desmidiées), Cyanophycées, Desmidiées. D'après les connaissances actuelles, le pourcentage moyen de ces groupes est de l'ordre de 20 % pour les Cyanophycées, 38 % pour les Diatomées, 36 % pour les Chlorophycées dont 10 % de Desmidiées et 6 % pour l'ensemble des divers autres groupes. Il est difficile de savoir pour l'instant si ce type de composition est particulier aux milieux carbonatés ou si au contraire les milieux salés intérieurs, qu'ils soient chlorurés, carbonatés ou sulfatés, présentent des flores algales ayant des caractères analogues, nos connaissances sur les eaux salées continentales et leurs flores algales étant encore bien incomplètes. Un seul travail donne actuellement quelques renseignements sur ce sujet. KUEHNE (1941) dans son étude sur le phytoplancton des eaux de la province de Saskatchewan au Canada, a inventorié les algues d'un ensemble de lacs où la concentration totale en sels

dissous varie selon les milieux d'environ 100 milligrammes à plus de 100 grammes par litre. En ce qui concerne la nature des ions présents, ces eaux sont très diverses et comprennent comme éléments dominants, pour les anions, soit des bicarbonates ou des sulfates, pour les cations, soit le sodium, soit le magnésium, soit plus rarement le calcium. L'analyse qualitative effectuée pour l'ensemble de la flore algale a donné les résultats suivants : Cyanophycées 20 %, Diatomées 37,3 %, Chlorophycées 39,7 % dont 14 % de Desmidiées, divers 3 %, soit une composition très proche de celle trouvée pour les milieux natronés. Il est toutefois risqué de conclure à l'identité de toutes les flores salées intérieures d'après ce seul exemple. Par ailleurs, il est connu qu'il existe des espèces indifférentes à la nature des sels dissous (*Nitzschia frustulum* par exemple) pour lesquelles seules les variations de concentration interviennent dans la distribution et d'autres qui sont nettement préférentielles de certains éléments chimiques du milieu et pour lesquelles la nature des ions intervient (*Anomoconeis sphaerophora*, *Oscillatoria platensis* par exemple pour les milieux carbonatés) en plus de la concentration totale en sels dissous ; cela n'autorise pas à penser que dans les eaux salées continentales les proportions de chaque groupe d'algues dans l'ensemble de la flore soient différentes suivant la composition chimique des milieux. Les connaissances sur la flore algale des eaux salées intérieures de tous types demanderaient donc de sérieux compléments, et des relevés d'espèces plus nombreux seraient nécessaires pour préciser les types de peuplement présents en fonction des caractères physico-chimiques de ces milieux bien particuliers.

2. TOLÉRANCES A LA SALINITÉ DES DIFFÉRENTES ESPÈCES

Dans chaque groupe d'algues, les taxons ont été classés par ordre de salinités croissantes tolérées (tabl. 5 et 6). Un tiret vertical indique les salinités auxquelles ils ont été trouvés, sans précision sur l'importance de leur effectif.

CHLOROPHYTES

Sur les 137 taxons de Chlorophytes pris en considération, 38 ne sont pas trouvés dans des eaux plus salées que des eaux douces assez riches en sels dissous (380 mg/litre), 110 ne dépassent pas des concentrations en sels de un gramme de résidu sec par litre, 130 ne dépassent pas 1,6 gramme par litre et seuls 7 taxons supportent des salinités égales ou supérieures à 3 ou 4 grammes de sels par litre :

CYANOPHYCÉES

T A X O N S

S A L I N I T É S

0,3 0,4 0,5 1 2 3 4 5 10 16 20 30 40 50 g/l

Chroococcus turgidus	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Calothrix braunii, Nostoc paludosum, Oscillatoria acuminata f. longe attenuata, O. chalybea, O. splendida, O. limnetica, Lyngbya limnetica	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Gomphosphaeria pusilla, Microcystis firma, Synechocystis crassa, Anabaena affinis, A. inaequalis, A. orientalis, A. solitaria, Anabaenopsis cunningtonii, Nostoc entophyllum, Lyngbya angustissima, L. majuscula, L. martenstana	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Merismopedia minima, Oscillatoria amphibia	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Microchaete investiens, M. tenera, Pseudanabaena catenata	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Merismopedia glauca	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Oscillatoria ornata	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Lyngbya contorta	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Lyngbya naumanii	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Merismopedia punctata	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Anabaenopsis arnoldii var. natrophila	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Synechococcus leopoliensis ?	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Lyngbya bipunctata	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Lyngbya circumcreta	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Microcystis delicatissima	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Aphanothece nidulans, Microcystis cf. salina	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Microcystis aeruginosa	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Microcystis elachista	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Microcystis elachista var. planctonica	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Oscillatoria chlorina	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Oscillatoria playfairii	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Merismopedia tenuissima	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Lyngbya pseudoafricana	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Oscillatoria okeni	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Anabaena spiroides	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Chroococcus minutus	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Radiocystis geminata	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Anabaena thermalis f. rotundospora	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Nodularia harveyana, Oscillatoria simplicissima	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Oscillatoria meslini	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Chroococciopsis cf. thermalis	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Oscillatoria platensis f. minor	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Microcoleus tenerimus, Oscillatoria pseudolabyrinthiformis	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Oscillatoria delicatissima	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Gomphosphaeria aponina	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Synechococcus elongatus	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Synechocystis salina	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Aphanizomenon cf. issatschenkoii	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Oscillatoria angusta	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Oscillatoria articulata, O. terebriformis	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Oscillatoria boryana	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Oscillatoria chlorina f. major	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Oscillatoria formosa	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Oscillatoria pseudogeminata f. longa	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Oscillatoria pseudogeminata var. unigranulata	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Oscillatoria trichoïdes	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Synechococcus bosshardii ?	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Synechococcus ambiguus	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Synechococcus salinarum	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Synechocystis aquatilis	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Synechocystis minuscula	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Raphidiopsis sp.	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Oscillatoria laxissima	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Oscillatoria lemmermanii	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Oscillatoria neumannii	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Oscillatoria oscillarioides	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Oscillatoria tenuis	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Oscillatoria willci	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Anabaenopsis arnoldii	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Nodularia harveyana var. sphaerocarpa	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Lyngbya foveolarum	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Oscillatoria amoena	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Oscillatoria angustissima	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Oscillatoria annae	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Oscillatoria brevis	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Oscillatoria granulata	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Oscillatoria guttulata	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Oscillatoria platensis	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l
Pseudanabaena africana ?	0,3	0,4	0,5	1	2	3	4	5	10	16	20	30	40	50 g/l

ce sont *Oocystis* sp. 1 et 4, *Staurastrum brachioprominens* var. *africana* f. *elongata*, *Cosmarium sexangulare* var. *minus*., *Tetraedron minimum*, *Scenedesmus bourrellyi*, *Nephrochlamys subsolitaria* (tabl. 5). A deux exceptions près, toutes les espèces sont des espèces d'eaux douces qui peuvent supporter une certaine quantité de sels dissous dans le milieu. Seuls *Scenedesmus bourrellyi* et *Oocystis* sp. 4 ne sont présents que dans des eaux à teneur en sels élevée. Le premier est trouvé dans des eaux concentrées de 7,5 à 50 grammes par litre ; d'après les observations et les estimations quantitatives, le développement optimal de cette algue présente dans une seule mare temporaire s'observe entre 7 et 22 grammes par litre, les peuplements vivant dans des eaux plus concentrées ne paraissant, d'après l'état des cellules, que survivre difficilement à l'augmentation de salinité due à l'approche de l'assèchement. La répartition de cette espèce étant pratiquement inconnue, il est impossible de dire si cette Chlorococcale peut se développer en eau douce ou oligocarbonatée. Le second, une Oocystacée du genre *Oocystis*, a été en particulier observé en abondance dans le lac de Rombou (18 g/l de teneur en sel moyenne pour l'année 1967) à un moment où le peuplement dense à *Oscillatoria platensis* avait disparu. Les deux Desmidiées *Cosmarium sexangulare* var. *minus* et *Staurastrum brachioprominens* n'ont été trouvées qu'à de très rares exemplaires dans des eaux oligo ou mésocarbonatées et il est probable, surtout pour la seconde, que leur présence y est accidentelle. Des cénobes de *Pediastrum clathratum* dont les cellules étaient entièrement vides ont été observées dans les eaux polycarbonatées de la mare de Latir P.

On peut donc estimer que la flore chlorophycéenne des eaux natronées est constituée par des espèces d'eau douce qui, ne possédant pas de mécanismes osmo-régulateurs, ne dépassent en général pas la zone inférieure des eaux oligocarbonatées ; seules quelques espèces d'*Oocystis* et de *Scenedesmus*, comme il a déjà été observé par MOORE et CARTER (1923) dans les lacs alcalins du Dakota du Nord aux États-Unis, se maintiennent dans des eaux plus concentrées en sel.

CHROMOPHYTES

CHRYSOPHYCÉES

L'espèce du genre *Sphaeroeca* inventoriée dans nos prélèvements est particulièrement halophile, elle a été trouvée dans des eaux dont la teneur en sel varie entre 3 et plus de 150 grammes par litre. Elle semble n'avoir un développement appréciable au point de vue biomasse algale que dans des eaux

d'une concentration supérieure à 30 grammes par litre.

XANTHOPHYCÉES

La seule espèce, *Centrtractus belonophorus*, a été observée rarement et seulement dans les eaux douces relativement riches en sels dissous du lac de Koukou (380 mg/l).

DIATOMOPHYCÉES

Les tolérances à la salinité des différentes espèces de Diatomées inventoriées n'ont pu être définies avec précision à partir des listes de taxons établies durant cette étude. Les algues de ce groupe réclament en effet pour leur examen en vue de détermination un montage sous résine après élimination de la matière organique des cellules ; il n'est donc pas possible de savoir sur de telles préparations quelles espèces étaient vivantes lors de l'échantillonnage. Les milieux étudiés sont soumis à de fortes variations interannuelles de salinité (voir par exemple le cas du lac de Bodou cité au début de cet ouvrage) entraînant la disparition de certaines espèces au profit de nouvelles venues ; la présence de frustules dans une préparation ne permet pas de savoir dans quelle mesure il s'agit de peuplements actuels vivant dans les conditions de salinité existantes au moment du prélèvement ou au contraire de restes de peuplements établis il y a quelques années dans des conditions de salinité différentes. D'autant plus que ces collections d'eau étant peu profondes et les sédiments du fond souvent remis en suspension par l'agitation due aux vents, les prélèvements renferment le plus souvent autant d'algues du sédiment que d'algues vivantes.

Un tableau des tolérances à la salinité n'a donc pas pu être dressé comme pour les autres groupes d'algues ; seules des indications peuvent être fournies sur quelques espèces dont la reconnaissance est facile sans qu'un montage sous résine soit nécessaire. Parfois, l'état des frustules permet dans quelques cas de préjuger que les formes trouvées n'étaient pas vivantes dans le milieu, soit que seuls existent des fragments de frustule, soit que, pour les filamenteuses, les chaînes de cellules soient entièrement dissociées. Les remarques suivantes ont donc été déduites des observations effectuées.

Les espèces marines ont assez paradoxalement été trouvées dans des lacs oligocarbonatés et même d'eau douce. Mais dans la plupart des cas, les valves étaient fragmentées et il était exceptionnel de trouver le frustule complet ; il en est de même pour les Silicoflagellés observés. Il est donc possible que ces organismes d'origine marine se soient développés à une époque où les milieux avaient une concen-

tration en sels ou peut-être même une composition physico-chimique différentes. Le fait qu'aucun reste de ces espèces marines n'ait été trouvé dans des eaux plus concentrées que les eaux oligocarbonatées ne manque toutefois pas d'être assez surprenant. BEADLE (1943) remarque aussi ce fait dans les eaux salées continentales, signalant que pour ces espèces marines « mechanism for maintaining hypotonic body fluids and protoplasm in very saline media has probably not been adequately developed ».

Cyclotella meneghiniana a été trouvé vivant en abondance dans les eaux du Troisième barrage d'un pH de 7,7 à 8,4. Cette espèce existe aussi dans des eaux beaucoup plus concentrées mais en quantités bien plus faibles. Elle a été observée dans les préparations microscopiques de plancton de presque toutes les stations étudiées. Il n'est pas possible de savoir si les quelques spécimens trouvés dans des lacs poly-, eu- et hypercarbonatés étaient vivants dans ces milieux.

Des frustules de *Melosira granulata* et de ses variétés sont présents dans tous nos échantillons, quelle que soit leur origine. Toutefois dans les lacs mésocarbonatés et plus concentrés, les chaînes de cellules sont toujours dissociées et il ne reste que des frustules ou des morceaux de frustule isolés. Cette espèce vit donc dans les eaux douces relativement riches en sels dissous (Koukou, Troisième barrage, etc.); elle est bien plus rare dans les lacs oligocarbonatés.

Melosira italica est trouvé dans les eaux douces et dans les lacs oligocarbonatés (Moylo et Yoursoula) où il est plus abondant que *M. granulata*; il n'a pas été inventorié dans les milieux d'une teneur en sels supérieure. Des frustules de *Stephanodiscus astraea* et de ses variétés ont été signalés dans presque tous nos prélèvements, toutefois cette espèce ne paraît vivre que dans les eaux douces et oligocarbonatées.

Synedra acus, *S. rumpens* var. *scotica* sont trouvés dans les eaux douces et dans les eaux oligocarbonatées jusqu'à 1 gramme de sel par litre environ. Des valves fragmentées de *Synedra ulna* ont été découvertes dans la plupart de nos échantillons mais cette espèce a été observée vivante uniquement dans les eaux douces; elle paraît rare dans les eaux oligocarbonatées.

Eunotia naegelii, *E. didyma*, *E. glacialis*, *E. lunaris*, *E. lunaris* var. *subarcuata*, *E. pectinalis*, *E. pectinalis* var. *undulata*, *E. thienemannii* f. *triundulata*, *E. veneris* n'ont été rencontrés que dans des eaux douces ou dépassant de peu la limite inférieure des eaux oligocarbonatées. *Eunotia tschirchiana* qui paraît supporter de plus fortes concentrations en

sels dissous est présent aussi dans les lacs mésocarbonatés.

Achnanthes exigua est une espèce des eaux douces et oligocarbonatées. Elle peut même dépasser pour de rares exemplaires la limite inférieure des eaux mésocarbonatées. *Achnanthes hungarica* est plus euryhalin, il est trouvé aussi bien dans les eaux douces que dans les milieux polycarbonatés; les plus fortes densités ont été décelées dans les lacs mésocarbonatés.

Amphora coffaeiformis et *A. ovalis* var. *lybica* supportent de fortes concentrations en sels. Si la première ne dépasse pas les eaux mésocarbonatées, la seconde a été trouvée jusque dans des lacs eucarbonatés. *A. ovalis*, *A. ovalis* var. *pediculus* semblent se cantonner dans des milieux beaucoup moins salés.

Anomoeoneis costata est très euryhalin et se trouve mêlé, bien que beaucoup moins fréquent, aux peuplements à *A. sphaerophora* dans beaucoup de nos échantillons, aussi bien des milieux d'eau douce que poly- ou eucarbonatés. *A. sphaerophora* et la variété *guentheri* de cette espèce sont très euryhalins; ils sont présents aussi bien dans les eaux douces même relativement pauvres en sels dissous (partie est du lac Tchad) que dans les mares hypercarbonatées. Cette espèce est particulièrement abondante à proximité du fond dans les mares temporaires telles que Latir ou Maou Leyla, son optimum de développement se situe entre 10 et 80 grammes de résidu sec par litre. Un exemplaire d'*A. seriensis* var. *acuta* a été recensé dans un lac oligocarbonaté où sa présence paraît accidentelle, cette espèce et ses variétés étant considérées comme acidophiles (HUSTEDT 1959, CHOLNOKY 1968).

Cymbella muelleri a été trouvé aussi bien dans les eaux douces que dans les milieux eucarbonatés. *C. turgida* paraît supporter de moins fortes concentrations en sels et dépasser à peine la limite inférieure des eaux polycarbonatées.

Navicula confervacea, *N. cryptocephala*, *N. curta*, *N. cuspidata* var. *ambigua*, *N. exigua*, *N. scutelloïdes* restent cantonnés dans les eaux douces tandis que *N. grimmei*, *N. kanemi*, *N. perrottetii*, *N. pygmaea*, *N. radiosa*, *N. rullneri* var. *rostrata*, *N. senegalensis* se rencontrent dans des eaux oligocarbonatées. *N. halophila* est l'espèce de *Navicula* la plus euryhaline; trouvée dans la plupart de nos échantillons, son optimum de développement se situe dans les eaux mésocarbonatées.

Rhopalodia gibba a été inventorié dans de nombreux échantillons mais le plus souvent à l'état de rareté. Comme tolérance à la salinité, il ne paraît pas dépasser les milieux oligocarbonatés. *R. gibberula*

est une espèce beaucoup plus abondante ; plus euryhaline, son développement optimal se situe dans les lacs polycarbonatés.

Nitzschia amphibia, *N. frustulum* sont deux espèces très euryhalines ; elles sont trouvées dans les eaux douces et jusqu'à la limite supérieure des eaux eucarbonatées, sans toutefois qu'une zone optimale de développement puisse être définie pour l'une d'entre elles, leur nombre étant toujours limité dans les peuplements. *N. sigma* a été inventorié aussi bien dans les lacs eucarbonatés que dans les eaux douces, un maximum de développement apparaît dans les milieux polycarbonatés et dans la moitié supérieure des milieux mésocarbonatés.

Gymatopleura solea et *G. solea* var. *clavata* ont été recensés dans des eaux douces et dépassent rarement la limite inférieure des eaux oligocarbonatées. Chez *Surirella*, *S. pseudospinifera* est présent dans les eaux douces peu chargées en sels dissous du lac Tchad à proximité du delta du Chari (70 mg de résidu soluble environ par litre) jusqu'à la limite inférieure des eaux oligocarbonatées (0,5 g/l). *S. capronii*, *S. linearis*, *S. linearis* var. *constricta*, *S. reichellii*, *S. robusta*, *S. robusta* var. *splendida*, *S. subsalsa*, *S. tenera* var. *nervosa* ont été trouvés dans des eaux douces assez minéralisées.

PYRRHOPHYTES

DINOPHYCÉES

Les tolérances de salinité pour *Gymnodinium* ne peuvent être précisées, les espèces présentes n'ayant pu être départagées avec certitude et déterminées. *Peridinium pusillum* est présent dans les eaux douces et oligocarbonatées jusqu'à une teneur en sels de un gramme par litre environ.

EUGLÉNOPHYTES

Les Euglénales inventoriées sont toutes des espèces d'eau douce supportant un faible degré de concentration en sels. Vingt-deux taxons ne dépassent pas la limite supérieure des eaux douces : ce sont *Euglena limnophila*, *E. oxyuris* f. *charkowiensis*, *Lepocinclis ovum*, *Phacus acuminatus*, *P. globosus*, *P. platatea*, *P. suecicus*, *Strombomonas fluviatilis*, *S. maxima*, *S. verrucosa*, *Trachelomonas armata* var. *steinii*, *T. curta* var. *subbernardii*, *T. hispida* var. *coronata*, *T. hispida* var. *duplex*, *T. cf. komarovii*, *T. orenburgica*, *T. planctonica*, *T. planctonica* var. *flexicollis*, *T. planctonica* var. *oblonga*, *T. scabra*, *T. volvocina*, *T. volvocinopsis* var. *tubigera*. Ensuite, vingt-cinq taxons ne dépassent pas des teneurs en sels dissous de un gramme par litre environ ; ce sont : *Euglena*

acus, *E. ehrenbergii*, *E. gracilis*, *E. intermedia*, *E. limnophila* var. *minor*, *E. oxyuris* f. *minima*, *E. oxyuris* var. *minor*, *E. tripteris*, *Lepocinclis fusiformis*, *L. fusiformis* f. *lemmermannii*, *L. texta*, *Phacus acuminatus* var. *javana*, *P. caudatus* var. *minor*, *P. curvicauda*, *P. inflexus*, *P. lefevrei*, *P. pyrum*, *P. tortus?*, *P. trypanon*, *Phacus* sp., *Trachelomonas abrupta*, *T. hispida*, *T. intermedia*, *T. lemmermannii*, *T. superba*. Quatre espèces seulement, *Lepocinclis ovum* var. *globula*, *Phacus agilis*, *P. orbicularis*, *Trachelomonas volvocinopsis*, vivent dans des eaux d'une salinité un peu supérieure, de l'ordre de 1,5 gramme de sels par litre.

CYANOPHYTES

Les Cyanophycées forment le groupe d'algues qui paraît le mieux adapté aux fortes concentrations en sels dissous. 45 taxons soit environ la moitié des taxons présents supportent des salinités supérieures à celles existant dans les lacs mésocarbonatés. Huit espèces seulement ne dépassent pas les eaux douces, 28 ne sont pas trouvées pour des salinités au-delà d'un gramme par litre et 34 ne dépassent pas environ 1,5 gramme de sel par litre. Enfin 46 taxons ne se développent pas au-delà de la limite supérieure des eaux mésocarbonatées (tabl. 6). La plupart des espèces vivant dans des eaux fortement concentrées en sels peuvent supporter un large éventail de salinités et se retrouvent aussi dans les eaux riches en sels dissous mais encore douces ou dans les milieux oligocarbonatés. Les conclusions de BEADLE (1943) sur le peuplement des eaux salées continentales sont ici confirmées : les espèces vivant dans les milieux les plus concentrés sont capables de s'adapter aux plus grandes variations de concentration du milieu. Les Cyanophycées forment d'ailleurs au point de vue quantitatif la majeure partie du peuplement des eaux natronées. Seules quelques espèces n'ont été observées que dans les eaux très concentrées à l'exclusion des milieux d'eau douce même relativement riches en sels dissous ; ce sont *Radiocystis geminata*, *Anabaena thermalis* f. *rotundospora*, *Nodularia harveyana*, *Oscillatoria simplicissima*, *O. meslini*, *Chroococciopsis* cf. *thermalis*, toutes les espèces des genres *Synechococcus* et *Synechocystis* (sauf *S. salina* et *S. crassa*). *O. lemmermannii*, *O. amoena*, *O. annae*, *O. platensis*. Pour plusieurs d'entre elles, le fait qu'elles n'aient été trouvées que dans les eaux salées au cours de nos échantillonnages apparaît fortuit, ces espèces ayant été signalées dans des eaux douces d'autres régions ; leur absence n'est due ici qu'aux aléas des échantillonnages, c'est le cas de *Radiocystis geminata*, *Nodularia harveyana*, *O. simplicissima*, *O. meslini*, *O. lemmermannii*, *O. amoena*, *O. annae*. Pour les autres, une concentration en sels supérieure à celle

des eaux douces paraît nécessaire à leur existence. L'espèce du genre *Chroococidiopsis* très voisine de *C. thermalis* inventoriée ici a un développement maximum dans les eaux mésocarbonatées. Les algues des genres *Synechococcus* et *Synechocystis* sont observées en général dans des eaux très natronées où un développement important des espèces de ce groupe intervient et leur présence nécessite des milieux au moins oligocarbonatés ; seuls *Synechocystis salina* et *S. crassa* ont été observés aussi dans les eaux douces. Le *Synechococcus* voisin de *S. boshardii* n'a été trouvé que dans des eaux très concentrées en sels (88 millimhos de conductibilité électrique). *Oscillatoria platensis* enfin ne croît que dans des eaux dont la teneur en sel est supérieure à 8 grammes par litre.

Si beaucoup de ces Cyanophycées ont des tolérances à la salinité très larges, quelques-unes d'entre elles présentent un développement quantitatif important sur une plage de concentrations beaucoup plus étroite. Les analyses quantitatives effectuées montrent que plusieurs espèces atteignent dans certains milieux des développements massifs, une seule espèce pouvant même dans certains cas représenter 99 % de la biomasse algale. De l'examen de l'ensemble des échantillons récoltés, les remarques suivantes peuvent être faites sur les zones optimales de salinité dans lesquelles le développement important de diverses espèces intervient.

Microcystis aeruginosa et *M. elachista* var. *planktonica* forment l'un et l'autre des peuplements très denses dans les eaux douces relativement riches en sels dissous et dans les lacs oligocarbonatés ayant les concentrations les plus faibles, 1,5 à 2 grammes de résidu sec par litre étant la limite supérieure tolérée par les peuplements denses de ces deux espèces. Un fait identique se produit dans certains lacs faiblement natronés de la vallée du Rift au Kenya où JENKIN (1936) a pu définir un type de lac à *Microcystis* intermédiaire entre les lacs très alcalins et les lacs d'eau douce et caractérisé par la présence en quantité fortement dominante de ce genre dans un phytoplancton très dense ; toutefois l'abondance de ces espèces ne semble pas être liée directement à la salinité et l'auteur, en accord avec des observations de BEADLE (1932), signale que ces développements massifs paraissent plus en relation avec la présence de matière organiques, un certain nombre de lacs d'eau douce (lac George par exemple) peu minéralisés mais riches en matières organiques étant envahis de façon identique par ces *Microcystis*.

Gomphosphaeria aponina a été inventoriée dans des eaux d'une salinité de 6 à 50 grammes par litre, toutefois sa zone optimale de développement se

situe entre 14 et 33 grammes par litre, ce qui correspond en général dans des mares temporaires comme la mare de Latir, à la concentration en sels existant en septembre. Dans les lacs permanents, le développement de cette espèce intervient à n'importe quelle période de l'année.

Anabaenopsis arnoldii est une espèce très euryhaline, elle est présente dans tous les milieux étudiés. Les développements les plus importants se situent entre 13 et 80 grammes de sel par litre. *Oscillatoria platensis* se développe de façon massive dans des eaux d'une concentration de 22 à un peu plus de 60 grammes de sel par litre. C'est une espèce très euryhaline tolérant d'après nos prélèvements des salinités de 8 à 270 grammes par litre. Dans ce dernier cas il s'agissait de peuplements de mares temporaires qui s'étaient formés dans des conditions de salinité plus favorables et qui réussissaient à se maintenir malgré ces fortes concentrations. En culture pure (ZARROUK 1966), cette espèce désignée à tort sous le nom de *Spirulina maxima* (Setch. et Gardner) Geitler a un développement normal dans des milieux comparables au point de vue chimique aux eaux du Kanem et d'une concentration de 7 grammes de sel par litre. Des croissances faibles sont déjà constatées dans des milieux à 3-5 grammes par litre. COMPÈRE (*comm. pers.*) a observé *O. platensis* dans les eaux douces du lac Tchad. On peut donc conclure que cette espèce peut être trouvée aussi bien dans les eaux douces que dans les eaux hypercarbonatées mais que les développements massifs ne se produisent que dans les milieux poly- et eucarbonatés et dans la plage inférieure des milieux hypercarbonatés.

Oscillatoria platensis f. *minor* a été trouvé dans les eaux douces, oligo-, méso- et polycarbonatées. Cette variété paraît moins halophile que l'espèce type ; elle ne se développe massivement que dans des milieux de 4 à 16 grammes de concentration en sels ; c'est donc une forme typique des lacs mésocarbonatés.

Sur deux graphiques (fig. 3) ont été reportés les biovolumes de chacun de ces quatre derniers taxons exprimés en microlitres de matière vivante par litre en fonction de la concentration en sels du milieu exprimée en grammes par litre. L'estimation du volume algal a été effectuée par numération au microscope inversé puis conversion en biovolume après calcul du volume moyen des colonies ou filaments de chaque espèce. La concentration totale des eaux a été estimée par conversion de la conductibilité ramenée à 25 °C en poids de sels dissous sous forme de résidu sec à 105 °C d'après la courbe de corrélation établie par MAGLIONE (1969). La zone de salinité dans laquelle se produit le développement

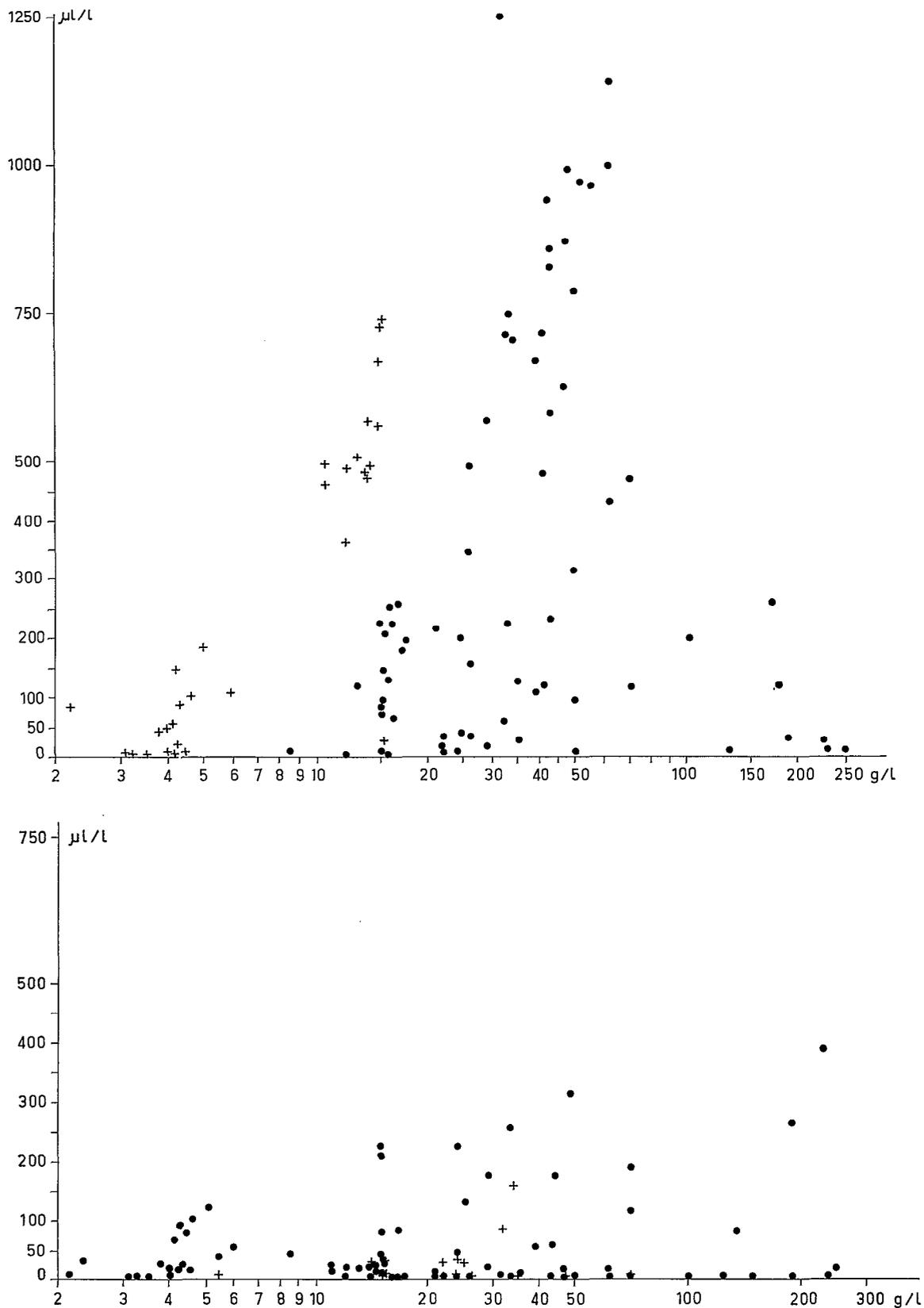


Fig. 3. — Tolérances à la salinité et zones optimales de développement chez quatre Cyanophycées. En haut, *Oscillatoria platensis* (●) et *O. platensis f. minor* (+); en bas, *Anabaenopsis arnoldii* (●) et *Gomphosphaeria aponina* (+).

maximal apparaît nettement chez 3 des 4 taxons étudiés.

Pour l'interprétation des graphiques, il y a lieu de tenir compte de l'erreur due à ce qu'une partie des mesures de biomasse effectuées a été faite sur des échantillons provenant de mares temporaires. Après la saison des pluies, durant la période de régression de ces mares, on assiste à une réduction du volume d'eau sous l'effet de l'évaporation et dans beaucoup de cas cette diminution est plus rapide que les processus de disparition des algues, d'où une augmentation de la biomasse phytoplanctonique qui ne correspond pas à une multiplication réelle des organismes dans le milieu. Avec la représentation graphique utilisée ici, cela se traduit pour chaque taxon par une légère surestimation des limites supérieures de leur zone optimale de développement.

Pour *Anabaenopsis arnoldii*, cette dernière est très étalée et la concentration en sels paraît être un facteur relativement négligeable pour son développement. Pour *Oscillatoria platensis*, la forme *minor* très abondante dans les milieux mésocarbonatés est relayée par l'espèce type dans les lacs à teneur en sels plus élevée. La première a son maximum de densité entre 10 et 16 grammes de sels par litre, puis l'espèce type prend ensuite la prédominance lorsque la salinité augmente.

CONCLUSIONS

Le peuplement des eaux natronées du Kanem est composé d'espèces d'eau douce s'adaptant plus ou moins bien aux différentes concentrations en sels. La présence de quelques formes marines doit être considérée comme purement accidentelle. Parmi les espèces peuplant les mares natronées, les Chlorophytes et les Euglénophytes sont abondantes dans les eaux douces et les milieux oligocarbonatés mais, sauf pour quelques rares espèces, elles ne peuvent se développer à des salinités plus élevées. Les Diatomophycées paraissent en général nettement plus euryhalines que les deux groupes précédents ; bien que des limites précises de tolérance à la salinité n'aient pu être définies par suite de caractéristiques particulières propres aux milieux étudiés, une grande partie des taxons inventoriés semble pouvoir se développer jusque dans les milieux mésocarbonatés. La flore diatomique se compose d'espèces d'eau douce supportant une certaine salure et d'espèces caractéristiques des eaux salées côtières ou continentales telles *Anomoeoneis sphaerophora*, *A. costata*, *Mastogloia smithii*, *M. elliptica* var. *dansei*, *Navicula halophila*... Les espèces du genre *Gyrosigma* qui sont souvent des formes d'eaux saumâtres sont ici absentes.

Les Cyanophycées forment le groupe supportant les plus grandes amplitudes de salinité. Elles comprennent une proportion importante d'espèces très euryhalines trouvées aussi bien dans les eaux douces que dans les milieux eu- ou hypercarbonatés. Quelques taxons n'ont été observés que dans les milieux fortement concentrés en sels où ils atteignent un développement important.

Les zones optimales de développement ont pu être définies pour certains de ces taxons. Toutefois si la concentration totale en sels peut être considérée comme le principal facteur chimique réglant la distribution et la multiplication des espèces dans les peuplements, d'autres facteurs peuvent néanmoins avoir une action importante en modifiant la répartition des espèces à l'intérieur des limites de salinité tolérées par chacune ou en causant la disparition de certaines d'entre elles ; on peut à ce sujet faire les quelques remarques suivantes.

La température du milieu peut intervenir de façon sélective dans la répartition des taxons ; les conditions climatiques de la région étudiée se rapprochent de celles des milieux désertiques situés plus au nord ; de ce fait les températures de l'eau sont en général élevées et l'écart entre les valeurs minimales et maximales au cours de l'année dépasse 20°, il atteint 13° au cours d'un même mois. Les variations diurnes sont importantes et de l'ordre de 10 à 12° dans la mare de Latir P (ILTIS 1969) ; ces écarts doivent être encore plus grands dans la mince couche d'eau existant dans les milieux temporaires durant la période qui précède de peu leur assèchement. Ces facteurs effectuent donc une sélection des espèces de la flore de l'ensemble de ces milieux. Entre ces diverses collections d'eau, la faible étendue de la zone étudiée fait qu'il n'existe pas de différences climatiques sensibles d'une station à l'autre et la température extérieure reste la même pour toutes, mais les variations de la température de l'eau sont beaucoup plus fortes et plus rapides dans les milieux peu profonds (Latir, Liwa, Rombou) que dans certains lacs permanents où la couche d'eau est plus épaisse (Djikare, Moylo, Yoursoula). A Latir P, l'eau peut en l'absence de vent dépasser 38 °C, ce qui nécessite de la part des organismes y vivant des mécanismes d'adaptation thermique. Plusieurs espèces inventoriées ont été signalées aussi dans des sources chaudes, ce sont surtout des Cyanophycées : *Merismopedia punctata*, *Synechococcus ambiguus*, *S. bosshardii*, *Chroococcidiopsis* cf. *thermalis*, *Oscillatoria formosa*, *O. neumannii*, *O. okenii*, *O. pseudolabyrinthiformis*, *O. tenuis*, *O. lerebriformis* par exemple.

Le rôle de la lumière a probablement une importance moindre. Tous ces milieux reçoivent des quantités de lumière suffisantes, la moyenne journa-

lière des temps d'insolation calculée sur une année étant de un peu plus de 9 heures par jour. Seule l'intensité très forte de la lumière peut être un facteur limitant pour la photosynthèse chez certains organismes.

Un autre fait susceptible de jouer un rôle dans la composition des peuplements en dehors de la concentration en sel est la composition chimique relative des eaux étudiées. Comme il a été montré dans l'introduction de ce travail, les eaux des mares natronées du Kanem subissent une évolution allant du type bicarbonaté calcique au type carbonaté sodique à mesure que la teneur en sels dissous s'accroît. Les proportions entre les différents éléments étant légèrement différentes selon la concentration en sels, il est possible que le facteur rhopique (PORA 1966, 1969) intervienne en même temps que les variations de la teneur en sels dans les différences constatées dans les peuplements algaux.

Le pH est toujours alcalin ; il est dans la plupart des cas supérieur à 8 et croît avec la concentration en sels du milieu. Ses effets sur la flore algale s'ajoutent donc à ceux de la concentration saline.

Les phénomènes dus à la concurrence spécifique dans le phytoplancton sont susceptibles d'affecter l'évolution du peuplement algal. Les substances excrétées par les peuplements très denses à *Oscillatoria*, *Anabaenopsis* ou *Microcystis* qui existent souvent dans ces milieux éliminent les autres espèces. Pour *Oscillatoria platensis* par exemple, la forme *minor* de cette espèce forme la plus grande partie du peuplement algal dans des milieux où la concentration en sels se situe entre 10 et 16 grammes par litre ; si la salinité augmente, l'espèce type devient alors prédominante. Or, les essais en laboratoire ont montré (ZARROUK 1966) que *O. platensis* se développait normalement en culture monospécifique dès 7 grammes de concentration saline. Une autre algue, et c'est le cas ici pour la forme *minor*, peut donc entrer en concurrence avec elle dans les milieux mésocarbonatés et empêcher son développement. D'autre part, bien que les sels nutritifs paraissent être en général en quantités suffisantes, il est possible que certains d'entre eux viennent à manquer par exemple dans une mare temporaire au bout de quelques mois de mise en eau. Dans le lac de Rombou où la teneur en sels varie peu au cours de l'année, le peuplement très dense à *O. platensis* qui occupe habituellement les eaux a ainsi disparu durant plusieurs mois au cours de 1967 sans que l'on ait pu savoir s'il s'agissait d'un cas d'auto-intoxication ou de carence d'un élément nutritif nécessaire à cette Cyanophycée.

3. INFLUENCE DE LA SALINITÉ SUR LA FLORE ALGALE

Variations du nombre de taxons

Le nombre de taxons présents est très variable suivant les milieux. L'inventaire effectué dans chaque mare ou lac a donné les résultats suivants :

TABLEAU 7

— Bodou.....	19	*Mayolo.....	92
*Doun Amran....	32	*Mombolo 2.....	45
— Djikare.....	42	— Mombolo 4.....	92
*Iseïrom.....	52	*Mombolo 5.....	73
*Karama.....	16	*Moro.....	13
*Kono Boulom...	78	Moylo.....	228
*Koukou.....	184	*Ngueleydinga...	10
*Latir A.....	20	*Nguska.....	50
— Latir P.....	92	— Rombou.....	60
— Liwa.....	52	— Troisième barrage	273
— Maou Leyla....	26	— Yoursoula.....	222

Les stations marquées d'un astérisque n'ont fait l'objet que d'un seul ou au maximum deux échantillonnages ; il n'est donc pas possible de comparer toutes ces données entre elles, le nombre de taxons trouvé au cours d'un seul échantillonnage ne permettant pas de préjuger du nombre d'espèces pouvant exister dans un milieu. Le prélèvement peut en effet avoir été fait à un moment où une espèce est très largement dominante limitant de ce fait le nombre et l'effectif des autres espèces présentes ; or, il a été observé lors des études quantitatives (ILTIS 1969) que le peuplement des eaux natronées est caractérisé le plus souvent par la présence d'un ou deux taxons dominants accompagnés d'un nombre assez important d'espèces représentées chacune par un très faible nombre d'exemplaires. Ce fait a déjà été observé dans certaines zones d'eau salée du lac de Tibériade (RAHAT et DOR 1968) où de nombreuses espèces rares pour l'instant sont prêtes à remplacer le peuplement dense en place si les conditions de salinité venaient à changer. Il est donc évident que les chances d'inventorier les espèces rares sont faibles lorsque le nombre de prélèvements reste réduit. Aussi nous ne tiendrons compte que des valeurs trouvées dans les collections d'eaux où les échantillonnages s'étendent sur au moins une année. Les mares temporaires qui, par l'importance et la rapidité des variations de salinité, forment un milieu assez particulier, feront l'objet d'un paragraphe spécial. Le fait que dans les eaux salées intérieures, le nombre de taxons

diminue lorsque la teneur en sels augmente a été remarqué par tous les auteurs ayant travaillé sur ces milieux. Toutefois les modalités de cette évolution n'ont pu généralement être suivies et la courbe montrant par exemple les variations du nombre de taxons existant par rapport à la concentration du milieu en sels dissous n'a pu être dressée. D'après les inventaires effectués dans les milieux natronés étudiés ici et malgré le petit nombre de valeurs finalement utilisables, un graphique de ce type a été tracé (fig. 4) permettant de constater que la

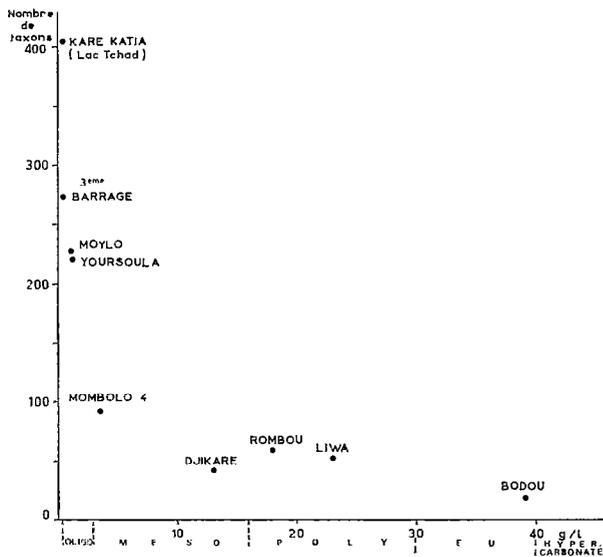


Fig. 4. — Nombre de taxons présents en fonction de la teneur en sels du milieu.

diminution du nombre de taxons ne s'effectue pas de façon régulière. Dans les milieux d'eau douce relativement riches en sels dissous le nombre de taxons est élevé et dépasse 270. Dans les deux lacs oligocarbonatés, un peu plus de 220 taxons ont été inventoriés, tandis que dans les milieux méso- et polycarbonatés, le nombre de formes présentes est beaucoup plus faible et varie entre 92 pour le lac de Mombollo 4 à la limite inférieure des lacs méso-carbonatés et 42. Dix neuf taxons seulement ont été trouvés dans le seul lac eucarbonaté étudié. La chute brusque du nombre de formes présentes lorsque l'on passe des lacs oligo- à méso-carbonatés est assez remarquable. Elle correspond à la disparition d'un certain nombre d'espèces (Chlorophytes, Euglénophytes) ne possédant sans doute pas de mécanismes d'osmorégulation pour vivre dans des eaux ayant une forte concentration en sels dissous. Au-delà

des milieux polycarbonatés, le nombre de taxons, assez stable dans les eaux méso- et polycarbonatées, régresse de nouveau rapidement.

On peut donc distinguer trois zones en ce qui concerne la richesse en espèces : une première correspondant aux eaux douces et oligocarbonatées avec un nombre de taxons assez variable mais toujours élevé, en second lieu un long palier correspondant aux milieux méso- et polycarbonatés, enfin une troisième zone pour les eaux plus concentrées.

Cependant, il est certain que la salinité n'est pas, surtout dans les eaux peu natronées, le seul facteur agissant sur la richesse des peuplements. Il peut ainsi exister de grandes variations dans le nombre de taxons présents sans que la concentration puisse être mise en cause. Dans les eaux douces relativement riches en sels dissous par exemple, à côté de 270 taxons inventoriés dans la mare du Troisième barrage, COMPÈRE (*in litt.*) a recensé 407 formes dans une anse assez étendue du lac Tchad voisine de Karé Katia où la concentration en sels est identique ou même légèrement supérieure. La différence de superficie entre ces deux milieux peut expliquer de telles inégalités ; il existe en effet une corrélation positive connue sous le nom de loi d'Arrhenius entre le nombre de taxons présents dans un écosystème et la superficie de celui-ci.

La présence ou l'absence de végétation immergée peut de même entraîner d'importantes variations dans le nombre des espèces présentes, les herbiers créant des milieux favorables au développement des espèces fixées. Toutefois, la présence de cette végétation étant elle-même liée à la salinité des eaux, on peut considérer que cette dernière reste le principal facteur de variation même s'il n'intervient qu'indirectement.

Enfin, l'amplitude des variations saisonnières de la concentration en sels peut, selon les milieux, avoir des effets sur la richesse des peuplements (les concentrations indiquées en abscisse de la figure 4 sont les moyennes des valeurs mesurées à chaque station de prélèvement durant la période étudiée). Les mares temporaires forment de ce fait, comme il en a été fait mention plus haut, des milieux extrêmes ayant des caractéristiques particulières au point de vue algal.

On peut cependant considérer que dans les eaux qui nous intéressent ici ces différents facteurs agissent de façon sensiblement uniforme sur tous les lacs permanents étudiés : ceux-ci ont tous des superficies de même ordre (1 à 3 km²) et présentent tous des caractères très voisins au point de vue limnologique (origine, alimentation, nature du fond et des rives) ; d'autre part leurs variations saisonnières de salinité ont des fluctuations identiques

sauf peut-être à Liwa où la conductibilité a varié entre 18,3 et 49 millimhos durant la période considérée, ce qui représente un cas particulier assez inexplicable au point de vue hydrologique. Il est ainsi permis d'attribuer aux seules différences de teneur en sels la richesse ou la pauvreté relatives des quelques flores recensées mais il serait souhaitable que le petit nombre de données obtenues soit complété par des inventaires algologiques plus complets et plus nombreux dans les eaux salées continentales afin de préciser ces quelques observations.

Variations de la composition qualitative des peuplements

Sur le tableau suivant sont reportées les proportions de chacun des grands groupes d'algues dans les lacs étudiés classés par ordre de salinité moyenne décroissante. Le chiffre qui figure entre parenthèses dans la colonne des Chlorophycées indique le pourcentage des Desmidiacées. Il n'a pas été tenu compte des milieux où le nombre d'espèces recensées n'atteint pas 20, l'échantillonnage pouvant être considéré comme trop incomplet. A titre indicatif, des pourcentages établis par COMPÈRE (1967 et *in litt.*) pour les eaux douces du lac Tchad voisines de la zone étudiée sont mentionnés à la suite des valeurs obtenues pour les eaux du Kanem.

Sur la figure 5 ces différents pourcentages ont été reportés sur des graphiques classés par ordre de salinité décroissante et reproduisant les variations

de la composition qualitative du peuplement. Il est à noter que, comme il est mentionné plus haut à propos du nombre de taxons présents, les pourcentages de six de ces milieux (Kono Boulom, Mombolo 5, Nguska, Doun Amran, Koukou, Mayo) ont été calculés d'après un ou deux échantillonnages tandis que pour les autres, il s'agit d'une liste établie d'après des prélèvements échelonnés sur au moins une année.

Le pourcentage des Cyanophycées est important dans les lacs les plus concentrés en sels ; il dépasse alors souvent 50 %, il décroît ensuite dans les milieux mésocarbonatés pour atteindre finalement dans les eaux douces des valeurs inférieures à 20 %. Les valeurs anormalement fortes trouvées pour Mayo, Nguska et Doun Amran proviennent d'un prélèvement unique et probablement incomplet. Les proportions des Diatomées sont la plupart du temps toujours élevées et il est difficile de trouver une relation entre celles-ci et les variations de la teneur en sels. Les Chlorophytes sont le groupe d'algues le plus sensible aux variations de la salinité. Dans les lacs poly- et eucarbonatés, leur pourcentage est faible, il peut atteindre un peu plus de 3 % dans le lac polycarbonaté de Rombou. Leur nombre reste relativement très faible dans les milieux mésocarbonatés : il représente seulement au maximum un peu plus de 4 % dans le quatrième lac de Mombolo dont la teneur en sels dissous est à la limite inférieure des eaux mésocarbonatées. Dans les lacs oligocarbonatés et les eaux douces, les pourcentages oscillent entre 22 et 40 %. A l'intérieur de ce groupe, les Desmidiacées qui sont absentes dans les lacs d'une concentration supérieure à celle

TABLEAU 8

	Salinité moyenne g/l	Cyano- phycées %	Euglénophycées %	Diatomophycées %	Chlorophycées (Desmid.)	Autres %
BODOU.....	39	63,2	0	21,0	0 (0)	15,8
LIWA.....	23	53,8	0	38,5	1,9 (0)	5,8
ROMBOU.....	18	32,2	0	57,6	3,4 (0)	6,8
DJIKARE.....	13	61,9	0	30,5	0 (0)	7,6
KONO BOULOM.....	10,5	37,2	0	57,7	1,3 (0)	3,8
MOMBOLO 4.....	3,5	37,0	0	56,5	4,3 (0)	2,2
MOMBOLO 5.....	1,3	34,2	6,8	23,3	32,9 (1,4)	2,8
YOURSOLA.....	1,1	18,0	9,0	43,7	27,5 (9,0)	1,8
NGUSKA.....	0,9	26,0	0	40,0	30,0 (6,0)	4,0
MOYLO.....	0,9	16,5	10,1	35,3	36,7 (12,7)	1,4
DOUN AMRAN.....	0,4	31,2	3,1	9,4	40,6 (3,1)	9,4
KOUKOU.....	0,4	13,0	13,0	46,2	25,5 (4,3)	2,3
TROISIÈME BARRAGE.....	0,4	9,2	13,2	51,6	23,8 (1,1)	2,2
MAYOLO.....	0,3	27,2	1,1	48,9	21,7 (1,1)	1,1
Lac Tchad. Anse de Karé Katia (COMPÈRE <i>in litt.</i>).....	0,6	18,9	4,4	41,3	34,2 (13,4)	1,2
Lac Tchad. Partie est (COMPÈRE 1967)..	0,08	10,1	0,7	32,0	56,2 (41,4)	1,0

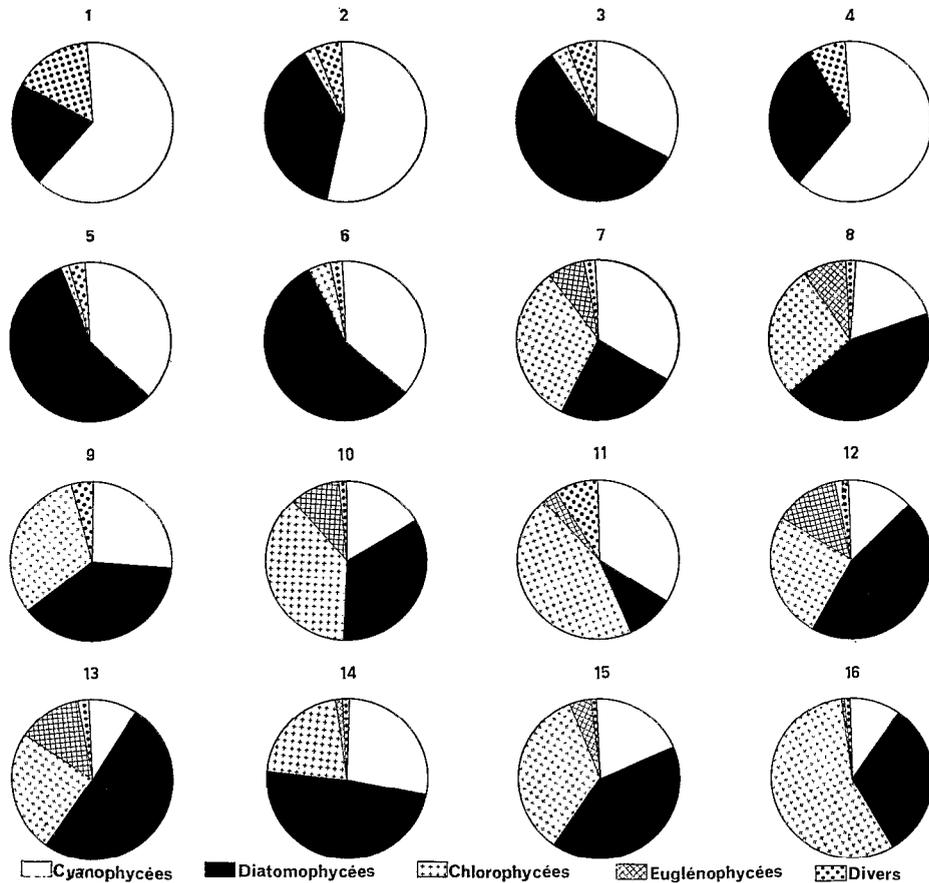


Fig. 5. — Composition qualitative relative du peuplement algal des différents milieux étudiés classés par ordre de salinité décroissante.

1. Bodou, 2. Liwa, 3. Rombou, 4. Djikare, 5. Kono Boulom, 6. Mombolo — 4, 7. Mombolo — 5, 8. Yoursoula, 9. Nguska, 10. Moylo, 11. Doun Amran, 12. Koukou, 13. Troisième barrage, 14. Mayolo, 15. Lac Tchad à Karé Katia, 16. Lac Tchad, partie est.

des eaux oligocarbonatées, ont ailleurs des pourcentages très variables suivant les milieux ; les plus élevés sont trouvés dans les lacs de Moylo et Yoursoula et dans le lac Tchad. Les Euglénophycées sont inexistantes dans les eaux ayant une concentration dépassant la limite supérieure des eaux oligocarbonatées. Au-dessous, les pourcentages de ce groupe oscillent entre 13 et 1 % sans que ces variations paraissent avoir un rapport quelconque avec la concentration en sels, mais plutôt avec la teneur en matières organiques des eaux, les milieux largement bordés de végétaux aquatiques (*Papyrus*, *Typha*, *Phragmites*) étant les plus riches en Eugléniens. Les autres groupes d'algues ne sont toujours représentés que par un petit nombre de taxons, quelle que soit la salinité. Leurs proportions sont en général un peu plus élevées dans les milieux fortement natronés où le nombre total d'espèces présentes est plus faible.

On peut donc conclure qu'autour d'un peuplement en Diatomées dont les proportions restent à peu près constantes, le pourcentage des Cyanophytes s'accroît à mesure que la salinité augmente tandis que celui des Chlorophytes varie en proportion inverse. Les pourcentages trouvés au cours des premiers relevés de la flore du lac Tchad confirment cette évolution ; dans les eaux douces du lac, les Cyanophycées forment 10 à 20 % de la flore, soit les valeurs les plus basses observées, les Diatomées 32 à 41 % et les Chlorophytes 34 à 56 %, soit les valeurs maximales recensées au cours de cette étude. Si la diminution du pourcentage des algues bleues est presque régulière, l'augmentation de celui des algues vertes est très faible dans les eaux eu-, poly- et méso-carbonatées mais atteint brusquement 30 % dans les lacs oligocarbonatés.

TABLEAU 9

Nombre de taxons inventoriés.....	Latir P		Maou-Leyla		Latir A		Moro		Mombolo 2		Iseirom	
	90		26		20		13		46		52	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Cyanophytes.....	33	36,7	14	53,8	12	60,0	8	61,5	8	17,4	12	23,1
Diatomées.....	47	52,2	7	26,9	7	35,0	4	30,8	37	80,4	37	71,2
Chlorophytes.....	7	7,8	2	7,7	1	5,0	0	0	0	0	2	3,8
Autres.....	3	3,3	3	11,6	0	0	1	7,7	1	2,2	1	1,9

Cas des mares temporaires

Les mares temporaires forment pour l'étude de la flore algale un milieu particulier; d'une part l'amplitude des variations de la teneur en sels est très importante (5 à plus de 200 g/l dans la mare de Latir P entre la période de remplissage maximum et celle qui précède l'assèchement), d'autre part ces variations sont rapides, la durée de la période en eau étant limitée (deux à sept mois) par suite de la faible profondeur maximale de ces mares, du profil très ouvert des dépressions et de l'importance de l'évaporation qui dépasse trois mètres par an. Le nombre de taxons trouvés est très variable, il est de 90 et 26 dans les deux mares qui ont été étudiées durant une année, il varie entre 13 et 52 dans les quatre milieux où seulement un ou deux prélèvements occasionnels ont été effectués. Il paraît difficile de trouver une relation quelconque entre ces diverses valeurs et la salinité; le petit nombre des milieux étudiés sur une longue période d'une part et d'autre par le petit nombre de prélèvements épisodiques effectués dans d'autres milieux ne permettent pas d'avancer des hypothèses valables.

La composition de chacune des florules inventoriées est reportée dans le tableau 9. On remarquera l'absence ou la rareté des Chlorophycées et la dominance soit des Cyanophycées, soit des Diatomées.

Le pourcentage élevé de Diatomées peut être dû au fait que certaines espèces recensées n'étaient pas vivantes au moment de leur récolte et proviennent de peuplements installés à une époque plus ou moins éloignée où les conditions de milieu étaient bien différentes (cf. chapitre 2). C'est le cas par exemple de *Melosira granulata* et ses variétés qui n'ont jamais été trouvés dans des eaux d'une concentration supérieure à 2 grammes par litre et dont on observe ici des frustules alors que la concentration minimale du milieu est de l'ordre de 3 à 5 grammes par litre. La richesse de la flore diatomique pourrait donc être ici surestimée par rapport à ce qu'elle est réellement dans le milieu au moment des prélèvements, néanmoins ce groupe d'algues paraît être l'un de

ceux qui s'adapte le mieux aux variations rapides de la salinité.

Les Chlorophycées sont en proportion très faibles même si l'on admet que les pourcentages donnés sont légèrement sous-estimés, quelques espèces de Volvocales ayant sans doute échappé aux observations.

Conclusions

Les lacs étudiés forment un ensemble où les eaux ont des caractéristiques physico-chimiques identiques et où seule la concentration en sels dissous varie suivant les milieux. D'autre part on peut considérer que, l'aire géographique de l'ensemble de ces points d'eau étant relativement restreinte, le peuplement algal est au départ identique pour tous les lacs, qu'il s'agisse des algues du lac Tchad restées en place au cours de la dernière régression du lac ou des apports dus au vent ou aux migrations animales. Les eaux, faiblement minéralisées au moment où le lac Tchad recouvrait l'ensemble de la zone étudiée ont vu ensuite, après isolement lors de la dernière régression, leur teneur en sels dissous s'accroître à des degrés très divers avec des fluctuations intermédiaires en relation avec les cycles de la pluviométrie annuelle et les différents niveaux du lac Tchad.

L'étude de la flore algale montre que plus les milieux sont riches en sels, plus le nombre de taxons décroît, phénomène inverse de celui qui se produit dans les eaux saumâtres des estuaires. Dans ces derniers, la distribution des organismes est en relation avec la salinité et le nombre d'espèces augmente à mesure que la concentration en sels se rapproche de celle de l'eau de mer (DAY *et al.* 1952, GUNTER 1961). Le peuplement y est d'origine marine et le nombre des espèces d'eau douce reste très limité tandis que dans les eaux salées intérieures, à l'exception de quelques formes marine accidentelles, ce sont les espèces dulgaquicoles qui dominent. Dans les deux cas, un certain nombre de formes

paraissent particulièrement adaptables à leur nouveau milieu, saumâtre ou natroné.

L'action de la concentration en sels sur le nombre de taxons est toutefois masquée dans les eaux douces et oligocarbonatées par l'intervention d'autres facteurs dont l'influence est prédominante ; ce sont par exemple le volume de la collection étudiée, la variété des biotopes existants, la présence de végétation immergée, les apports en matières organiques... Il nous est assez difficile d'indiquer le seuil limitant l'influence de la salinité sur la richesse de la flore algale ; toutefois, les eaux ayant une concentration inférieure à un gramme par litre, ont un nombre d'espèces indépendant de la teneur en sels.

Au-dessus de cette valeur, la diminution du nombre de taxons en relation avec la salinité est nette ; cependant elle ne s'effectue pas régulièrement, mais par paliers entre lesquels le nombre d'espèces décroît rapidement ; c'est le cas entre les lacs oligocarbonatés et méso-carbonatés, le nombre d'espèces marquant un palier dans les milieux méso- et polycarbonatés puis décroissant à nouveau rapidement. Ces degrés apparaissent aussi dans l'évolution de la composition qualitative du peuplement algal. Dans les eaux douces et les milieux oligocarbonatés, les Chlorophytes sont toujours en proportions importantes, les Cyanophytes ne formant qu'une petite partie de la flore. Dans les lacs méso- et polycarbonatés, Diatomées et Cyanophycées sont dominantes, puis, pour des concentrations en sel supérieures, le pourcentage de ces dernières s'accroît encore.

On peut donc distinguer d'après l'ensemble des caractéristiques de la flore algale trois zones de salinité distinctes :

— une première zone comprenant les eaux douces fortement minéralisées jusqu'à un maximum de trois à quatre grammes par litre de résidu sec. On trouve dans cette catégorie à peu près toutes les espèces vivant habituellement dans les eaux douces ; les pourcentages approximatifs des différents groupes d'algues sont les suivants : Diatomées 30 à 40 %, Chlorophycées 30 %, Cyanophycées 20 %, Eugléniens 10 à 15 %. Le nombre total de taxons présents reste élevé et ne descend pas au-dessous de 200.

— Une zone moyenne où la salinité se situe entre environ 4 à 30 grammes de résidu sec par litre. Eugléniens et Chlorophytes ont presque entièrement disparu, les Diatomées formant en général la moitié, ou un peu plus, du nombre d'espèces présentes. La composition de la flore peut se schématiser approximativement ainsi : 55 % de Diatomées, 37 % de Cyanophycées, 3 % de Chlorophycées et 5 % pour l'ensemble des autres groupes. Le nombre total de taxons se situe entre environ 50 et 100.

— Au-dessus de 30 grammes de résidu soluble par litre, le nombre d'espèces décroît rapidement, 40 à

50 taxons étant un maximum. Les Chlorophycées sont à peu près inexistantes, la flore étant composée pour plus de 50 % par des Cyanophycées ; les Diatomées viennent ensuite avec 20 à 40 % des taxons. En raison du faible nombre total d'espèces, les quelques autres groupes représentés, Pyrrophytes, Chrysophycées, forment un pourcentage appréciable de la flore (5 à 15 %).

Le découpage obtenu d'après ces trois types de populations algales dans les eaux intérieures carbonatées diffère de celui établi par BEADLE (1959) pour les eaux salées intérieures. Cet auteur, à partir d'études faites sur le peuplement animal et végétal des milieux salés d'Afrique du Nord, propose la classification suivante :

(1) Une première zone jusqu'à une teneur en sels de 15 ‰ colonisée par un grand nombre d'espèces qui habitent normalement les eaux douces. Beaucoup de poissons d'eau douce vivent ainsi dans ces milieux.

(2) Une zone moyenne entre 15 et 50 ‰ de salinité habitée par des espèces qui montrent une préférence pour les eaux salées bien que beaucoup existent aussi dans la zone inférieure et même en eau douce.

(3) Une zone allant de 50 ‰ à la saturation où seules quelques espèces (*Artemia salina* et larves d'*Aedes detritus* par exemple) peuvent résister à ces hautes concentrations.

Pour les eaux saumâtres par ailleurs, il définit trois zones d'après les données physiologiques rassemblées sur les organismes pouvant vivre dans ces milieux :

(1) Une zone comprenant les eaux douces où les concentrations sont inférieures à 5 ‰ peuplée par des organismes tous d'origine dulçaquicole.

(2) Une large zone moyenne de 5 à 30 ‰ environ groupant les organismes ayant des possibilités variées pour adapter leurs tissus aux changements de la composition de leurs liquides humoraux.

(3) Une zone incluant au moins les eaux eu- et hyperhalines (sa limite inférieure ne serait pas bien définissable). Elle est habitée par des organismes marins poïkilosmotiques n'ayant que des possibilités faibles ou nulles d'adapter leurs tissus à un sang dilué.

Assez paradoxalement le partage en zones qui apparaît dans le peuplement algal des eaux natronées est identique à celui établi non pour les eaux salées intérieures mais pour les eaux saumâtres. On remarque donc qu'une grande partie des algues recensées (Chlorophycées, Eugléno-phycées) supporte des salinités plus basses (5 ‰ au lieu de 15 ‰) que celles habituellement tolérées dans les eaux

salées intérieures par les organismes d'eau douce en général. Pour expliquer ce phénomène, on peut, comme le suppose BEADLE (*ibid.*) à propos de la zone inférieure des eaux saumâtres, avancer que « the upper limit of this zone (about 5 ‰) would be considerably higher if the penetration by fresh-water animals were unhampered by some factors other than salinity »; mais il est évidemment bien difficile de dénombrer les éléments qui, en dehors de la salinité, peuvent ici limiter l'adaptation des espèces d'eau douce et d'estimer dans quelle mesure ils interviennent. La température toujours élevée des milieux, leur étendue toujours limitée, leur régime hydrologique caractérisé par des variations saisonnières et annuelles de la salinité pouvant entraîner des assèchements temporaires, la composition chimique des eaux où dominent presque exclusivement bicarbonates et carbonates de sodium sont autant de facteurs particuliers aux collections d'eaux du Kanem et susceptibles de modifier la structure du peuplement algal.

Il faut par ailleurs, dans les classifications établies par Beadle, tenir compte du fait que le découpage en zones a été effectué d'après des travaux concernant surtout la faune (Crustacés microscopiques, Rotifères, Nématodes, Mollusques, larves d'Insectes, Poissons) tandis que nous nous sommes limités exclusivement à la flore algale. On peut penser que les algues possèdent moins de possibilités d'adaptation à des concentrations croissantes que les animaux disposant de mécanismes de régulation osmotique et ionique plus perfectionnés; ceci expliquerait les limites plus basses des différentes zones définies pour le phytoplancton des mares natronées. Malheureusement les renseignements recueillis jusqu'ici sur le plancton végétal des milieux salés continentaux, fragmentaires et incomplets, ne permettent pas de vérifier cette hypothèse. De toutes façons, les différences observées mettent en évidence la difficulté d'établir une classification en zones de peuplements homogènes adaptée à toutes les catégories d'eaux salées intérieures.

Dans la classification proposée pour les eaux natronées du Tchad, chaque zone de salinité est caractérisée au point de vue algal par un groupe d'espèces, ou même parfois une seule, formant en général des peuplements très denses. De nombreux auteurs ont fait état de l'importance des développements phytoplanctoniques dans les eaux salées continentales des pays tempérés et surtout des régions tropicales, ainsi JENKIN (1932) pour les lacs du Kenya, KUEHNE (1941) pour ceux du Saskatchewan au Canada, GESSNER (1957) en Turquie, THOMASSON (1960) au Pérou, CASTENHOLZ

(1960) dans l'état de Washington aux États-Unis, BAXTER et WOOD (1965) en Éthiopie, LÉONARD et COMPÈRE (1967) dans le Borkou au nord du Tchad, HAMMERTON (1968) au Soudan, etc. Dans les lacs permanents, c'est à de rares exceptions près, toujours la même espèce qui forme fleur d'eau tout au long de la période étudiée. Il ne s'agit d'ailleurs pas pour l'ensemble de ces lacs de fleurs d'eau à proprement parler mais plutôt « eine Veränderung der Eigenfarbe des Wassers durch Plankton, das nicht an der Oberfläche angehäuft ist » (HUBER-PESTALOZZI 1938).

La composition du phytoplancton peut donc selon les salinités se schématiser comme suit.

La zone des eaux douces relativement riches en sels dissous et des eaux oligocarbonatées est caractérisée par la grande abondance des Cyanophycées du genre *Microcystis*, principalement *M. aeruginosa* et *M. elachista* var. *planctonica*. Les Chlorophytes des genres *Scenedesmus* et *Tetraedron* sont bien représentées. Si dans les eaux douces, on trouve encore de nombreuses Diatomées filamenteuses *Melosira granulata* et ses variétés, celle-ci est à peu près inexistante dans les lacs oligocarbonatés.

La deuxième zone de salinité qui groupe les milieux ayant des concentrations de quatre à trente grammes de sel par litre comprend deux types de peuplement phytoplanctonique bien distincts. Le premier est formé par *Oscillatoria platensis* f. *minor* en masse et comprend en outre *Anabaenopsis arnoldii*, *Chroococcidiopsis* cf. *thermalis*, *Oscillatoria laxissima* et *Gymnodinium* sp.; c'est le peuplement typique des lacs mésocarbonatés comme Djikare ou le quatrième lac de Mombolo. Le second type avec en quantité *Oscillatoria platensis* forme typique et, en nombre beaucoup moindre, *Anabaenopsis arnoldii*, *Anomoeoneis sphaerophora* et *Cryptomonas* sp. caractérise les milieux polycarbonatés.

Enfin la zone de salinité groupant les milieux ayant des teneurs supérieures à 30 grammes par litre est peuplée par un phytoplancton très dense à *Oscillatoria platensis* où se mêlent quelques rares *Anabaenopsis arnoldii*.

A l'intérieur de chacune des trois grandes zones définies, les espèces dominantes permettent donc de distinguer en général deux sous-zones de sorte que la classification retenue pour les eaux saumâtres par Kolbe, Hedgpeth et Aguesses peut être utilisée ici, sauf pour la zone des fortes salinités où la distinction entre les eaux eu- et hypercarbonatées n'apparaît pas dans la flore. L'ensemble de nos connaissances peut donc se résumer ainsi :

TABLEAU 10

1 ^{re} zone de salinité — Nombre de taxons > 200 — Flore variée Chlorophytes > 25 % des taxons	Eaux douces relativement riches en sels dissous.	Flore à <i>Microcystis</i> dominant avec présence de <i>Melosira granulata</i> .
	Eaux oligocarbonatées.	Flore à <i>Microcystis</i> ; <i>Melosira granulata</i> absent ou rare.
2 ^e zone de salinité — Nombre de taxons entre 50 et 100 — Flore comprenant Cyanophycées et Diatomées, ces dernières légèrement dominantes.	Eaux mésocarbonatées	Flore à <i>Oscillatoria platensis f. minor</i> dominant.
	Eaux polycarbonatées	Flore à <i>Oscillatoria platensis</i> dominant, mêlé à <i>Anabaenopsis arnoldii</i> , <i>Anomoeoneis sphaerophora</i> et <i>Cryptomonas sp.</i> abondants.
3 ^e zone de salinité — Nombre de taxons < 50 — Flore comprenant Diatomées et Cyanophycées, ces dernières étant dominantes.	Eaux eu- et hypercarbonatées.	Flore à <i>Oscillatoria platensis</i> presque uniquement.

Cette classification est valable pour des milieux dont les variations de salinité restent modérées; elle ne s'applique pas à la flore algale des mares temporaires où l'évolution de la salinité liée à l'évaporation intense qui sévit après une courte saison de remplissage de deux mois durant les pluies est très rapide. Les eaux passent en effet en l'espace de quatre à six mois du type hypercarbonaté, au moment des premières pluies qui dissolvent la couche de natron pulvérulent déposée au fond de la mare durant l'assec, au type oligocarbonaté ou plus souvent mésocarbonaté lors du remplissage maximal puis deviennent ensuite poly-, eu- et hypercarbonatées avant l'assèchement final. Il est donc certain qu'entrent alors en jeu pour les algues la faculté et la rapidité d'adaptation à des concentrations sans cesse variables, d'où un peuplement phytoplanctonique différent de celui observé dans les milieux permanents. On assiste ainsi aux dominances successives d'espèces qui se relaient en « fleurs d'eau » au cours de l'assèchement du milieu : les flagellés, en général des Volvocales, peuplent en grandes quantités les eaux hyperhalines au début de la mise en eau; *Anabaenopsis arnoldii* se développe en abondance dans les eaux méso- et polycarbonatées souvent mêlé dans les eaux mésocarbonatées à *Scenedesmus bourrellyi* qui n'a jusqu'à présent été trouvé que dans des mares temporaires. *Oscillatoria platensis f. minor* n'a pas été observé quelle que soit la teneur en sels tandis que l'espèce-type se développe en masse dans les eaux poly-, eu- et hypercarbonatées comme dans les lacs permanents. Des Cyanophycées

monocellulaires du genre *Synechocystis* apparaissent souvent en abondance dans la période qui précède directement l'assèchement. En dehors du développement important d'*Oscillatoria platensis* dans les eaux fortement natronées, la composition des peuplements en relation avec la salinité présente donc dans ces milieux peu d'analogies avec celle des milieux stables.

Les eaux natronées du Kanem, par la nature particulière de leurs sels dissous et par l'importance du gradient de salinité existant dans cette région présentent un intérêt hydrobiologique certain. L'analyse qualitative de la flore algale effectuée ici sera complétée ultérieurement par une étude quantitative afin de confirmer les résultats obtenus, plus spécialement en ce qui concerne l'influence de la salinité, et de mettre en évidence les variations saisonnières éventuelles du phytoplancton.

L'extension de la présente étude, limitée ici au domaine algal, à l'ensemble de la biocénose vivant dans chacun de ces milieux permettrait de connaître les différents types de peuplements aquatiques et de vérifier si la zonation indiquée par les algues peut être étendue aux groupes animaux. Enfin, l'abondance dans beaucoup de lacs et de mares d'*Oscillatoria platensis*, Cyanophycée très riche en protéines utilisée localement dans l'alimentation après séchage au soleil, ajoute encore à l'intérêt biologique et écologique de ces collections d'eau.

Manuscrit regu au S.C.D. le 18 décembre 1972.

4. OUVRAGES CONSULTÉS

- AGUESSE (P.), 1957. — La classification des eaux poikilohalines, sa difficulté en Camargue, nouvelle tentative de classification. *Vie et Milieu*, 8, 341-363.
- AMANIEU (M.), 1967. — Introduction à l'étude écologique des réservoirs à poissons de la région d'Arcachon. *Vie et Milieu*, sér. B, 18, 2-B, 381-446.
- ANDERSON (G. C.), 1958. — Seasonal characteristics of two saline lakes in Washington. *Limnol. Oceanogr.*, 3, 51-68.
- ANDERSON (G. C.), 1958. — Some limnological features of a shallow saline meromictic lake. *Limnol. Oceanogr.*, 3, 259-270.
- ARMITAGE (K. B.), 1971. — A highly alkaline lake in Nicaragua. *Hydrobiologia*, 38, 3-4, 437-439.
- BAILEY (L. W.), 1922. — Diatoms from the Quil Lakes, Saskatchewan, and from Airdrie, Alberta. *Contr. Can. Biol. Fish.*, 11, 155-166.
- BATERTON (J. Jr.), VAN BAALLEN (C.), 1971. — Growth responses of blue green algae to sodium chloride concentration. *Arch. Mikrobiol.*, 76, 2, 151-165.
- BAXTER (R. M.), WOOD (R. B.), 1965. — Studies on stratification in the Bishoftu Crater Lakes. in « The application of biological research to the development of East Africa ». *J. Appl. Ecol.*, 2, 2, 416.
- BAYLY (I. A. E.), 1969. — Symposium on « Salt and Brackish Inland waters ». Introductory comments. *Verh. int. Verein. Limnol.*, 17, 419-420.
- 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.
- BAYLY (I. A. E.), WILLIAMS (W. D.), 1966. — Chemical and biological studies on some saline lakes of South East Australia. *Austr. J. mar. Freshwat. Res.*, 17, 177-228.
- BEADLE (L. C.), 1932. — Scientific results of the Cambridge Expedition to the East African Lakes 1930-1931. The waters of some East African Lakes in relations to their fauna and flora. *J. Linn. Soc. (Zool.)*, 38, 157-211.
- BEADLE (L. C.), 1943. — An ecological survey of some inland saline waters of Algeria. *J. Linn. Soc. (Zool.)*, 41, 218-242.
- BEADLE (L. C.), 1959. — Osmotic and ionic regulation in relation to the classification of brackish and inland saline waters. *Archo Oceanogr. Limnol.*, 11 (suppl.), 143-151.
- BEADLE (L. C.), 1969. — Osmotic regulation and the adaptation of freshwater animals to inland saline waters. *Verh. int. Verein. Limnol.*, 17, 421-429.
- BEHRE (K.), 1958. — Cyanophyteen aus dem Gebirge von Tibesti, gesammelt von Hern Quezel in Mission botanique au Tibesti. *Mem. Inst. Rech. Sahar.*, 4, 13-22.
- BOND (R. M.), 1935. — Investigation of some Hispanolan lakes. II. Hydrology and Hydrobiology. *Arch. Hydrobiol.*, 28, 137-161.
- BOUET (G.), 1955. — Faune de l'Union Française. XVI. Oiseaux de l'Afrique Tropicale. 2 vol., O.R.S.T.O.M., Paris, 798 p.
- BOURRELLY (P.), 1957. — Algues d'eau douce du Soudan français, région du Macina. *Bull. IFAN*, sér. A, 19, 1047-1102, 21 pl.
- BOURRELLY (P.), 1961. — Algues d'eau douce de la République de Côte d'Ivoire. *Bull. IFAN*, sér. A, 23, 283-374, 24 pl.
- BOURRELLY (P.), MANGUIN (E.), 1952. — Algues d'eau douce de la Guadeloupe. Sedes, Paris, 282 p., 31 pl.
- BROOK (A. J.), 1954. — A systematic account of the phytoplankton of the Blue and White Nile. *Ann. Mag. nat. Hist.*, sér. 12, 7, 648-656.
- CARMOUZE (J. P.), 1969. — La salure globale et les salures spécifiques des eaux du lac Tchad. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, III, 2, 3-14.
- CASTENHOLZ (R. W.), 1960. — The algae of saline and freshwater lakes in the Lower Grand Coulee, Washington. *Res. Stud. Wash. St. Univ.*, 28, 4, 125-155.
- CASTENHOLZ (R. W.), 1969. — Thermophilic blue green Algae and the thermal environment. *Bacter Rev.*, 33, 4, 476-504.
- CHOLNOKY (B.), 1929. — *Adnotationes criticae ad floram Bacillariorum Hungariae*. IV. Floristisch-okologische Bacillarien Untersuchungen in den sudlichen Teilen der ungarischen Tiefebene (Alföld). *Magyar Bot. Lap.* 28, 100-155.
- CHOLNOKY (B. J.), 1968. — Die Ökologie der Diatomeen in Binnengewässern. J. Gramer, Lehre, 699 p.
- COMPÈRE (P.), 1967. — Algues du Sahara et de la région du lac Tchad. *Bull. Jard. Bot. Nat. Belg.*, 37 (2), 109-188, 20 pl.
- COMPÈRE (P.), 1970. — Contribution à l'étude des eaux douces de l'Ennedi. VI. Algues. *Bull. IFAN*, 32, ser. A, 1, 18-64, 8 pl.

- DAHL (E.), 1956. — Ecological salinity boundaries in polyhaline waters. *Oikos*, 7, 1, 1-21.
- DAJOZ (R.), 1970. — Précis d'écologie. Dunod, Paris, 357 p., 114 fig.
- D'ANCONA (U.), 1933. — Faune et Flore des eaux saumâtres. *R. & P.V. Com. Inter. Explor. Sci. Médit.*, 8, 167-184.
- D'ANCONA (U.), 1959. — The classification of brackish waters with reference to the North Adriatic lagoons. *Archo. Oceanogr. Limnol.*, 11, suppl. 93-109.
- DAY (J. H.), MILLARD (N. A. H.), HARRISSON (A. D.), 1952. — The ecology of South African estuaries. Part III. Knysna : a clear open estuary. *Trans. Roy. Soc. South Africa.*, 33 (3), 367-413.
- DUBOIS (A.), 1971. — Recherches sur l'écologie des algues peuplant les collections d'eau temporaire à salinité variable du littoral méditerranéen languedocien. *Vie et Milieu*, Suppl. 22, 193-202.
- DUPONT (B.), 1967. — Étude des formations sédimentaires du Kanem. Premiers résultats. O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy, 150 p. multigr.
- DUSSART (B.), 1966. — Limnologie. Gauthier-Villars, Paris, 677 p., 29 pl.
- EDMONSON (W. T.), 1956. — Measurements of conductivity of lake water *in situ*. *Ecology*, 37, 201-204.
- FLOWERS (S.), 1934. — Vegetation of the Great Salt Lake region. *Bot. Gaz.*, 95, 353-418.
- FONTES (J. C.), MAGLIONE (G.), ROCHE (M. A.), 1969. — Données isotopiques préliminaires sur les rapports du lac Tchad avec les nappes de la bordure nord-est. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrolog.*, VI, 1, 17-34.
- GAUTHIER-LIÈVRE (L.), 1958. — Algues in Mission Botanique au Tibesti par P. Quezel. *Mem. Inst. Rech. Sahar.*, 4, 27-43.
- GESSNER (F.), 1957. — Van Gölü. Zur Limnologie des grossen Soda-Sees in Ostanatolien (Turkei). *Arch. f. Hydrobiol.*, 53, 1, 1-22.
- GILLET (H.), 1960. — Observations sur l'avifaune du massif de l'Ennedi (Tchad). *L'Oiseau et la Rev. Française d'Ornithologie*, 30, 1, 45-82.
- GRÖNBLAD (R.), 1962. — Sudanese Desmids. II. *Act. Bot. Fenn.*, 63, 1-19.
- GRÖNBLAD (R.), FROWSE (G. A.), SCOTT (A. M.), 1958. — Sudanese Desmids. *Act. Bot. Fenn.*, 58, 1-82, 29 pl.
- GUICHARD (E.), 1957. — Eaux du lac Tchad et mares permanentes au nord d'Ira. O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy, 26 p., 4 tabl., multigr.
- GUNTER (G.), 1956. — Some relations of faunal distributions to salinity in estuarine waters. *Ecology*, 37, 616-619.
- GUNTER (G.), 1961. — Some relation of estuarine organisms to salinity. *Limnol. Oceanogr.*, 6, 182-190.
- HAMMER (U. T.), 1971. — Limnological studies of the Lakes and Streams of the Upper Qu'appelle River System, Saskatchewan, Canada. I. Chemical and Physical Aspects of the Lakes and Drainage system. *Hydrobiologia*, 37, 3-4, 473-507.
- HAMMERTON (D.), 1968. — Recent discoveries in the Caldera of Jebel Marra. *Sudan Notes Rec.*, 49, 136-148.
- HEDGPETH (J. W.), 1951. — The classification of Estuarine and Brackish Waters and the Hydrographic Climate. *Rep. Com. Treat. Mar. Ecol. and Paleoccol.*, 11, 49.
- HEDGPETH (J. V.), 1956. — The population of hypersaline and relict lagoons. 14^e Int. Congr. Zool. Proc. Copenhagen, 452-453.
- HEDGPETH (J. W.), 1959. — Some preliminary considerations of the biology of inland mineral waters. *Archo. Oceanogr. Limnol.*, 11, suppl. 111-141.
- HUBER-PESTALOZZI (G.) 1938. — Das phytoplankton des Süßwassers, in Thienemann. A., Die Binnengewässer. I. Allgemeiner Teil, Blaualgen, Bakterien, Pilze, 342 p., 66 pl.
- HUTCHINSON (G. E.), 1937. — A contribution to the limnology of arid regions. *Trans. Conn. Acad. Arts Sci.*, 33, 47-132.
- HUTCHINSON (G. E.), 1957-1967. — A treatise on Limnology. 1 et 2. John Willey and Sons, New York, 1015 et 1115 p.
- ILTIS (A.), 1968. — Tolérance de salinité de *Spirulina platensis* (Gom.) Geitl. (Cyanophyta) dans les mares natronées du Kanem (Tchad). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, II, 3-4, 119-125.
- ILTIS (A.), 1969. — Phytoplankton des eaux natronées du Kanem (Tchad). I. Les lacs permanents à spirulines. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, III, 2, 29-44.
- ILTIS (A.), 1969. — Phytoplankton des eaux natronées du Kanem (Tchad). II. Les mares temporaires. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, III, 3-4, 3-19.
- ILTIS (A.), 1970. — Phytoplankton des eaux natronées du Kanem (Tchad). III. Variations annuelles du plancton d'une mare temporaire. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, IV, 2, 53-59.
- ILTIS (A.), 1971. — Phytoplankton des eaux natronées du Kanem (Tchad). V. Les lacs mésosalins. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, V, 1, 73-84.
- ILTIS (A.), 1971. — Note sur *Oscillatoria* (sous-genre *Spirulina*) *platensis* (Nordst.) Bourrelly (Cyanophyta) au Tchad. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, V, 1, 53-72.
- ILTIS (A.), 1971. — Variations saisonnières du peuplement en Rotifères des eaux natronées du Kanem (Tchad). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, VI, 2, 101-112.
- ILTIS (A.), 1971. — Algues nouvelles des mares du Kanem (Tchad). *Rev. Alg.*, n. s., 10, 2, 172-176.
- ILTIS (A.), 1972. — Algues des eaux natronées du Kanem (Tchad). Première partie. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, VI, 3-4, 173-246.
- JENKIN (P. M.), 1932. — Reports on the Percy Sladen Expedition to some Rift Valley Lakes in Kenya in 1929. I. Introductory Account of the Biological Survey of Five Freshwater and Alkaline Lakes. *Ann. Mag. Nat. Hist.*, sér. 10, 9, 533-553.
- JENKIN (P. M.), 1936. — Reports on the Percy Sladen Expedition to some Rift Valley Lakes in Kenya in 1929. VII. Summary of the Ecological Results, with Special Références to the Alkaline Lakes. *Ann. Mag. Nat. Hist.*, sér. 10, 18, 133-181.
- KAMAT (N. D.), 1963. — The Algae of Kolhapur, India. *Hydrobiologia*, 22, 3-4, 209-306, 18 pl.

- KERAMBRUN (P.), SZEKIELDA (K. H.), 1971. — Conditions écologiques dues à l'évaporation dans les étangs de Camargue. *Hydrobiologia*, 37, 2, 273-283.
- KILHAM (P.), 1971. — A hypothesis concerning silica and the freshwater planktonic diatoms. *Limnol. Oceanogr.*, 16, 1, 10-18.
- KOL (E.), 1929. — « Wasserblute » der Sodateiche auf der Nagy Alfold (Grossen Ungarischen Tiefebene). I. *Arch. f. Protistenk.*, 66, 517-522.
- KOL (E.), 1931. — Zur Hydrobiologie eines Natronsees bei Szeged in Ungarn. *Verh. Int. Verein. theor. angew. Limnol.*, 5, 1, 103-157, 7 pl.
- KOLBE (R. V.), 1927. — Zur Ökologie, Morphologie und Systematik der Brackwasser. Diatomeen. Die Kieselalgen des Sperenberger Salzgebietes. *Pflanzenforschung*, 7, 143 p.
- KUEHNE (P. E.), 1941. — The phytoplankton of southern and central Saskatchewan (Parts I-II). *Can. J. Res.*, Sec. C, 19, 292-322.
- KUFFERATH (J.), 1951. — Représentation graphique et classification chimique rationnelle en types des eaux naturelles. *Bull. Inst. Roy. Sc. Nat. Belg.*, 27, 43-44-45, 22 p.
- LEGLER (F.), 1941. — Zur Ökologie der Diatomeen burgenländischer Natrontümpel. *Sitz. Ber. Akad. Wiss. Wien. Math. Naturwiss. Kl.*, I, 150, 45.
- LEGLER (F.), KRASSKE (G.), 1940. — Diatomeen aus dem Van See (Armenien). Beiträge zur Ökologie der Brackwasserdiatomeen. I. *Beih. Bot. Zbl.*, 60, 335.
- LÉONARD (J.), COMPÈRE (P.), 1967. — *Spirulina platensis* (Gom.) Geitl., algue bleue de grande valeur alimentaire par sa richesse en protéines. *Bull. Jard. Bot. Nat. Belg.*, 37 (1), Suppl., 23 p.
- LEVÊQUE (C.), 1967. — Oiseaux non passereaux du Bas Chari et de la zone est du lac Tchad. O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy, 14 p., multigr.
- LEWIN (R. A.), 1962. — Physiology and biochemistry of Algae. Academic Press, N. Y. and London, 929 p.
- LIND (E. M.), 1965. — The phytoplankton of some Kenya waters. *J. E. Afr. Nat. Hist. Soc.*, 25, 2, 76-91.
- LIND (E. M.), 1967. — Some East African Desmids. *Nova Hedwigia*, 13, 361-387.
- LIND (E. M.), 1968. — Notes on the distribution of phytoplankton in some Kenya waters. *Br. Phycol. Bull.*, 3 (3), 481-493.
- MACAN (T. T.), 1963. — Freshwater ecology. Longmans, Green and Co, Londres, 338 p.
- Mc COY (J. J.), 1970. — Populations fluctuations in the genus *Trachelomonas* (O. Euglenida). *J. Elisha Mitchell scient. Soc.*, 86, 4, 198-202.
- MAGLIONE (G.), 1968. — Présence de gaylussite et de trona dans les natronières du Kanem. *Bull. fr. Mineral. Cristallogr.*, 91, 388-395.
- MAGLIONE (G.), 1969. — Premières données sur le régime hydrogéochimique des lacs permanents du Kanem (Tchad). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, 3, 1, 121-141.
- MANGUIN (E.), 1958. — Diatomées du Borkou et du Tibesti in Mission botanique au Tibesti par P. Quezel. *Mem. Inst. Rech. Sahar.* 4, 23-26.
- MANGUIN (E.), LÉBOIME (R.), 1948. — Sur la présence anormale de Diatomées marines dans les cuvettes d'eau douce de l'Alpinum du Museum. *Bull. Mus. Nat. Hist. Nat.*, 2^e sér., 20, 3, 311-314.
- MARS (P.), 1961. — Recherches sur quelques étangs du littoral méditerranéen français et sur leurs faunes malacologiques. Thèse Faculté Sciences, Paris, 270 p.
- MOORE (G. T.), 1917. — Algological notes. II. Preliminary list of algae in Devils Lake, North Dakota. *Annals Missouri Bot. Gard.*, 4, 293-303.
- MOORE (G. T.), CARTER (N.), 1923. — Algae from lakes of the northeastern part of North Dakota. *Annals Missouri Bot. Gard.*, 10, 393-422.
- NIENHUIS (P. H.), SIMONS (J.), 1971. — *Vaucheria* species and some other algae on a Dutch salt marsh, with ecological notes on their periodicity. *Acta Bot. neerl.*, 20, 1, 107-118.
- NYGAARD (G.), 1955. — On the productivity of five Danish waters. *Proc. Int. Ass. Theor. Appl. Limnol.*, 12, 123-133.
- PETIT (G.), SCHACHTER (D.), 1951. — Le problème des eaux saumâtres. *Ann. Biol.*, 27 (7), 533-543.
- PETIT (G.), SCHACHTER (D.), 1959. — Les étangs et lagunes du littoral méditerranéen français et le problème de la classification des eaux saumâtres. *Archo. Océanogr. Limnol.*, 11, suppl., 75-91.
- PORA (E. A.), 1966. — Le facteur rhopique et le métabolisme minéral. *Rev. roum. biol.*, sér. Zool., 11, 2, 77-110.
- PORA (E. A.), 1969. — L'importance du facteur rhopique (équilibre ionique) pour la vie aquatique. *Verh. int. Verein. Limnol.*, 17, 970-986.
- POURRIOT (R.), ILTIS (A.), LÉVÊQUE-DUWAT (S.), 1967. — Le plancton des mares natronées du Tchad. *Internat. Rev. ges. Hydrobiol.*, 52, 4, 535-543.
- RAHAT (M.), DOR (J.), 1968. — The Hidden Flora of a lake. *Hydrobiologia*, 31, 2, 186-192.
- RAWSON (D. S.), 1956. — Algal indicators of trophic lake types. *Limnol. Océanogr.*, 1, 18-25.
- RAWSON (D. S.), MOORE (J. E.), 1944. — The saline lakes of Saskatchewan. *Can. J. Res.*, Sec. D, 22, 141-201.
- REDEKE (H. C.), 1922. — Zur Biologie der Niederländischen Brackwassertypen. *Bijdr. Dierk.*, 329-335.
- REMANE (A.), 1934. — Die Brackwasserfauna. *Zool. Anz.*, suppl., 7, 34-73.
- REMANE (A.), SCHLIEPER (C.), 1958. — Die Biologie des Brackwassers. in *Die Binnengewässer*, 22, 348 p.
- RICH (F.), 1932. — Reports on the Percy Sladen Expedition to some Rift Valley Lakes in Kenya in 1929 — IV. Phytoplankton from the Rift Valley Lakes in Kenya. *Ann. Mag. Nat. Hist.*, sér. 10, 10, 233-262.
- RICH (F.), 1933. — Scientific results of the Cambridge Expedition to the East African Lakes 1930-1931. 7. The Algae. *J. Linn. Soc. (Zool.)*, 38, 249-275.

- RZOSKA (J.), 1961. — Observations on Tropical Rainpools and General Remarks on Temporary Waters. *Hydrobiologia*, 17, 4, 265-286.
- SCOTT (A. M.), GRONBLAD (R.), GROASDALE (H.), 1965. — Desmids from the Amazon basin, Brazil, collected by Dr. H. Sioli. *Act. Bot. Fenn.*, 69, 94 p., 16 pl.
- SCOTT (A. M.), PRESCOTT (G. W.), 1961. — Indonesian Desmids. *Hydrobiologia*, 17, 1-132, 63 pl.
- SEGERSTRALE (S. G.), 1953. — Further notes on the increase in salinity of the inner Baltic and its influence on the fauna. *Societas Scientiarum Fennica Commentationes Biologicae*, 13 (15), 1-7.
- SOURNIA (A.), FRONTIER (S.), 1967. — Terminologie des phénomènes liés au temps en écologie. *Bull. Mus. Nat. Hist. Nat.*, 2^e sér., 39, 5, 1001-1002.
- TALLING (J. F.), TALLING (I. B.), 1965. — Chemical composition of African lake waters. *Internat. Rev. ges. Hydrobiol.*, 50, 3, 421-463.
- THOMASSON (K.), 1955. — A plankton sample from lake Victoria. *Svensk. Bot. Tidskr.*, 49, 1-2, 259-274.
- THOMASSON (K.), 1957-1960. — Notes on the plankton of Lake Bangweulu. *Nov. Act. Reg. Soc. Scient. Upsal.*, 4, 17; n° 2, part 1, 18 p.; n° 12, part 2, 43 p.
- THOMASSON (K.), 1960. — Ett fall av tropisk vattenblomning. *Bot. Not.*, 113, 2, 214-216.
- THOMASSON (K.), 1965. — Notes on algal vegetation of Lake Kariba. *Nov. Act. Reg. Soc. Scient. Upsal.*, 4, 19, 1, 34 p., 10 pl.
- THOMASSON (K.), 1967. — Phytoplankton from some lakes on Mt. Wilhelm, East New Guinea. *Blumea*, 15, 285-296.
- UHERKOVICH (G.), 1965. — Beiträge zur Kenntnis der Algenvegetation der Natron- bzw. Soda (Szik-) Gewässer Ungarns. I. Über die Algen des Feher- Teiches bei Kufeherto. *Acta. Botanica Hung.*, 9, 263-279.
- UHERKOVICH (G.), 1967. — Beiträge zur Algenflora der Natron — (Szik-) Gewässer Ungarns. I. Euglenophyteen aus dem Teich Oszeszek. *Acta Biol. Szeged*, 13, 3-4, 119-124.
- UHERKOVICH (G.), 1970. — Beiträge zur Kenntnis der Algenvegetation des Natron (Szik-) gewässer Ungarns. III. Das Phytoseston der Natronteiche bei Kufeherto. *Acta bot. hung.*, 16, 3-4, 405-426.
- UHERKOVICH (G.), 1972. — On the quantitative characteristics of the phytoplankton of the natron (« szik ») ponds of Hungary. Productivity problems of freshwaters. I.B.P.-UNESCO. Polish scientific publishers. Warszawa Krakow, 913-918.
- VAN MEEL (L.), 1954. — Exploration hydrobiologique du lac Tanganika 1946-1947. IV, 1. Le phytoplankton. *Inst. Roy. Sc. Nat. Belg.*, Bruxelles, 681 p., 78 pl.
- WILLIAMS (W. D.), 1964. — A contribution to lake typology in Victoria, Australia. *Verh. int. Verein. theor. angew. Limnol.*, 15, 158-168.
- WILLIAMS (W. D.), 1966. — Conductivity and the concentration of total dissolved solids in Australian lakes. *Austr. J. mar. Freshwat. Res.*, 17, 169-176.
- WILLIAMS (W. D.), 1972. — The uniqueness of salt lake ecosystems. Productivity problems of freshwaters. I.B.P.-UNESCO. Polish scientific publishers. Warszawa Krakow, 349-361.
- ZARROUK (C.), 1966. — Contribution à l'étude d'une Cyanophycée. Influence de divers facteurs physiques et chimiques sur la croissance et la photosynthèse de *Spirulina maxima* (Setch. et Gardner) Geitler. Thèse Doctorat, NR. A.O. 1064, Paris.
- ZIMMERMANN (U.), 1969. — Ökologische und physiologische Untersuchungen an der planktischen Blaualge *Oscillatoria rubescens* D.C. unter besonderer Berücksichtigung von Licht und Temperatur. *Schweiz. z. Hydrol.*, 31, 1, 1-58.