

PHYTOPLANCTON DES EAUX NATRONÉES DU KANEM (Tchad)

II. LES MARES TEMPORAIRES*

par A. ILTIS**

RÉSUMÉ

Le phytoplancton de quelques mares natronées temporaires du Tchad a été étudié qualitativement et quantitativement. Les variations quantitatives survenant durant la période de mise en eau chez les différentes espèces, et particulièrement chez la Cyanophycée Spirulina platensis, ont été suivies dans ces milieux.

SUMMARY

A qualitative and quantitative study of the phytoplankton has been made on some alkaline temporary ponds of the Republic of Chad. Observations are made on quantitative variations of different species and particularly about the Cyanophyceae Spirulina platensis.

INTRODUCTION

Dans le cadre de l'étude du plancton des collections d'eau du Kanem, région qui borde les rives nord-est du lac Tchad, des observations et des récoltes ont été effectuées dans plusieurs mares natronées temporaires appelées localement ouadis. Durant l'année 1967 et le début de 1968, des prélèvements réguliers ont été effectués dans les mares de Latir et de Maou-Leyla situées, la première à 20 kilomètres au N.N.E. de Bol, l'autre à 20 kilomètres au N.N.O. de cette localité ; d'autre part, des échantillonnages occasionnels ont été faits ces dernières années dans quatre autres stations : les mares d'Isseïrom, de Moro, de Mombolo (2^e mare) et un ouadi situé directement au nord du village de Latir (fig. 1).

Les pièces d'eau étudiées présentent toutes le même aspect ; il s'agit de mares installées dans les dépressions du système dunaire fossile caractéristique du relief du Kanem. Alimentées par les pluies et dans une certaine mesure par la nappe phréatique, elles sont en général peu

* La première partie de cette étude « Les lacs permanents à Spirulines » est parue dans les Cahiers O.R.S.T.O.M., série Hydrobiologie, vol. III, n° 2, 1969.

** Hydrobiologiste, Centre O.R.S.T.O.M., B.P. 65, Fort-Lamy (Tchad).

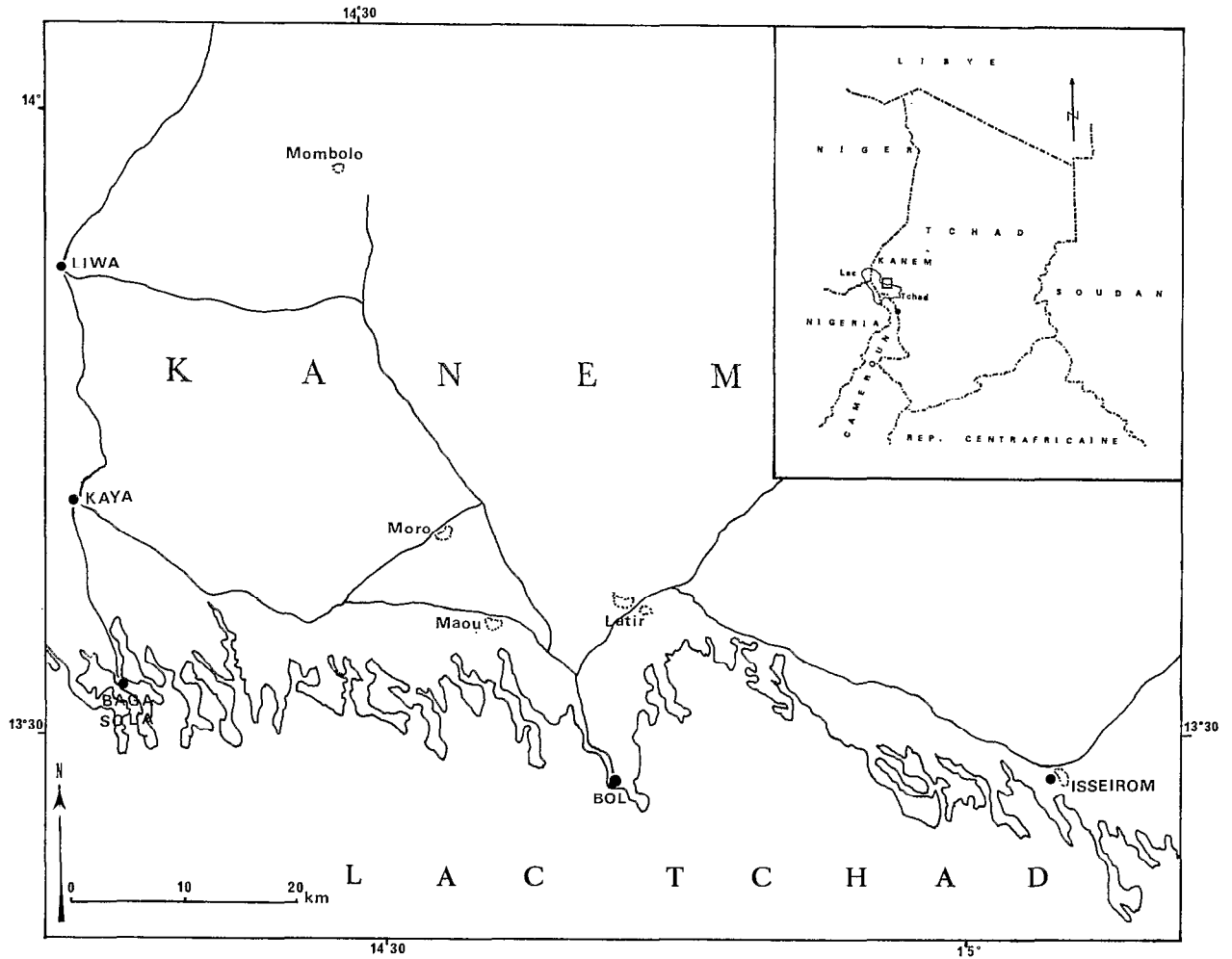


Fig. 1. — Carte de situation.

profondes (50 centimètres au maximum). Au pied des dunes, une ceinture à *Cyperus laevigatus* et à *Paspalidium geminatum* marque la limite des hautes eaux. Parfois quelques *Phragmites* subsistent en très mauvais état en bordure de la mare. La superficie des eaux peut atteindre, au maximum de remplissage, 10 à 20 hectares dans les plus grands ouadis. En saison chaude, après l'assèchement, l'argile du fond se recouvre d'une couche blanche d'efflorescences de natron (1) de quelques centimètres. Cette couche est due d'une part aux sels contenus dans la pellicule d'eau de surface évaporée et d'autre part à ceux apportés par l'évaporation de la nappe phréatique remontant par capillarité à travers la couche d'argile.

(1) Des études récentes de G. MAGLIONE (1968) ont montré qu'il s'agit plus exactement d'un composé hydraté de carbonate de sodium appelé trona. Nous utiliserons ici le terme général natron pour désigner au sens large les carbonates de sodium.

I. CARACTÉRISTIQUES DU MILIEU

Au point de vue du régime hydrologique, le remplissage des dépressions s'effectue durant la saison des pluies, de juillet à septembre (moyenne annuelle des précipitations dans cette région : 330 mm). La période où les mares restent en eau est de durée très variable. La plupart des dépressions à grande superficie et à fond plat situées à plus d'une dizaine de kilomètres du lac Tchad sont asséchées dès le mois de novembre. Dans les mares situées en bordure du lac, c'est le cas de Maou-Leyla et de Latir, la crue annuelle du lac Tchad se traduit en décembre par un palier dans l'assèchement ou même une légère remontée du niveau des eaux comme cela est visible sur la figure 2 où sont reportées les variations de la profondeur à Latir. Des études récentes (J. C. FONTES, G. MAGLIONE, M. A. ROCHE, 1969) ont montré que les infiltrations dues au lac Tchad n'imprègnent les rives que sur une largeur très limitée, de l'ordre de quelques dizaines de mètres. Des eaux météoriques infiltrées, peut-être fossiles, alimenteraient la nappe phréatique du Kanem et la montée du lac ne provoquerait qu'indirectement l'élévation du niveau des eaux des mares de bordure.

Dans certaines mares (Maou-Leyla, Mombolo), quelques centimètres de saumure peuvent subsister au point le plus profond durant une partie ou parfois la totalité de la saison sèche. Ainsi, à Maou-Leyla, en juin 1967 et en mars 1968, les prélèvements ont été faits dans un fond de mare, de surface très réduite, la presque totalité de l'ouadi étant alors à sec.

En résumé, la durée de la période de pleine eau est fonction de l'importance de la pluviométrie de l'année, de la proximité du lac Tchad et pour les mares de bordure de l'importance de

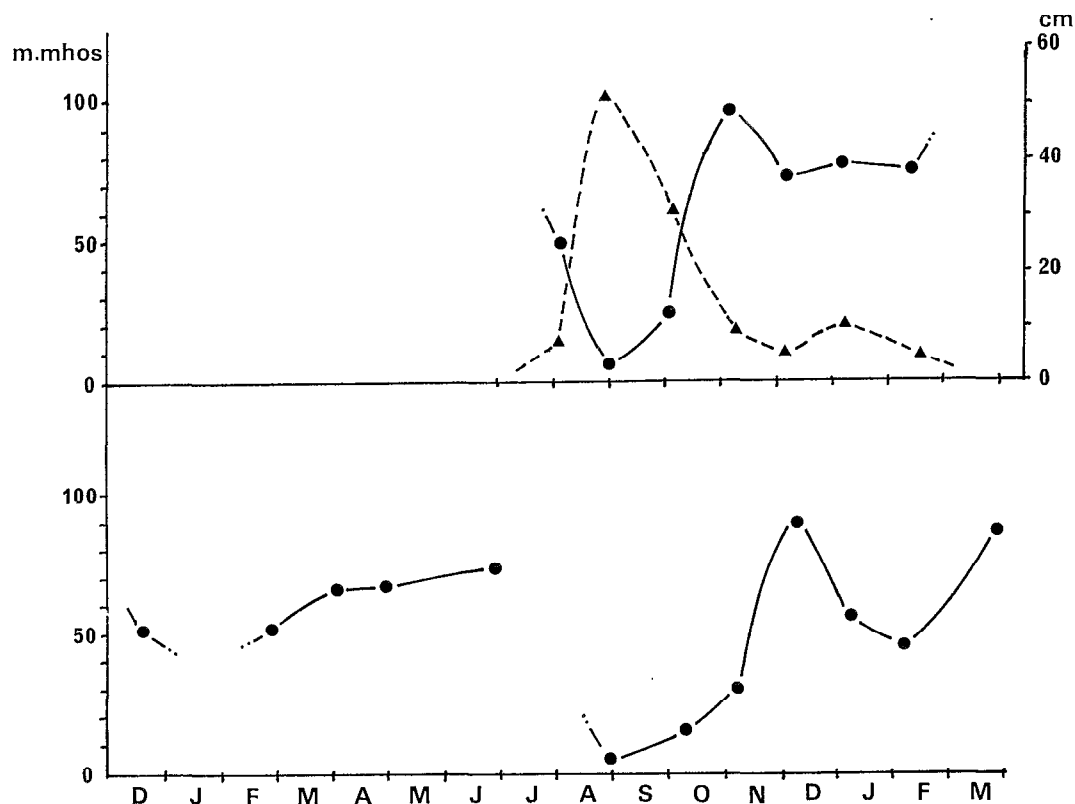


Fig. 2. — Variations saisonnières de la conductibilité (en trait plein) et du niveau d'eau (en tireté) dans les mares de Latir (en haut) et Maou-Leyla (en bas) de décembre 1966 à mars 1968.

la crue de celui-ci, et enfin du profil de la cuvette où s'accumulent les eaux météoriques, les pertes par évaporation étant d'autant plus grandes que la superficie est importante.

Les mesures de conductibilité ont été utilisées pour évaluer la concentration en sels des différents milieux. La courbe publiée par G. MAGLIONE (1969) permet de convertir les conductibilités obtenues en micromhos par centimètres à 25 °C en poids de sels dissous présents par litre. A Latir, la conductibilité a varié entre 7.628 (5,4 g/l) et 98.281 micromhos (200 g/l environ). A Maou-Leyla, la teneur en sel a varié entre 3 g/l (4.265 μ mhos) et 180 g/l environ (88.251 μ mhos). D'une saison des pluies à l'autre, on peut remarquer l'évolution suivante dans ce type de mare en bordure du lac Tchad (fig. 2) : forte salinité des premières eaux de remplissage qui dissolvent la couche de natron pulvérulent existant sur le fond, diminution rapide de la concentration en sels des eaux durant le mois d'août pendant lequel il tombe 50 % au moins des précipitations annuelles, ensuite, augmentation de la salinité à partir de fin septembre suivie d'un deuxième minimum en décembre-janvier et, enfin, concentration et assèchement durant la saison sèche.

Dans les milieux où des prélèvements occasionnels ont été faits, on a relevé les conductibilités suivantes à l'époque des échantillonnages de plancton :

Isseïrom	23. XII.66	15.294 micromhos
	21. I.67	28.873 —
Mombolo (2 ^e lac)	25. II.67	33.144 —
Nord de Latir	14. I.65	52.275 —
	13. VIII.65	24.635 —
	14. IX.65	38.994 —
Moro	9. II.68	17.886 —

Des renseignements sur les températures de ces milieux et en particulier les moyennes mensuelles à 7, 13 et 19 heures, ont été recueillis dans une publication récente (A. ILTIS, 1969). Dans la mare de Latir, les variations horaires ont été relevées à trois dates différentes de ces dernières années ; elles sont représentées sur la figure 3 et reportées dans le tableau suivant :

11-12.X.64			7-8.XII.64			13-14.IX.65		
Heure	Air	Eau	Heure	Air	Eau	Heure	Air	Eau
7 h 45	29°5	22°2	11 h 00	29°5	20°2	12 h 00	33°5	34°7
10 h 00	35°2	23°7	13 h 00	32°2	23°6	13 h 00	33°6	37°0
12 h 00	36°3	26°4	15 h 00	31°8	24°8	14 h 00	34°2	37°8
14 h 00	37°7	28°7	17 h 00	29°5	23°6	15 h 00	33°9	38°1
16 h 00	36°5	29°2	19 h 00	24°3	22°1	16 h 00	33°6	37°2
18 h 00	29°0	28°5	20 h 00	21°0	—	17 h 00	32°5	36°1
20 h 00	27°0	—	21 h 00	20°4	21°4	18 h 00	25°9	34°8
21 h 00	26°1	22°9	24 h 00	17°9	18°9	19 h 00	26°2	32°9
24 h 00	21°0	21°6	3 h 00	19°7	17°7	20 h 00	25°6	31°5
3 h 00	19°1	20°1	6 h 00	16°0	17°6	21 h 00	25°5	30°6
6 h 00	23°5	19°1	7 h 30	19°5	15°6	22 h 00	23°5	29°5
9 h 00	32°0	23°2	9 h 00	24°8	16°7	23 h 00	22°8	28°7
						24 h 00	23°5	28°0
						4 h 00	23°1	26°5
						6 h 00	23°1	26°5
						7 h 00	24°2	26°5
						8 h 00	24°2	26°5
						9 h 00	25°8	27°0
						10 h 00	27°7	29°2
						11 h 00	29°2	31°5

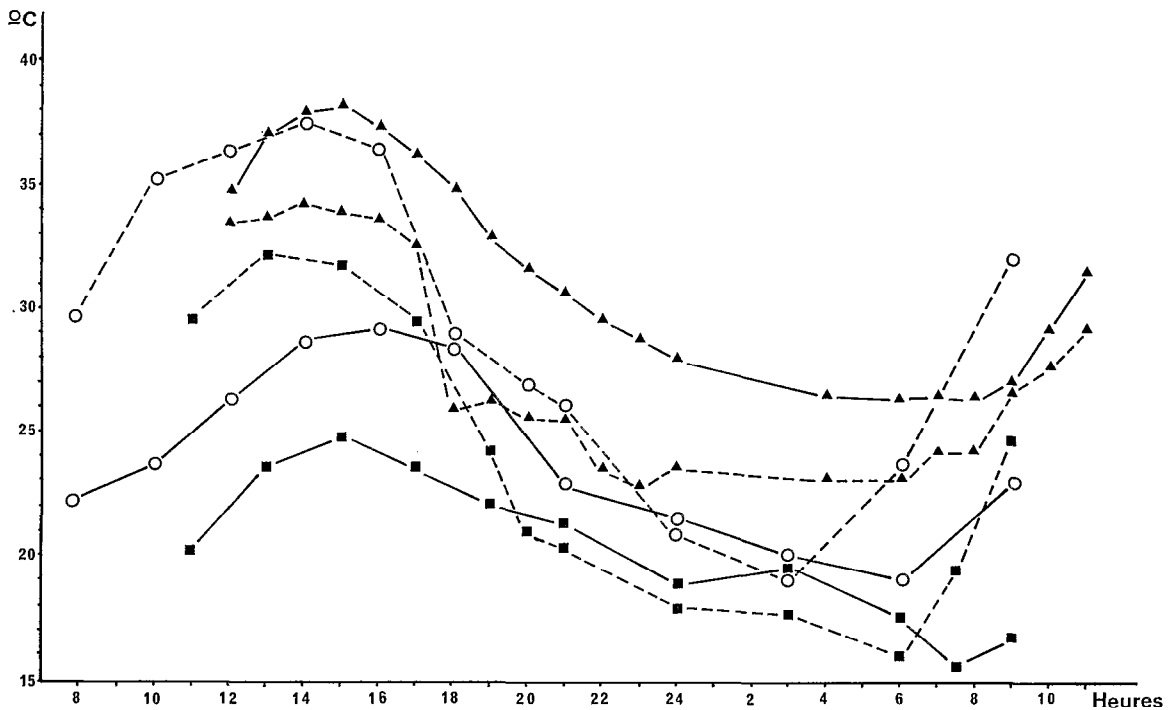


Fig. 3. — Variations horaires de la température de l'eau (en trait plein) et de l'air (en tireté) les 10-11 octobre 1964 (O), les 7-8 décembre 1964 (■) et les 13-14 septembre 1965 (▲) dans la mare de Latir.

Les températures maximales du milieu sont atteintes entre 15 h et 16 h, les minimums se situent entre 6 h et 7 h. En l'absence de vent, la température de l'eau exposée en plein soleil peut atteindre 38°C.

Les pH mesurés à l'aide d'un comparateur Hellige, sont élevés. Ils oscillent entre 10,0 en période de concentration minimale du milieu et 10,8 dans la période qui précède l'assèchement complet. La couleur des eaux est brune dans la première phase de remplissage, lorsqu'il n'y a pas encore de développement phytoplanctonique. Plus tard, la multiplication des Cyanophycées donne une teinte verte caractéristique au milieu ; la transparence devient alors pour ainsi dire nulle.

La composition ionique des eaux natronées du Kanem a été étudiée particulièrement par G. MAGLIONE et des premières données ont été publiées récemment (1969). Les eaux des mares qui nous intéressent ici appartiennent au type hypercarbonaté sodique (fig. 4).

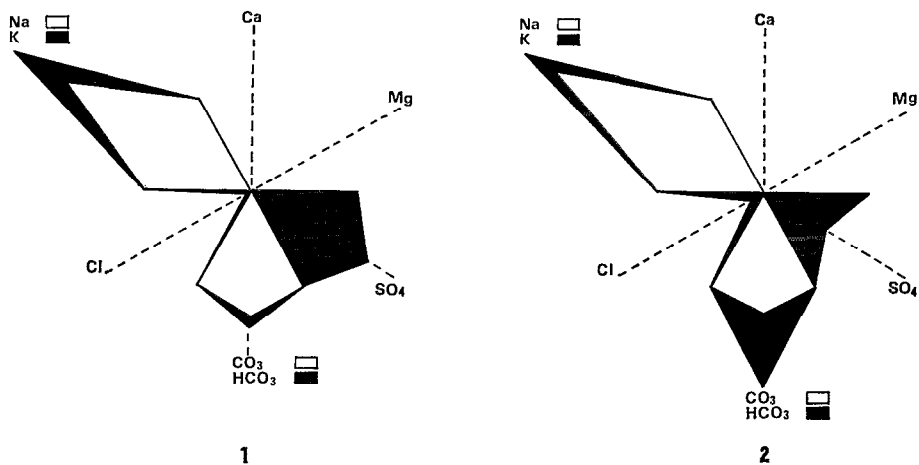


Fig. 4. — Diagrammes (KUFFERATH, 1951) de la composition chimique des eaux en novembre 1967 : 1. A Latir (salinité 176 ‰); 2. A Maou-Leyla (salinité 27 ‰). Les analyses chimiques ont été effectuées au laboratoire de chimie du Centre O.R.S.T.O.M. de Fort-Lamy.

II. LISTES DES ESPÈCES INVENTORIÉES

Dans la mare de Latir, nous avons déterminé les espèces suivantes dans des échantillons récoltés de juillet 1964 à février 1968*.

- CHLOROPHYTES *Chlamydomonas* sp.
 Pyramimonas sp.
 Oocystis sp.
 Pediastrum clathratum
 Scenedesmus sp.
 Staurastrum sp.
- CHRYSTOPHYTES
- CHRYSTOPHYCÉES
- Sphaeroeca* sp.
- DIATOMOPHYCÉES
- Melosira granulata* (débris)
 Cyclotella meneghiniana
 Stephanodiscus astraeca
 Coscinodiscus cf. *plicatus*
 Tabellaria flocculosa
 Synedra ulna
 Caloneis bacillum f. *inflata*
 Anomoeoneis sphaerophora
 — — var. *güntheri*
 Navicula cf. *accommoda*
 — *mollissima*
 — *oblonga*
 — *pupula* var. *capitata*
 — *seminuloïdes*
 — cf. *seminulum*
 — *senegalensis*
 — sp.
 Pinnularia acrosphaeria
 — *appendiculata* var. *budensis*
 — *interrupta* var. *joculata*
 Amphora coffaeiformis
 — *libyca*
 — cf. *thermalis*
 Cymbella mülleri
 — *parva*
 Gomphonema lanceolatum
 — cf. *longiceps* var. *subclavata*
 — *olivaceum*
 — *parvulum* var. *micropus*

* Nous remercions M. P. BOURRELLY du Laboratoire de Cryptogamie du Museum National d'Histoire Naturelle qui a bien voulu nous apporter l'aide de ses précieux conseils pour les déterminations et mettre à notre disposition le matériel et la documentation de son laboratoire.

- Epithemia zebra*
Rhopalodia gibba
 — *gibberula*
Nitzschia amphibia
 — *commulata*
 — *dissipata*
 — *fonticola*
 — *frustulum*
 — *palea*
 — *palea* var. *hustedtiana* f. *minor*
 — *sigma*
 — *subsalsa*
 — *thermalis*
 — *vitrea*
 — *vitrea* var. *salinarum*
Surirella ovata
 — *recheltii*
 — sp.

PYRROPHYTES

- Cryptomonas* sp.

CYANOPHYTES

- Synechocystis minuscula*
 — *salina*
Synechococcus ambiguus
 — *salinarum*
Gomphosphaeria aponina
Raphidiopsis sp.
Anabaenopsis arnoldii
Anabaena sp.
Pseudanabaena cf. *africana*
Spirulina laxissima
 — *major*
 — *platensis*
 — *subsalsa*
Oscillatoria amoena
 — *angusta*
 — *angustissima*
 — *annae*
 — *articulata*
 — *boryana*
 — *brevis*
 — *formosa*
 — *granulata*
 — *guttulata*
 — *lemmermannii*
 — *planctonica*
 — *pseudogeminata*
 — *pseudogeminata* var. *unigranulata*
 — *tenuis*
 — *terebriformis*
 — *trichoïdes*
 — *willei*
Phormidium angustissimum
Lyngbya limnetica

Les espèces suivantes, signalées par COMPÈRE (1967) dans un échantillon de la mare de Latir du 8 décembre 1964, n'ont pas été retrouvées au cours de cette étude : *Diatoma vulgare*, *Navicula crucialis*, *Gomphonema gracile*, *Nitzschia tryblionella* var. *victoriae*.

A Maou-Leyla, les espèces suivantes ont été inventoriées dans les échantillons récoltés au cours de l'année 1967 : *Chlamydomonas* sp., *Pyramimonas* sp., *Euglena* sp., *Sphaeroeca* sp., *Melosira granulata* (débris), *Anomoeoneis sphaerophora*, *A. sphaerophora* var. *güntheri*, *Rhopalodia gibberula*, *Nitzschia amphibia*, *N. frustulum*, *N. palea*, *Synechocystis aquatilis*, *S. minuscula*, *Synechococcus ambiguus*, *S. cf. bosshardii*, *S. salinarum*, *Raphidiopsis* sp., *Anabaenopsis arnoldii*, *Spirulina laxissima*, *S. major*, *S. platensis*, *Oscillatoria angustissima*, *O. lemmermannii*, *O. tenuis*, *O. willei*, *Cryptomonas* sp.

Dans la mare de Moro, les espèces suivantes ont été trouvées dans le prélèvement effectué le 9 février 1968 : *Anomoeoneis sphaerophora*, *Navicula* sp., *Nitzschia palea*, *N. sigma*, *Anabaenopsis arnoldii*, *Nodularia harveyana* var. *sphaerocarpa*, *Spirulina laxissima*, *S. major*, *S. platensis*, *Oscillatoria amoena*, *O. tenuis*, *O. willei*, *Cryptomonas* sp.

A Mombolo, les espèces suivantes ont été inventoriées dans un échantillon récolté le 25 février 1967 : *Melosira granulata* (débris), *Cyclotella meneghiniana*, *C. ocellata*, *C. striata* var. *bipunctata*, *Stephanodiscus astraea*, *Synedra ulna* (débris), *Fragilaria leptostauron*, *Cocconeis scutellum* var. *parva*, *Achnanthes exigua*, *Caloneis bacillum* var. *inflata*, *Anomoeoneis sphaerophora*, *A. sphaerophora* var. *güntheri*, *Navicula* cf. *accommoda*, *N. brasiliensis* var. *platensis*, *N. oblonga*, *N. pupula* var. *capitata*, *Navicula* sp., *Pinnularia acrosphaeria*, *P. appendiculata* var. *budensis*, *Amphora coffaeiformis*, *A. lybica*, *A. cf. thermalis*, *Cymbella mülleri*, *Gomphonema lanceolatum*, *G. cf. longiceps* var. *subclavata*, *G. olivaceum*, *Rhopalodia gibba*, *R. gibberula*, *Hantzschia amphioxys*, *Nitzschia amphibia*, *N. dissipata*, *N. frustulum*, *N. hungarica*, *N. hungarica* var. *linearis*, *N. palea*, *N. sigma*, *N. vitrea* var. *salinarum*, *Synechocystis minuscula*, *Synechococcus ambiguus*, *Chroococciopsis* cf. *thermalis*, *Anabaenopsis arnoldii*, *Spirulina major*, *S. platensis*, *Spirulina* sp., *Oscillatoria pseudogeminata*, *Cryptomonas* sp.

Dans l'ouadi situé au nord du village de Latir, on a trouvé les espèces suivantes dans trois récoltes effectuées en 1965 : *Scenedesmus* sp., *Melosira granulata* (débris), *Anomoeoneis sphaerophora*, *A. sphaerophora* var. *güntheri*, *Nitzschia amphibia*, *N. frustulum*, *N. palea*, *N. sigma*, *Nodularia harveyana* var. *sphaerocarpa*, *Pseudanabaena* cf. *africana*, *Anabaenopsis arnoldii*, *Spirulina platensis*, *Oscillatoria amoena*, *O. angustissima*, *O. annae*, *O. brevis*, *O. granulata*, *O. guttulata*, *O. pseudogeminata* var. *unigranulata*, *Phormidium foecolarum*.

Enfin à Isseïrom, les espèces suivantes ont été déterminées dans les trois prélèvements effectués au début de 1967 : *Tetraedron minimum*, *Cosmarium sexangulare* var. *minus*, *Melosira granulata* (débris), *Cyclotella meneghiniana*, *C. ocellata*, *C. striata* var. *bipunctata*, *Stephanodiscus astraea*, *Tabellaria flocculosa*, *Fragilaria leptostauron*, *Synedra ulna*, *Eunotia praerupta*, *Cocconeis placentula* var. *euglypta*, *Achnanthes exigua*, *Caloneis bacillum* var. *inflata*, *Diploneis ovalis*, *Anomoeoneis sphaerophora*, *A. sphaerophora* var. *güntheri*, *Navicula halophila*, *N. pupula* var. *capitata*, *N. seminuloïdes*, *Navicula* sp., *Pinnularia acrosphaeria*, *P. appendiculata* var. *budensis*, *Amphora coffaeiformis*, *A. pediculus*, *Cymbella mülleri*, *Gomphonema* cf. *longiceps* var. *subclavata*, *Epithemia zebra*, *Rhopalodia gibberula*, *Hantzschia amphioxys* f. *capitata*, *Nitzschia amphibia*, *N. dissipata*, *N. frustulum*, *N. hungarica*, *N. hungarica* var. *linearis*, *N. palea*, *N. sigma*, *N. thermalis*, *N. vitrea* var. *salinarum*, *Synechocystis minuscula*, *S. salina*, *Synechococcus ambiguus*, *Chroococciopsis* cf. *thermalis*, *Anabaenopsis arnoldii*, *Spirulina laxissima*, *S. platensis*, *Spirulina* sp., *Oscillatoria angusta*, *O. brevis*, *O. lemmermannii*, *O. pseudogeminata* var. *unigranulata*, *Gymnodinium* sp.

III. REMARQUES SUR LA COMPOSITION QUALITATIVE DES PEUPELEMENTS

Avec 92 taxons inventoriés, c'est dans la mare de Latir que le plus grand nombre d'espèces a été trouvé. La flore algale, comparée à celle des lacs natronés permanents étudiés précédemment où le nombre des taxons ne dépassait pas 60, se montre ici plus variée, très probablement en raison du plus grand éventail de salinités existant dans le milieu temporaire. Des Chlorophytes des genres *Scenedesmus*, *Pediastrum*, *Cosmarium* par exemple, y apparaissent alors qu'elles étaient absentes dans les lacs permanents.

L'abondance des espèces de Diatomées et de Cyanophycées semble caractéristique de ces milieux alcalins : on trouve à Latir 47 espèces, variétés ou formes pour les Diatomées et 33 pour les Cyanophycées. Dans les cinq autres mares, ces deux groupes d'algues forment aussi la presque totalité du peuplement ; *Nitzschia* et *Oscillatoria* sont les genres présentant la plus grande variété d'espèces. Les Chlorophytes ne sont représentées que par 8 taxons dont une seule Desmidiacée : *Cosmarium sexangulare* var. *minus*. Toutefois, les observations ayant été faites sur du matériel fixé, les flagellés n'ont pu être déterminés et il n'est pas douteux que l'étude d'échantillons vivants allongerait de quelques espèces la liste des Chlorophycées.

Le nombre d'espèces de Diatomées vivant réellement dans le milieu est très probablement inférieur à celui qui a été trouvé lors de l'étude des préparations microscopiques ; un certain nombre de frustules en mauvais état (*Melosira granulata*, *Synedra ulna* par exemple) proviennent sans doute de peuplements établis lors d'une récente transgression du lac Tchad, actuellement à peine éloigné d'une dizaine de kilomètres des mares étudiées.

La florule de ces six pièces d'eau a été comparée dans le tableau suivant avec les résultats de l'étude de P. COMPÈRE (1967) sur les algues du Sahara et de la région du lac Tchad.

Classes	Sahara (COMPÈRE)	Kanem (ILTIS)	Tchad (COMPÈRE)
Cyanophycées.....	25,3 %	33,3 %	10,0 %
Euglenophycées.....	1,7 %	0,9 %	0,7 %
Pyrrhophytes.....	—	1,7 %	—
Heterocontes.....	—	—	0,5 %
Chrysophycées.....	—	0,9 %	0,5 %
Diatomées.....	61,6 %	56,4 %	32,0 %
Chlorophycées.....	8,4 %	5,1 %	14,8 %
Desmidiacées.....	3,0 %	1,7 %	41,4 %

La flore des mares du Kanem n'apparaît pas intermédiaire entre celle du Tchad et celle du Sahara comme on pourrait s'y attendre d'après la situation géographique des lieux de récolte. Le pourcentage des espèces de Cyanophycées est particulièrement élevé dans les mares natronées du Kanem, surtout si l'on admet que, celui des Diatomées étant surestimé, le pourcentage réel des algues bleues doit être en fait supérieur à 33,3 %. Ainsi donc se confirme la propension des Cyanophycées à peupler les milieux natronés.

On peut aussi remarquer, tout au long de la période de mise en eau, l'allure particulière du peuplement telle qu'elle a déjà été constatée dans les milieux natronés permanents. En toutes périodes, il existe une à deux espèces formant un peuplement très dense et, en même temps, un nombre relativement important d'espèces représentées chacune par très peu d'individus.

La variété des espèces trouvées dans ces milieux aquatiques durant des périodes limitées séparées par des assecs plus ou moins longs nous amène à analyser comment s'effectue le repeuplement par la flore au moment du remplissage des mares.

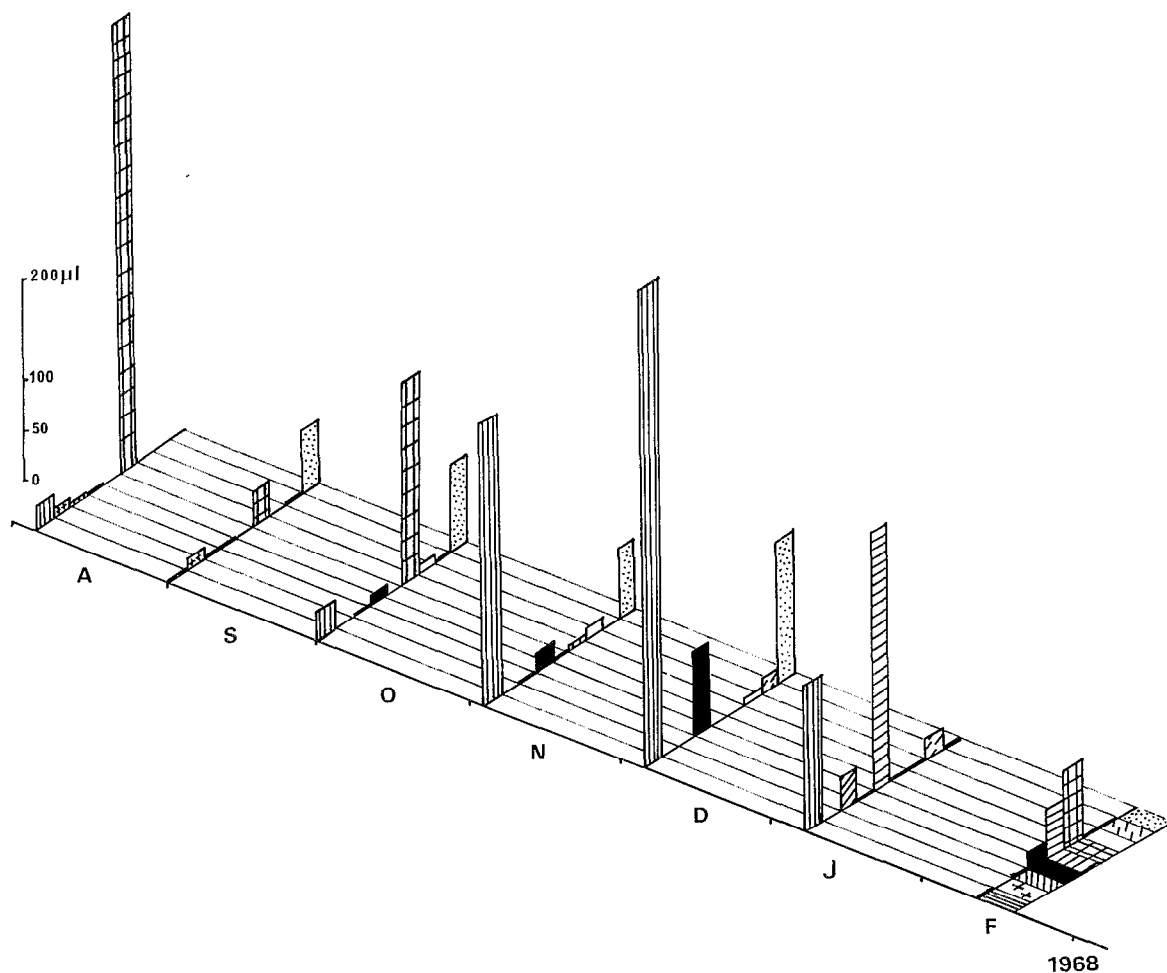












Fig. 5. — Variations du phytoplancton de la mare de Latir depuis la mise en eau en août 1967 à l'assèchement fin février 1968 :

	Volvocales		<i>Anabaenopsis arnoldii</i>
	<i>Scenedesmus</i> sp.		<i>Spirulina platensis</i>
	<i>Sphaeroeca</i> sp.		<i>Oscillatoria</i> plur. sp.
	<i>Anomoeoneis sphaerophora</i>		<i>Cryptomonas</i> sp.
	<i>Synechocystis</i> plur. sp.		Zooplancton (Rotifères + Ciliés)

On peut penser à l'intervention de trois facteurs. Le premier est la possibilité de certaines espèces de développer des formes de résistance. Des kystes et cellules spéciales se forment lorsque les conditions écologiques apparaissent défavorables (augmentation de la salinité due à l'évaporation ou assèchement du milieu par exemple). Ils sont susceptibles d'attendre dans l'argile sèche la prochaine mise en eau et durant celle-ci, les conditions favorables à leur développement. La formation de cellules enkystées a ainsi été observée chez *Scenedesmus* sp., *Anabaenopsis arnoldii*, *Anabaena* sp. En ce qui concerne le zooplancton, les nombreux Rotifères de ces milieux passeraient la période d'assec sous forme d'œufs de durée (POURRIOT et al., 1967).

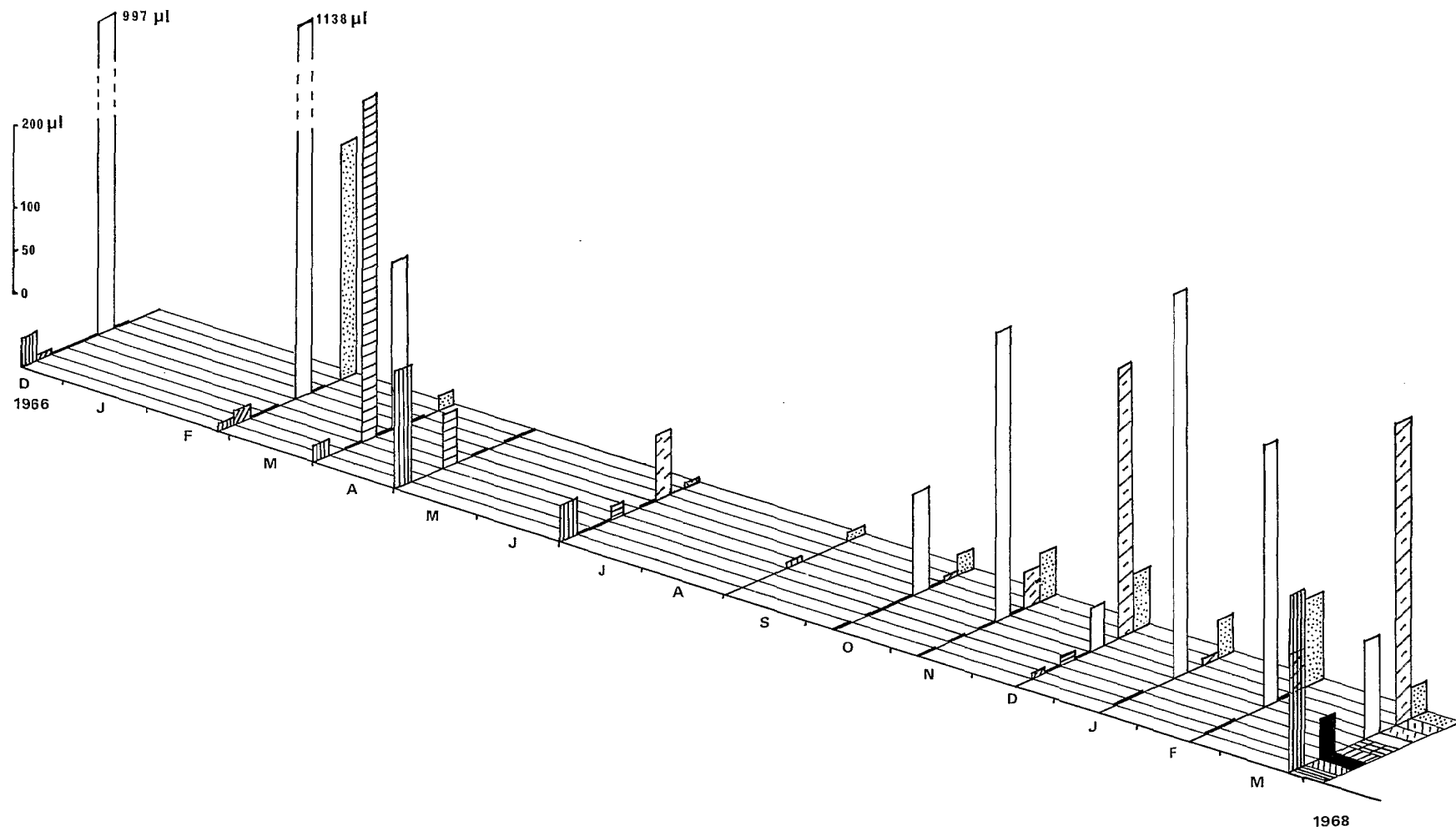


Fig. 6. — Variations du phytoplancton à Maou-Leyla de décembre 1966 à mars 1968. La représentation des espèces est identique à celle de la figure 5.

Le deuxième facteur intervenant dans le repeuplement est la présence de puits sur les bords immédiats. Ce sont de simples trous, creusés par les pasteurs locaux pour y abreuver leur bétail en saison sèche. Ces puits atteignent la nappe phréatique dont la surface piézométrique est proche de la surface du sol ; ils n'ont le plus souvent que vingt à trente centimètres de profondeur. Des phénomènes de mise en charge locale de la nappe interviennent de plus pour faire remonter l'eau du puits au-dessus du niveau normal de la surface piézométrique. Des prélèvements effectués dans ces puits faiblement natronés (1 à 2 millimhos de conductibilité) ont montré une flore algale très variée où les Oscillaires et les Diatomées sont particulièrement abondantes. A la période de remplissage maximal, en fin de saison des pluies, l'eau des mares, alors à son minimum de concentration en sels, atteint et noie ces puits dont le peuplement, du moins pour les espèces suffisamment euryhalines, peut coloniser la mare entière.

Enfin, les nombreux oiseaux aquatiques (canards sauvages, échassiers) circulant dans le Kanem jouent certainement un rôle dans le repeuplement des dépressions remplies à la saison des pluies. Leurs fréquents déplacements dans cette région où voisinent mares temporaires et petits lacs permanents ne peut que faciliter le transport des espèces d'une station à l'autre.

Une étude plus complète de ce problème permettrait de déceler éventuellement d'autres facteurs et de déterminer exactement l'importance relative de chacun d'eux.

IV. VARIATIONS SAISONNIERES DU PEUPEMENT PLANCTONIQUE

a. Méthodes.

Le plancton des mares de Maou-Leyla et de Latir a été prélevé régulièrement au rythme d'une récolte par mois durant l'année 1967 et le début de 1968. Les méthodes utilisées ont été décrites dans une précédente publication (ILTIS, 1969). Les résultats sont exprimés en microlitres de matière vivante par litre ; en attribuant aux algues une densité identique à celle du milieu où elles vivent, on peut estimer qu'un microlitre (ou $10^9 \mu^3$) correspond approximativement à un milligramme de matière vivante. Le volume total du zooplancton présent (Rotifères et Ciliés), calculé après comptage et mesure du volume moyen de chaque espèce, a été reporté sur les graphiques à titre de comparaison avec le volume de phytoplancton. L'évolution du peuplement est représentée sur les figures 5 et 6 pour les mares de Latir et de Maou-Leyla ; la composition du phytoplancton des milieux où des échantillonnages occasionnels ont été faits est représentée sur la figure 7.

b. Analyse.

A Latir, au début de la mise en eau, une population dense ($449 \mu\text{l/l}$) à *Anabaenopsis arnoldii* s'installe ; elle disparaîtra fin octobre. Les Volvocales sont abondantes début août ainsi qu'une Chlorococcale, *Scenedesmus* sp., qui atteint son maximum en septembre et disparaît rapidement ensuite. A partir d'octobre, *Spirulina platensis* apparaît mais n'atteint jamais de fortes densités (maximum $11,4 \mu\text{l/l}$ en novembre). A partir de janvier, il n'est présent qu'en faible quantité. Dès le mois de novembre, l'épaisseur de la couche d'eau n'est plus que d'une dizaine de centimètres et la quantité de Diatomées (*Anomooneis sphaerophora*) et d'Oscillaires s'accroît dans les récoltes. En période de faible profondeur et de forte concentration saline, le volume des Chlorophycées flagellées est élevé (novembre et décembre) ; durant les deux mois qui précèdent l'assèchement, leur peuplement est remplacé par des Cyanophycées unicellulaires des genres *Synechocystis* et *Synechococcus*. Un deuxième développement d'*Anabaenopsis arnoldii* s'effectue en février, juste avant l'assèchement du milieu. *Sphaeroeca* atteint son maximum début janvier ($32,4 \mu\text{l/l}$). Le zooplancton, formé uniquement de Rotifères et de Ciliés, atteint son maximum de volume en décembre.

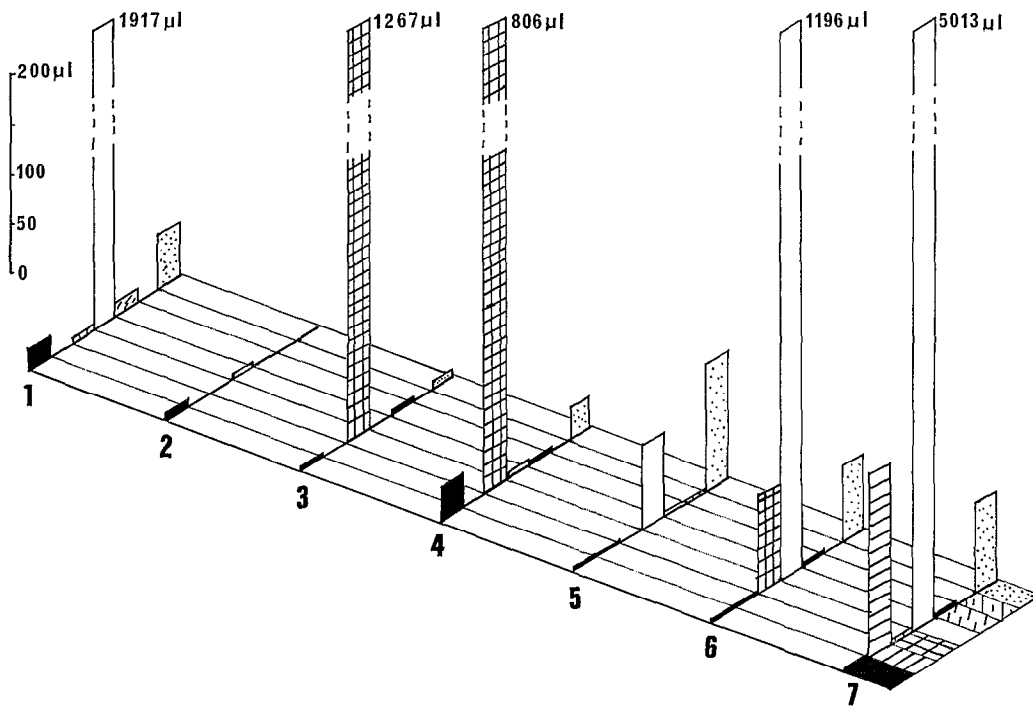


Fig. 7. — Composition du peuplement phytoplanctonique de quelques milieux temporaires. La représentation des espèces est identique à celle des deux figures précédentes : 1. Mombolo, le 25 février 1967. — 2. Mare nord de Latir, le 14 janvier 1965. — 3. Mare nord de Latir, le 13 août 1965. — 4. Mare nord de Latir, le 14 septembre 1965. — 5. Moro, le 9 février 1968. — 6. Isseirom, le 13 décembre 1966. — 7. Isseirom, le 21 janvier 1967.

A Maou-Leyla, en décembre 1966 et février 1967, *Spirulina platensis* forme un peuplement très dense. D'avril à juillet, il ne subsiste qu'une petite mare de quelques mètres carrés de surface. Le phytoplancton y a la même composition que celui de Latir avant l'assèchement : *Spirulina platensis* et *Anomoeoneis sphaerophora* sont présents et Volvocales et Chroococcales (*Synechocystis* principalement) sont très abondantes. En fin août, tout l'ouadi est rempli d'une eau brune où le plancton ne s'est pas encore multiplié. En octobre, *Spirulina platensis* se développe et atteint son maximum de densité en janvier avec 468 microlitres par litre. *Cryptomonas* est abondant à partir d'octobre, les plus fortes densités sont atteintes en décembre et en mars 1968.

En mars, à l'approche de l'assèchement, les Volvocales sont très abondantes, le volume de *S. platensis* décroît, les Chroococcales sont absentes, remplacées, semble-t-il, par *Cryptomonas* sp. qui est l'espèce largement dominante (360 µl/l). Par suite de la faible épaisseur de la couche d'eau, la quantité de Diatomées (*Anomoeoneis sphaerophora*) dans les échantillons s'accroît. La plus forte densité en zooplancton a été trouvée en février 1967 où les Rotifères forment un peuplement de 280 microlitres par litre.

Dans les quelques autres mares prospectées (fig. 7), on observe deux peuplements à *Anabaenopsis arnoldii* dominant (mare nord de Latir le 13 août et le 14 septembre 1965), et trois peuplements où *Spirulina platensis* atteint de fortes densités (Mombolo, Moro et Isseirom le 23 décembre 1966). Enfin les prélèvements faits le 14 janvier 1965 dans la mare nord de Latir et le 21 janvier 1967 à Isseirom, peu avant leur assèchement, montrent le premier un plancton à Diatomées presque uniquement, le second un peuplement exceptionnellement dense en spirulines auxquelles sont mêlés *Synechocystis* et *Synechococcus* en grand nombre.

c. Conclusions.

Dans les milieux temporaires ayant fait l'objet de cette étude, les espèces et les groupes d'algues suivants se développent massivement à certaines époques modifiant de façon importante la biomasse végétale existante ; ce sont des Cyanophycées filamenteuses : *Anabaenopsis arnoldii*, *Spirulina platensis*, des Cyanophycées unicellulaires des genres *Synechocystis* et *Synechococcus* ; une Cryptophycée : *Cryptomonas* sp., une Craspedomonadophycée : *Sphaeroeca* sp., des Chlorophycées : *Scenedesmus* sp. et un certain nombre de Volvocales qui n'ont pu être déterminées exactement, les observations ayant été faites sur du matériel fixé.

Les Oscillaires et les Diatomées (*Anomoeoneis sphaerophora*) atteignent aussi des quantités parfois importantes dans les échantillons étudiés ; toutefois, ces fortes densités ayant été observées dans les mares au moment où l'épaisseur de la couche d'eau ne dépasse pas quelques centimètres, on peut penser qu'il s'agit d'algues du fond qui sont entraînées dans les récoltes en plus grand nombre que lors des prélèvements dans des eaux plus profondes.

Au point de vue succession des espèces, on peut schématiser l'évolution du plancton durant toute la période de pleine eau de la façon suivante : dans la première phase, ce sont les Volvocales qui peuplent l'eau des précipitations accumulées au fond des ouadis. La teneur en sel du milieu est alors assez forte par suite de la dissolution par ces premières pluies de la couche de natron existant sur l'argile asséchée. Parfois même, une flore de flagellés halophiles (*Dunaliella*?) se développe dans les flaques qui se forment à la suite des premières grosses tornades de juin ; avec l'évaporation, ces flaques ne durent que quelques jours et disparaissent avant l'arrivée de la saison pluvieuse proprement dite.

Ensuite, *Anabaenopsis arnoldii* forme des peuplements très denses qui correspondent en général à la période de concentration minimale du milieu. En même temps que *A. arnoldii*, se produit souvent un développement de plus faible importance de *Scenedesmus* sp.

Puis *S. platensis* remplace *A. arnoldii* et constitue en général les concentrations les plus fortes qu'une espèce atteigne dans ces milieux. De plus, à mesure que le volume d'eau de la mare diminue sous l'action de l'évaporation, la densité d'algues s'accroît jusqu'à ce que les processus de destruction les fassent disparaître.

Dans la période précédant immédiatement l'assèchement, la teneur en sel devient très élevée et une flore composée d'algues unicellulaires, Volvocales, *Cryptomonas*, *Synechocystis* et *Synechococcus*, prend place ; le maximum des Volvocales précède quelquefois de peu le développement des Cyanophycées ou des *Cryptomonas*.

Cette représentation de la succession des espèces est évidemment schématique ; les différentes phases se chevauchent sur un plus ou moins long espace de temps. De plus, les dominances de certaines espèces peuvent ne pas avoir lieu ; c'est le cas par exemple de *S. platensis* qui n'atteint que 11,4 microlitres par litre au maximum à Latir en 1967 et *A. arnoldii* seulement 3,2 microlitres au maximum à Maou-Leyla durant la même année.

Certaines espèces peuvent même être absentes du cycle, comme c'est le cas pour *Scenedesmus* sp. fréquent dans les deux mares proches de Latir en août et septembre et qui n'apparaît pas à Maou-Leyla en 1967.

Au point de vue quantitatif, les densités trouvées sont de l'ordre de celles existant dans les lacs permanents de la même région. Les variations saisonnières paraissent ici difficiles à interpréter au point de vue biologique, les changements de niveau des mares suffisant à eux seuls à agir sur la densité des organismes qui y vivent.

V. REMARQUES SUR LE PEUPEMENT A SPIRULINA PLATENSIS

Les graphiques 5, 6 et 7 montrent pour la période étudiée des proportions très variables de spirulines dans les récoltes effectuées. Les pourcentages de *S. platensis* par rapport au volume total de plancton, zooplancton y compris, ont été calculés et reproduits dans le tableau suivant :

	XII 1966	II 1967	IV	V	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I 1968	II	III
Mare de Latir...						0 %	0 %	2 %	3 %	1 %	+	+	
Mare de Maou..	97 %	79 %	31 %	0 %	+		0 %	62 %	77 %	12 %	90 %	67 %	15 %

Les résultats indiqués par une croix montrent que cette Cyanophycée est présente mais dans des proportions infimes par rapport au biovolume total.

Dans la mare de Moro, le pourcentage de *S. platensis* était de 38 % dans le prélèvement du 9 février 1968. A Mombolo, il était de 95 % le 25 février 1967. A Isseirom, il était de 87 % et de 95 % les 23 décembre 1966 et 21 janvier 1967. Dans l'ouadi situé au nord de Latir enfin, *S. platensis* était absent dans les prélèvements des 14 janvier et 13 août 1965 et présent en très faible quantité le 14 septembre 1965.

Le pourcentage de spirulines dépasse donc rarement 90 % dans ces milieux. Il n'a été trouvé supérieur à 50 % que dans neuf prélèvements sur vingt-six. Des récoltes en vue de la confection de « dihé », nom local des galettes de spirulines séchées consommées par les gens du pays, ramasseraient donc le plus souvent une proportion appréciable d'autres algues, de Rotifères et de Ciliés ; sans parler des diverses bactéries, débris animaux et végétaux présents dans l'eau et dont il n'a pas été tenu compte dans cette étude.

Au point de vue quantitatif, des densités importantes de l'ordre de 0,5 à 2 grammes de spirulines par litre ont été constatées dans l'ouadi de Maou-Leyla en décembre 1966, en février 1967 et en janvier 1968. Des densités de 1 à 2 grammes ont été trouvées aussi dans les mares de Mombolo et d'Isseirom. Une concentration de 5 grammes par litre se trouvait même le 21 janvier 1967 à Isseirom. Toutefois, il convient de considérer que ces densités élevées ont été observées dans des mares à une période assez proche de leur assèchement. On peut donc supposer qu'il s'agit de peuplements beaucoup moins denses qui ont été concentrés par l'évaporation rapide du milieu, les processus de destruction des algues étant à ce moment plus lents que la diminution de volume du liquide. Des récoltes ne pourraient donc être faites qu'une fois et sans qu'il existe de possibilités pour le milieu de redonner naissance à un autre peuplement ; de plus, ces prélèvements effectués dans les quelques centimètres d'eau qui subsistent, ne pourraient se faire sans qu'une partie des algues benthiques (Diatomées, Oscillaires) et même des morceaux de vase argileuse ne soient entraînés dans la récolte, d'où une altération de la qualité du produit destiné à la formation du « dihé ». Enfin, dans les mares temporaires, nous n'avons jamais constaté, en période de pleine eau, d'accumulations de *S. platensis* le long des rives sous l'action du vent, comme cela se produit dans certains lacs permanents, ce qui tend à prouver que les fortes densités ne peuvent être trouvées que durant la période précédant l'assec.

VI. CONCLUSIONS

Le phytoplancton des mares temporaires natronées du Kanem est dominé qualitativement par les Diatomées et les Cyanophycées. Il est plus varié que celui des lacs permanents de cette région. Au point de vue quantitatif, les Cyanophycées sont très largement dominantes, elles atteignent des densités importantes, de l'ordre de plusieurs grammes de matière végétale par litre. Durant la période allant du remplissage à l'assec, on assiste aux dominances successives d'espèces qui se relaient au fur et à mesure de l'évolution du milieu vers l'assèchement.

En ce qui concerne l'espèce *Spirulina platensis*, des récoltes occasionnelles en vue de la préparation de « dihé » peuvent être faites dans les milieux temporaires ; cependant, outre la difficulté pratique d'effectuer des récoltes exemptes de vase dans les fonds de mare proches de l'assèchement, ces milieux ne présentent pas les qualités requises en vue d'une exploitation active pour les raisons suivantes :

— période où les spirulines présentent une forte densité ne dépassant pas deux à trois mois par an ;

— proportions d'algues ou d'organismes étrangers importantes dans le peuplement à *S. platensis* ;

— contrairement à ce qui existe dans les lacs permanents, pas de renouvellement possible du peuplement après une récolte importante effectuée selon les méthodes actuellement employées sur place, les conditions de milieu évoluant trop rapidement.

Les questions particulières concernant le repeuplement du milieu lors de la mise en eau, les limites de tolérance de salinité des espèces et les causes des développements successifs de celles-ci n'ont pas été abordées ici et pourraient faire l'objet d'études plus suivies. Les facteurs intervenant en particulier dans l'apparition et la rapidité de développement de *S. platensis*, algue bleue qui s'est révélée à l'analyse, une fois séchée, particulièrement riche en protéines, mériteraient d'être mieux connus.

BIBLIOGRAPHIE

- ANONYME, 1967. — A new type of food algae. *Publication I.F.P.*, 9 p.
- BOURRELLY (P.), 1966. — Les Algues d'eau douce. Tome 1 : Les Algues vertes. Boubée et C^{ie}, Paris, 576 p., 118 pl.
- BOURRELLY (P.), 1968. — Les Algues d'eau douce. Tome 2 : Les Algues jaunes et brunes. Boubée et C^{ie}, Paris, 438 p., 114 pl.
- BRANDILY (M. Y.), 1959. — Depuis des lustres, une tribu primitive du Tchad exploite la nourriture de l'an 2000. *Sciences et Avenir*, 152, pp. 516-519.
- CHOLNOKY (B. J.), 1968. — Die Diatomeenassoziationen der Santa-Lucia-Lagune in Natal (Südafrika). *Bot. mar.*, suppl., vol. 11, 121 p., pl.
- COMPÈRE (P.), 1967. — Algues du Sahara et de la région du lac Tchad. *Bull. Jard. bot. Nat. Belg.*, 37, 2, pp. 109-288.
- DESIKACHARY (T. V.), 1959. — Cyanophyta. Indian council of agricultural Research, New Delhi, 686 p., 139 pl.
- FONTES (J. C.), MAGLIONE (G.), ROCHE (M. A.), 1969. — Éléments d'Hydrologie isotopique dans le bassin du lac Tchad. Communication au colloque de l'O.U.A. sur les utilisations pacifiques de l'énergie atomique — Kinshasa, 15 p. multigr.
- FONTES (J. C.), MAGLIONE (G.), et 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. Hydrol.*, 6, 1, pp. 17-34.
- GEITLER (L.), 1932. — Cyanophyceae in *Rabenhorst, L.*, Kryptogamen Flora, Leipzig, ed. 2, 14, 1196 p., 780 fig.
- HUSTEDT (F.), 1930. — Bacillariophyta in *Pascher A.*, Süßwasser Flora Mitteleuropas. Iéna, 10, ed. 2, 466 p.

- HUSTEDT (F.), 1938. — Systematische und ökologische Untersuchungen über die Diatomeen-Flora von Java, Bali und Sumatra, *Arch. Hydrobiol.*, Suppl., 15, pp. 131-177, pp. 187-295, pp. 393-506, tabl.
- 1949. — Exploration du Parc National Albert. Mission Damas, 1935-1936. Süßwasser Diatomeen. Bruxelles 8, 199 p., tabl.
- ILTIS (A.), 1968. — Tolérance de salinité de *Spirulina platensis* (Gom.) Geitl., dans les mares natronées du Kanem (Tchad). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, II, 3-4, pp. 119-125.
- 1969. — Phytoplancton des eaux natronées du Kanem (Tchad). I. Les lacs permanents à spirulines. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, III, 2, pp. 29-44.
- 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.
- LÉONARD (J.), 1968. — Discovery, ecology and nutritional utilisation of *Spirulina platensis*. Communication à la réunion du Swedish Council for applied Research, Stockholm, 11 p. multigr.
- 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.
- MAGLIONE (G.), 1968. — Présence de Gaylussite et de Trona dans les natronières du Kanem. *Bull. Soc. fr. Mineral. Cristallogr.*, 91, pp. 388-395.
- 1969. — Premières données sur le régime hydrogéochemique des lacs permanents du Kanem (Tchad). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, III, 1, pp. 121-141.
- POURRIOT (R.), ILTIS (A.) et LÉVÊQUE-DUWAT (S.), 1967. — Le plancton des mares natronées du Tchad. *Inter-nation. Rev. ges. Hydrobiol.*, 52, 4, pp. 535-543.
- RICH (F.), 1931. — Notes on *Arthrospira platensis*. *Rev. Algol.*, 6, pp. 75-79.
- VAN LANDEGHEM (H.), 1969. — Les réalisations françaises : la culture de la spiruline, algue bleue. Communication à la séance d'étude de la section « Énergie solaire » de la Société française des thermiciens. Paris, 8 p. multigr.
- WOOD (R. B.), 1968. — The production of *Spirulina* in open lakes. Communication à la réunion du Swedish Council for Applied Research, Stockholm, 11 p. multigr.
- 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 de doctorat, NR A.O. 1064, Paris.