

GRANDES ZONES ÉCOLOGIQUES DU LAC TCHAD

J.-P. CARMOUZE, C. DEJOUX, J.-R. DURAND, R. GRAS, A. ILTIS, L. LAUZANNE, J. LEMOALLE,
C. LÉVÉQUE, G. LOUBENS, L. SAINT-JEAN

Hydrobiologistes de l'O.R.S.T.O.M., FORT-LAMY (République du Tchad)

RÉSUMÉ

En raison de la superficie (20.000 km²) et de l'hétérogénéité du milieu, il s'est avéré nécessaire d'acquérir une vue schématique de l'ensemble du lac Tchad pour poursuivre les études sur la production dans cet écosystème.

Les principales caractéristiques du lac sont rappelées : climat, géomorphologie, hydrologie, physico-chimie des eaux. En se basant sur des données qualitatives et quantitatives, on tente de dégager les principales aires de répartition de chacun des grands groupes d'organismes, phytoplancton, macrophytes, zooplancton, vers, insectes, mollusques et poissons. Des cartes schématiques mettent en évidence les principales zones écologiques.

Pour tous les groupes étudiés, il existe une différence très nette entre les cuvettes nord et sud. La cuvette sud, soumise fortement à l'influence des crues du Chari, peut être considérée comme une expansion du système fluvial, alors que la cuvette nord, plus stable, constitue le véritable milieu lacustre sensu stricto. Il n'a pas été possible d'établir une zonation générale commune bien que l'importance de facteurs tels que la profondeur de l'eau, le paysage (archipel, eau libre) ou la nature des fonds soit apparue. Cependant, divers organismes sont rares ou absents au-delà de certains seuils de conductivité : vers (Alluroïdidae), mollusques benthiques (sauf Melania), poissons (Mormyridae). La recherche de la nourriture ne paraît pas être un facteur déterminant de la répartition des poissons.

Différents exemples pris chez les macrophytes, le zooplancton, les mollusques et les poissons montrent que des modifications parfois importantes se sont produites dans les peuplements de 1965 à 1972. Durant cette période le plan d'eau a baissé d'environ 2,5 m, ce qui explique que les différentes zones mises en évidence soient susceptibles de changer profondément à l'échelle interannuelle, en raison de la faible profondeur moyenne.

ABSTRACT

On account of heterogeneity and area (about 8.000 square miles), a general understanding of lake Chad is necessary before getting on further with production studies.

The main features are recalled : climate, geomorphology, hydrology, water physics and chemistry. Founding upon quantitative data as well as qualitative ones, an attempt is made to characterize the main repartition areas for each of the great groups : phytoplankton, macrophytes, zooplankton, oligochaeta, insects, snails and fish.

For every group, a marked difference appears between northern and southern parts of the lake. The south is greatly disturbed by the flow of the Chari and is, to a certain extent, similar to the river system. On the other hand, the northern part is more steady and represents the lake stricto sensu. It was not possible to draw up a general zonation although factors like water depth, landscape (open water, archipelago) or bottom deposits are certainly important ones. Nevertheless, some organisms are missing or rare beyond certain levels in water conductivity : Oligochaeta (Alluroïdidae), benthic snails (except Melania), fishes (mainly Mormyridae). Quest for food does not seem to be of great importance in fish repartition.

Several examples derived from Macrophytes, zooplankton, snails and fish show that deep changes have occurred from 1965 to 1972. At the present time, the lake level is 2,5 m below the 1965 level, and that's why great changes happen, in connection with lake Chad shallowness.

ZUSAMMENFASSUNG

Mit Rücksicht auf die grosse Oberfläche des Tschad-Sees und die Vielfältigkeit des ökologischen Milieus, war ein schematischer Überblick des Sees für die Verfolgung der Arbeiten über dieses Ökosystem notwendig. Nach einer Kurzbeschreibung über die hauptsächlichlichen Charaktere des Sees (Klima, Geomorphologie, Hydrologie, Physik und Chemie des Wassers), wurde die Repartition der Hauptorganismusgruppen über den ganzen See studiert. Man hat mit qualitativen und quantitativen Angaben, die besonderen Repartitionszonen der verschiedenen Gruppen wie Phytoplankton, Macrophyten, Zooplankton, Oligocheten, Insekten, Mollusken und Fischen, hervorzuheben versucht. Schematische Karten, welche die verschiedenen ökologischen Zonen des Sees zeigen, sind gezeichnet worden.

Über alle studierten Wassertiere existieren bestimmte Unterschiede zwischen dem Nord- und Südbecken. Das Südbecken wird stark vom Hochwasser des Charis beeinflusst und man kann dieses Becken nur als eine Verbreiterung des Flusssystems ansehen. Das Nordbecken dagegen ist das ganze Jahr hindurch beständig und wird daher eher als der richtige See *sensu stricto* anerkannt.

Es war nicht möglich eine generale Zonation für alle zusammen beobachteten Wassertiere zu finden, trotz dieser besonderen Wichtigkeit der Faktoren wie Konduktivität, Wassertiefe und Landschaft (Archipel, Freiwasser) oder die Natur des Sediments. Man hat trotzdem gefunden, dass einige Organismen wie Alluroidea (Oligocheten), Mollusken (ohne *Melania* sp) und Mormyridae (Fischen) über eine besondere Konduktivitätshöhe selten zu finden oder abwesend sind. Der Ernährungsfaktor erscheint ein unwichtiger Bestandteil für die Fischrepartition zu sein. Die verschiedenen hervorgehobenen Zonen in dieser Arbeit können jährlichen Schwankungen unterworfen sein, wegen des ständig wechselnden Wasserspiegels und der zu niedrigen Durchschnittstiefe des Sees.

In den Jahren von 1965 bis 1972 ist der Wasserstand um etwa 2,5 m niedriger geworden. Beobachtungen an Wasserpflanzen, Zooplankton, Mollusken und Fischen haben auch tatsächlich in dieser Zeit grosse Modifizierungen der Tierbevölkerung des Sees ergeben.

SOMMAIRE

Avant-propos

Introduction

I. Le milieu

1. Situation et climat
2. Géomorphologie
3. Hydrologie
4. Physico-chimie des eaux

II. Répartition des organismes

1. Production primaire et végétaux
2. Zooplancton
3. Faune benthique
4. Peuplements ichtyologiques

III. Variations interannuelles

1. Macrophytes
2. Zooplancton
3. Mollusques
4. Poissons

IV. Zonation générale

1. Opposition entre cuvettes nord et sud
2. Opposition entre paysages

3. Rôle de certains autres facteurs

4. Relations trophiques

Conclusions

AVANT-PROPOS

En 1963, peu de temps après que l'Union Internationale des Sciences Biologiques ait lancé les prémices d'un Programme Biologique International, l'O.R.S.T.O.M. réunissait à Fort-Lamy (Tchad) les premiers éléments d'une équipe d'hydrobiologistes qui devait comprendre jusqu'à 11 chercheurs résidents. Un laboratoire de 220 m² de surface utile fut inauguré le 10 janvier 1966. Enfin un bateau de recherches à fond plat de 13 m de long, dont la construction avait été financée par la D.G.R.S.T., fut mis en service en 1969 et officiellement lancé à Fort-Lamy à l'issue de la 10^e réunion de la Commission du bassin du Lac Tchad, le 21 décembre de la même année.

Les recherches entreprises ont été inscrites au programme de la section PF (Production des commu-

nautés d'eau douce) de la participation française au P.B.I. sous le titre : « Étude d'un lac tropical sous climat semi-aride (lac Tchad) ». Elles devaient consister d'abord en une description détaillée du lac et des masses d'eau annexes (tributaires et mares plus ou moins natronées de la bordure nord-est) afin d'en préciser les caractéristiques physico-chimiques, floristiques et faunistiques. Elles devaient également comporter des évaluations de biomasses et des mesures de production primaire et de production aux différents niveaux trophiques. Ces recherches, outre leur intérêt fondamental pour la connaissance des phénomènes biologiques dans une zone climatique et une région du globe encore peu étudiées, concernaient les projets de mise en valeur du bassin tchadien. Elles englobaient en effet des estimations de stocks de poissons susceptibles d'orienter le développement de la pêche locale, d'une grande importance économique pour les quatre États riverains du lac, et aussi des études sur les mares du Kanem en vue de préciser l'écologie d'*Oscillatoria (Spirulina) platensis*, une algue bleue utilisée dans l'alimentation humaine.

Les exposés présentés ici par l'ensemble des hydrobiologistes de Fort-Lamy ne traitent qu'un aspect de ce vaste programme et ne font état que d'une partie des résultats acquis, déjà publiés ou en cours d'exploitation. Il est en effet apparu indispensable de ne pas différer davantage la publication d'une synthèse écologique et ceci pour les deux raisons principales suivantes :

(1) Au fur et à mesure que les travaux progressaient, il devenait de plus en plus évident que le lac Tchad ne pouvait être considéré comme un vaste écosystème dont on aurait déterminé les caractéristiques moyennes ; il était indispensable de le décomposer en une mosaïque de milieux écologiquement distincts, ayant chacun son individualité et sa dynamique propres et devant chacun faire l'objet d'études détaillées particulières.

(2) Les recherches avaient débuté en 1964 à une époque où, par suite d'une succession d'années à forte hydraulité, le lac avait atteint le niveau de remplissage maximal qui ait été observé depuis le début du siècle. Or depuis le niveau moyen a constamment baissé et arrive en 1972 à une valeur voisine du minimum constaté vers 1943. Déjà il s'avère que les biotopes actuels sont très différents de ceux dont l'étude avait été entreprise en 1964. Pour peu que plusieurs années déficitaires surviennent encore, on risque de retrouver la situation signalée en 1907-1908 où la cuvette nord était totalement asséchée.

En résumé, la présente synthèse sur les grandes zones écologiques du lac Tchad est l'aboutissement de 7 à 8 années d'observations suivies durant une

période où le niveau général du lac n'a pas cessé de baisser. De telles circonstances ne se renouveleront peut-être pas d'ici la fin du siècle et c'est pourquoi il était opportun et urgent de fixer les grandes lignes de l'écologie du lac Tchad tel qu'il s'est présenté de 1964 à 1972.

N.D.L.R.

INTRODUCTION

Situé au centre de l'Afrique, à la limite méridionale de la zone sahélienne, le lac Tchad est un grand lac plat d'étendue variable. Pour ses quatre pays riverains (Cameroun, Niger, Nigeria, Tchad) il constitue une source très importante de protéines et l'on peut évaluer approximativement à 100 000 t (chiffre peut-être sous-estimé) le rendement annuel de la pêche sur le lac et les biefs intérieurs de ses tributaires. On comprend alors l'intérêt des recherches hydrobiologiques entreprises depuis quelques années dans cette région, et le fait qu'elles aient posé comme objectif prioritaire l'étude de la productivité du lac.

Tout essai d'estimation de la production d'un écosystème nécessite cependant une bonne connaissance du milieu et en particulier de l'importance et de la répartition des stocks. Si, dans un premier temps les études ont été limitées à la partie est de la cuvette sud, il devint rapidement évident qu'il était indispensable d'acquiescer une vue même schématique de l'ensemble du lac malgré les problèmes posés par sa superficie (20 000 km²). Dans ce milieu ouvert, aux biotopes extrêmement variés, on ne pouvait en effet se contenter d'une étude ponctuelle sans dominer par ailleurs l'ensemble des phénomènes généraux régissant la dynamique des populations animales ou végétales. Le but du travail présenté ici est donc d'apporter, pour les principaux groupes d'organismes vivants dans le lac Tchad, un schéma même sommaire de répartition qualitative et quantitative et d'essayer de préciser les relations existant entre ces organismes et certains facteurs du milieu.

Dans une première partie, une synthèse des principales caractéristiques physico-chimiques du lac est présentée et les principaux facteurs de répartition ont été plus particulièrement développés. On n'a pas tenu compte des facteurs biotiques qui sont encore difficiles à préciser dans l'état actuel de nos connaissances, bien que le rôle et l'importance des poissons dans la prédation soient évoqués dans le dernier chapitre. Dans une seconde partie, un essai de zonation est proposé pour les divers groupes étudiés : phanérogames aquatiques, phytoplancton, zooplancton, vers, mollusques, insectes, poissons. Enfin dans les deux derniers chapitres, on a posé le problème des

variations interannuelles et recherché les caractères communs aux diverses zonations.

I. LE MILIEU

1. Situation et climat.

Le bassin tchadien s'étend sur 2 500 000 km² entre 5° et 25° de latitude nord et 7° et 25° de longitude est. Le milieu lacustre est apparu à la fin du Pléistocène après une longue période aride. Son étendue, de cette époque à nos jours, a fortement varié en fonction des changements climatiques. Le bassin est actuellement soumis en grande partie à un climat aride et subaride, ce qui réduit la zone d'alimentation à 30 % de la superficie totale (DAGET, 1967) (fig. 1).

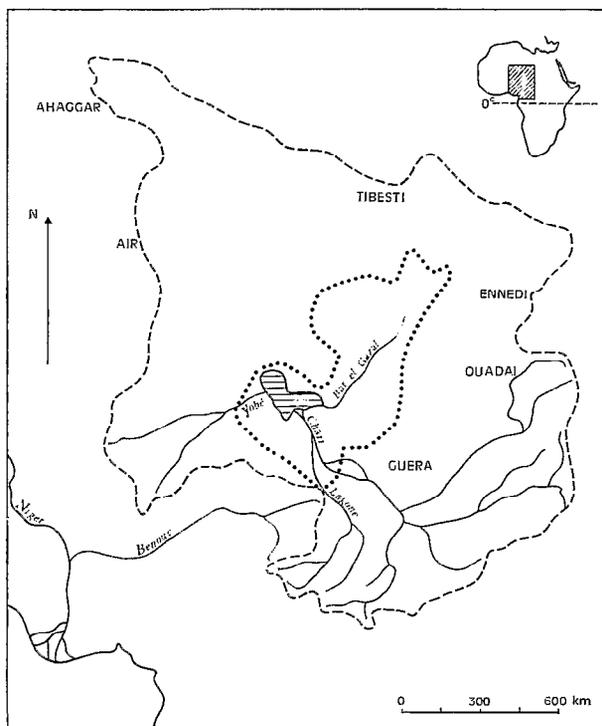


Fig. 1. — Carte de situation du bassin Tchadien ; limite du bassin en trait interrompu ; rivage lacustre 320 m (quaternaire récent) (d'après Touchebœuf de Lussigny *et al.*, 1969) en pointillé.

Le lac, situé entre 12° et 14°20' de latitude nord et entre 13° et 15°20' de longitude est, ne représente plus que 1/16^e de la surface qu'il occupait entre 5 et

6000 ans B.P. (SERVANT, 1970). Il se trouve dans une région sans relief marqué. Aussi, en raison de l'irrégularité des pluies tropicales, sa surface est-elle sujette à de fortes variations. Depuis le début du siècle la cote du plan d'eau a oscillé entre 279,5 et 284 m et sa surface entre 8 000 et 24 500 km².

Le bassin tchadien est situé dans la zone de balancement du front intertropical (FIT) qui délimite les masses d'air tropicales continentales (harmattan) et équatoriales maritimes (mousson). L'harmattan est installé dans la région du lac de mi-octobre à fin mars, la mousson de mai à septembre. La première période est marquée par une saison sèche, la seconde par une saison humide apportant 250 à 500 mm de pluies. Ces caractéristiques sont celles d'un climat sahélien.

Le régime des vents est en grande partie lié au déplacement du FIT et à un degré moindre aux phénomènes thermiques créés par le microclimat du lac lui-même. En saison sèche l'harmattan souffle généralement du nord-est tandis qu'en saison des pluies la mousson vient du sud-ouest. A ces vents dominants se superposent les vents locaux. Il s'agit d'une brise diurne dirigée du lac vers les terres et d'une brise nocturne orientée en sens inverse qui modifient peu la direction des vents dominants. Les vents sont généralement plus forts le jour que la nuit et présentent un maximum entre 6 h et 12 h.

La température moyenne de l'air au cours de l'année est de l'ordre de 27°C. Les variations saisonnières définissent une saison chaude (29 à 32°C) qui s'étend de mars à octobre, coupée par un léger refroidissement pendant la période humide (27,5°C en août) et une saison fraîche de décembre à mi-février (24 à 22°C). L'écart diurne moyen mensuel est minimum en août (7°C) et maximum en décembre et février (16 à 17°C).

L'insolation est très élevée pendant une grande partie de l'année. Sa valeur mensuelle moyenne varie de 275 à 310 heures excepté en saison des pluies (juillet, août, septembre) où elle est comprise entre 200 et 250 heures.

La permanence des vents et plus particulièrement la présence pendant la moitié de l'année des masses d'air tropicales sèches, la forte insolation et les températures de l'air élevées, sont autant de facteurs qui favorisent l'évaporation des eaux. Cette évaporation, dont les valeurs mensuelles varient de 0,155 m en août à 0,230 m en octobre, est égale à 2,18 m (CARMOUZE, 1971). Les pluies sont principalement réparties sur les mois de juillet, août et septembre, le mois d'août en recevant à lui seul 50 %. La valeur moyenne annuelle des précipitations est de l'ordre de 320 mm, et la pluviosité décroît du sud vers le nord du lac. Les variations interannuelles sont fortes : les valeurs extrêmes enregistrées au cours des quarante dernières années sont de 125 et 565 mm.

2. Géomorphologie.

2.1. RÉGIONS NATURELLES.

Par sa configuration côtière le lac peut être divisé en deux cuvettes, nord et sud, de part et d'autre d'un axe passant par Baga Kawa et Baga Sola (fig. 2). Cette division est également justifiée par le fait que le fond du lac relativement plat dans son

aquatiques : *Phragmites*, *Papyrus*... A la cote 281,5, cote moyenne du plan d'eau de 1968 à 1971, la surface du lac est de 20 500 km², celle de la zone d'archipel, 6 200 km² et celle des îlots-bancs, 8 650 m². Les eaux occupent 53 % de la surface de l'archipel et 80 % de celle des îlots-bancs. Les nombres d'îles et îlots-bancs sont respectivement estimés à 1 050 et 850, leur superficie moyenne à 2,4 km² (CARMOUZE et DUPONT, 1970). Cette physionomie du lac,



Fig. 2. — Grandes régions naturelles du lac Tchad. Les hachures correspondent aux régions d'îlots-bancs.

ensemble présente un décrochage situé un peu au nord de l'axe précité. Les fonds de la cuvette sud sont généralement compris entre les cotes 277,5 et 274,5 (fig. 3). Les deux cuvettes sont bordées au nord et à l'est par un erg fixé dont les sommets de dunes orientés sud-est nord-ouest forment un vaste archipel. Celui-ci est prolongé vers l'intérieur du lac par des îles de végétation ou îlots-bancs correspondant à des hauts fonds dunaires colonisés par des phanérogame

fonction des variations du niveau d'eau, est susceptible de changer profondément à l'échelle pluriannuelle. D'un aspect de petite mer intérieure, le lac peut passer à celui d'un marécage.

Le lac, tel qu'il se présente depuis le début des études hydrobiologiques qui remontent à une dizaine d'années, peut être subdivisé en un certain nombre de régions naturelles en fonction des grandes caractéristiques morphologiques et de la répartition des

différents paysages lacustres (Archipel, Îlots-Bancs, Eaux Libres).

Dans la cuvette nord on reconnaît trois régions (fig. 2 et 3).

— *Les Îlots-Bancs du nord* représentent la région la plus profonde du lac (la profondeur varie de 5 à 8 m) (1). Les îlots aux dimensions généralement supérieures à la moyenne et aux pentes abruptes sont très clairsemés et ne représentent que 17 % de la surface totale de cette région.

— *Les Eaux Libres du nord*, vaste région de 4 000 km², est dépourvue de toutes îles ou îlots-bancs. La profondeur, qui augmente progressivement du sud au nord, passe de 4 à 7 m.

Dans la cuvette sud, on distingue sept régions (fig. 2 et 3).

— L'archipel est subdivisé par l'avancée d'un cordon dunaire à partir de Kouloudia en *Archipel sud-est* et en *Archipel est*. Les profondeurs sont



Fig. 3. — Carte bathymétrique du lac Tchad. Les profondeurs sont ramenées à la cote 282 du plan d'eau (Carmouze et Dupont, 1970).

— *L'Archipel nord-est*, région légèrement moins profonde (4 à 6 m), est constitué d'îles sableuses plates et fréquemment ceinturées par des herbiers à *Potamogeton* et à *Najas*. Elles occupent 48 % de la surface totale.

comprises entre 2,5 et 4,0 m. La surface des îles est moins importante dans l'Archipel du sud-est : 38 % de la surface totale contre 51 % dans l'Archipel est.

— Les Îlots-Bancs du sud-est représentent une région peu profonde (2 à 3 m) dont la partie méridionale

(1) Toutes les profondeurs citées dans le texte correspondent à un plan d'eau de référence fixé à la cote 282.

dionale est occupée par de grandes surfaces d'herbiers immergés (*Potamogeton* principalement).

— Les eaux libres de la cuvette sud sont divisées en *Eaux Libres du sud-est* et *Eaux Libres du sud* qui définissent deux zones de profondeurs différentes : 3 à 4 m dans la première, 2 à 3 m dans la seconde.

— *Les Ilots-Bancs du sud* bordent la côte méridionale du lac. Les profondeurs sont de l'ordre de 2 m. Les ilots-bancs, généralement de taille inférieure à la moyenne, couvrent 15 % de la surface totale de cette zone.

— *La Grande Barrière*, zone de communication entre les deux cuvettes, par la faiblesse de ses profondeurs, 2 à 3 m, est rattachée à la cuvette sud. Les ilots-bancs représentent 20 % de la surface.

2.2. LES SÉDIMENTS.

La nature des fonds lacustres et leur distribution ont fait l'objet d'une étude générale étendue à l'ensemble du lac (DUPONT, 1968, 1970) et d'une étude détaillée dans la région de Bol (DUPONT et LÉVÊQUE, 1968).

2.2.1. Nature des fonds.

Les sédiments superficiels sont classés en quatre types principaux : vase, argile, pseudo-sable et sable, eux-mêmes subdivisés en variétés.

La vase est un matériau astructuré, brun gris ou noir qui se présente soit sous forme de suspension fine dans la plus grande partie du lac, soit sous forme floconneuse dans les zones d'eaux à salure élevée c'est-à-dire dans les Ilots-Bancs du nord. Sa densité est voisine de 1,1. Sa fraction minérale (80 % du poids sec) peut être partagée en trois lots granulométriques d'égale importance en fonction de la taille des particules : argile (inférieure à 0,002 mm), limon (entre 0,002 et 0,050 mm), sable (entre 0,050 et 2 mm). La montmorillonite est la forme argileuse prédominante. La fraction organique, qui atteint jusqu'à 15 % du poids sec, est constituée de débris végétaux fins (0,5 à 3 mm). Les teneurs moyennes en carbone et en azote sont respectivement égales à 7,5 % et 0,7 % du poids sec. La tourbe correspond au cas particulier où les débris végétaux sont abondants et en début de décomposition. La teneur en eau du sédiment est toujours importante : 25 à 50 % du poids sec. Généralement deux fois plus salée que l'eau libre, l'eau interstitielle diffère par une plus forte teneur relative en magnésium et en silicates.

L'argile est caractérisée par une fraction minérale renfermant plus de 50 % d'éléments de

taille inférieure à 0,002 mm. Elle comprend généralement 10 à 40 % de limon et 10 à 20 % de sable. La montmorillonite, bien cristallisée, est toujours dominante. La matière organique, légèrement plus importante dans la variété structurée que dans les autres, ne dépasse pas 4 % du poids sec. L'eau interstitielle est plus abondante dans l'argile molle (12 à 32 % du poids sec) que dans l'argile structurée (4 à 13 %). Elle est toujours sensiblement deux fois plus salée que l'eau libre voisine. La dominante ionique est le sodium.

Selon son aspect elle est subdivisée en *argile molle* homogène et sans structure ; en *argile bleue* plus compacte, plus gluante et plus pauvre en matière organique que la précédente ; en *argile structurée* se débitant en polyèdres anguleux à faces lisses de quelques centimètres ; en *argile granulaire* constituée de petits éléments (quelques millimètres à 2 ou 3 cm, anguleux à subanguleux moins facilement friables à la main.

Les sédiments situés au nord du delta de la Yobé sont fréquemment recouverts d'une croûte de calcite dont la teneur peut atteindre 5 % du poids sec.

Le pseudo-sable qui ressemble au marc de café est formé de petits grains arrondis de taille moyenne 0,2 mm, lisses et brillants, parfaitement individualisés, de densité supérieure à celle du quartz (2,80 contre 2,65). Deux types de grains ont été mis en évidence. La plupart (95 %), sont formés d'un noyau montmorillonitique entouré d'un cortex à structure pelliculaire renfermant de la goethite. Les 5 % restants, à structure oolithique nette, sont de taille presque toujours supérieure à 0,4 mm (DUPONT et LEMOALLE, 1972).

Le sable fin et bien trié provient de deux stocks distincts. Le premier correspond à l'erg bordant le nord et l'est du lac. Il est constitué de sable quartzueux d'origine éolienne, dont la taille moyenne se situe autour de 0,250 mm. Le second est micacé et provient des apports fluviaux. La taille moyenne des grains est de l'ordre de 0,60 mm. Les deux stocks sont souvent mêlés.

2.2.2. Répartition des fonds.

La carte des fonds (fig. 4) a été établie pour l'ensemble du lac par DUPONT (1970).

La vase qui couvre sensiblement 50 % de la surface du lac prédomine généralement dans la région des ilots-bancs. Dans l'archipel elle recouvre 80 % des fonds.

L'argile, partout présente, est parfois recouverte par d'autres types de fonds. Elle occupe 20 % de la superficie totale du lac mais seulement 12 % de l'archipel, dans les zones balayées par les courants. Elle se présente sous forme d'argile bleue ou struc-

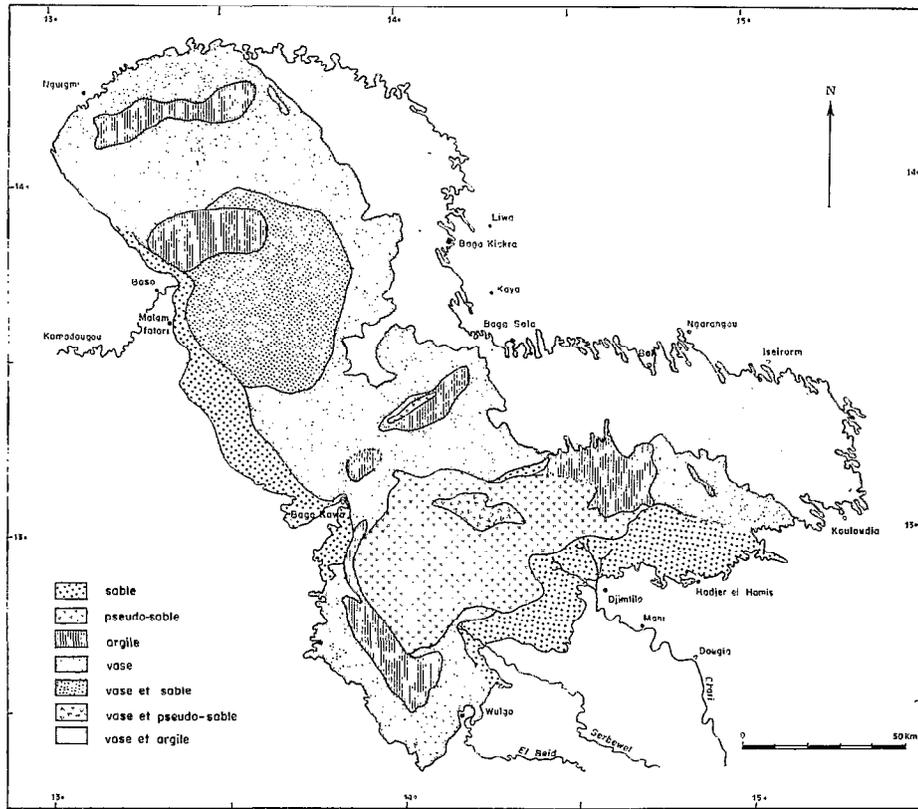


Fig. 4. — Répartition et nature des fonds du lac Tchad(d'après Dupont, 1970).

turée dans le sud du lac et en bordure de l'Archipel sud-est, sous forme d'argile molle dans la partie profonde du lac au nord de la Yobé et sous forme d'argile granulaire dans les régions de faible profondeur du sud et de l'est.

Le pseudo-sable couvre 10 à 15 % de la superficie du lac et est situé dans une zone s'étendant du delta du Chari à la Grande Barrière.

Le sable représente 12 % des fonds et est localisé le long de la côte méridionale, au débouché des fleuves ainsi qu'à l'est du delta du Chari. Il apparaît également sur certains hauts fonds ainsi qu'en bordure des îles sous forme de franges représentant à peine 2 % de la surface des fonds des archipels.

3. Hydrologie.

3.1. RÉGIME HYDRIQUE.

Le lac est principalement alimenté par les eaux d'origine fluviale dont 95 % proviennent du Chari grossi du Logone et 5 % de l'El Beid et de la Yobé, qui sont des tributaires intermittents (BILLON *et al.*,

1967, 1969 ; TOUCHEBOEUF DE LUSSIGNY, 1969). Les pluies ne représentent que 10 % des apports totaux. Les pertes compensatrices dans ce système privé d'exutoire sont dues à l'évaporation et aux infiltrations. Cet équilibre est rarement réalisé à l'échelle annuelle. Le niveau d'eau est susceptible de fortes variations qui proviennent en grande partie de l'irrégularité des apports et du fort coefficient de renouvellement annuel des eaux lacustres. En effet, les apports enregistrés en continu depuis 1933 (TOUCHEBOEUF DE LUSSIGNY, 1969) peuvent varier du simple au double d'une année à l'autre. La valeur moyenne est de $47 \cdot 10^9 \text{ m}^3$, les valeurs extrêmes de $29 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ et $64 \cdot 10^9 \text{ m}^3$. Par contre les fluctuations des pertes sont moins amples et moins brutales. L'évaporation qui représente 90 à 95 % des pertes (GARMOUZE, 1971) est proportionnelle à la surface liquide qui varie peu au-dessus de la cote 280,5. Les valeurs extrêmes des pertes estimées à $38 \cdot 10^9$ et $54 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ pour cette même période ont été obtenues à la suite de plusieurs années successivement déficitaires ou excédentaires en apports. Les pertes globales annuelles par unité de surface sont égales à 2,36 m, les pertes par évaporation à 2,15 m.

Du fait de son faible volume, le lac amortit mal les effets de ce déséquilibre annuel entre les pertes et les apports. Le coefficient de renouvellement annuel des eaux est très élevé (55 % en moyenne), et très variable, en raison de l'irrégularité des apports. Entre 1933 et 1972 son volume a oscillé de 31,3 à 105,0.10⁹ m³. Depuis 1964 le niveau moyen du lac baisse de façon continue (fig. 5). Par ailleurs, le lac reçoit en cinq mois 80 % des eaux d'alimentation. Aussi son niveau varie-t-il de 0,90 m en moyenne au cours d'une année avec un maximum en janvier et un minimum en juillet (fig. 5).

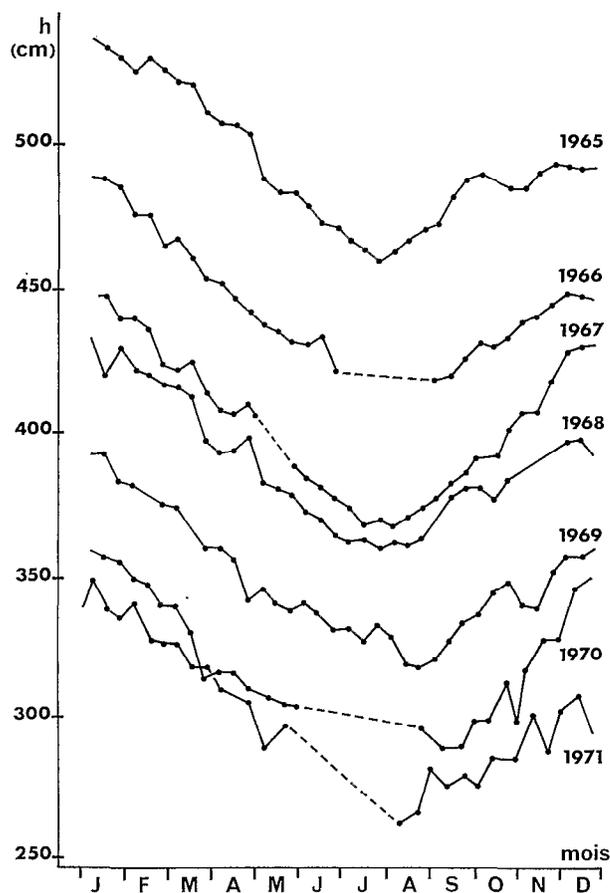


Fig. 5. — Variations du niveau du lac Tchad à Bol, Archipel sud-est (d'après Durand et Loubens, 1971)

3.2. GRANDS MOUVEMENTS D'EAU DANS LE LAC.

Le lac reçoit 50 % des apports fluviaux en octobre et novembre (fig. 6). L'énorme énergie potentielle des eaux de crue induit de grands déplacements qui se poursuivent en s'amortissant progressivement sur l'ensemble du lac jusqu'en janvier. Ces mouvements,

communiqués par la poussée des eaux fluviales, sont combinés aux mouvements dus aux vents (mousson et harmattan). La distribution de ces forces est sensiblement la même d'une année à l'autre : les époques de maximum de crue du Chari sont répétées à 10 jours près, celles d'inversion des vents à 15 jours près. Aussi le déroulement des grands déplacements d'eau dans le lac ne subit-il pas de modifications annuelles importantes.

La dynamique des eaux, dont nous présentons un résumé, a été décrite à partir de la distribution spatio-temporelle des teneurs en sodium dans le lac de 1968 à 1972 (CARMOUZE, 1971).

Les premières eaux de crue du Chari arrivent en août dans les Eaux Libres du sud-est. Elles refoulent brutalement les eaux anciennes au-delà de la Grande Barrière sans s'étaler dans les Eaux Libres du sud ni dans l'Archipel du sud-est (fig. 7a). Les vents infléchissent ce mouvement vers la partie orientale de la cuvette nord. A la mi-octobre, il y a inversion du régime des vents. L'harmattan s'installe. L'entrée des eaux dans la cuvette nord est déplacée vers le sud de la Grande Barrière (fig. 7 b). Les eaux de crue dont la poussée est maximale en novembre longent la côte occidentale et amorcent un mouvement circulaire dans les Eaux Libres du nord en refoulant une partie des eaux résiduelles vers l'Archipel nord-est (mouvement mis en évidence par Hopson, 1968) Elles envahissent les Eaux Libres du sud et, à un degré moindre, l'Archipel est.

Dès le mois de février (fig. 7 c), il n'y a plus arrivée d'eau dans la cuvette nord. Les faibles apports du Chari s'étalent dans les Eaux Libres et dans l'Archipel est. Dans les Eaux Libres du nord, au mouvement incurvé pris par les eaux de crue en novembre et décembre, fait suite un refoulement vers la côte occidentale d'eaux situées au nord de la Grande Barrière. Ces déplacements sont accompagnés de mélanges.

En période d'étiage l'alimentation fluviale est quasiment nulle. On constate un léger retour des eaux de la cuvette nord vers la cuvette sud (fig. 7 d). Ce mouvement peut s'expliquer par le fait que les pertes annuelles par unité de surface sont légèrement plus fortes dans la cuvette sud mais aussi par le mouvement de reflux des eaux refoulées en hiver sous l'effet de la crue du Chari. Dans l'Archipel nord, l'homogénéisation des eaux par mélange sous l'action des vents se poursuit.

Jusqu'en juillet il n'y a apparemment pas d'importants déplacements d'eaux. A cette époque le début de la crue du Chari engendre un courant dirigé vers l'est de la Grande Barrière, courant qui se trouve amplifié en novembre comme nous l'avons vu.

En raison du mode de remplissage saisonnier du lac et de sa morphologie, le coefficient de renouvellement annuel des eaux est variable selon les régions.

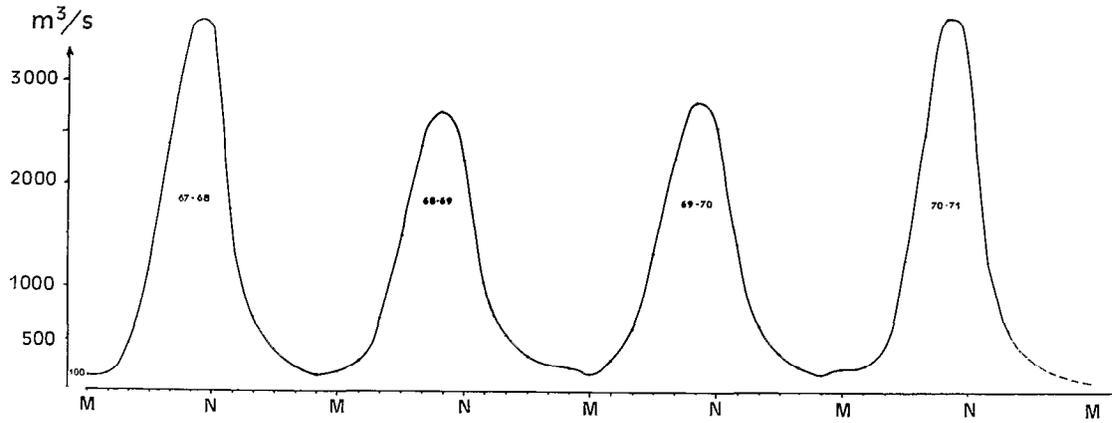


Fig. 6. — Débits mensuels du Chari à Fort-Lamy, de mai 1967 à mai 1971 (Carmouze, 1971).

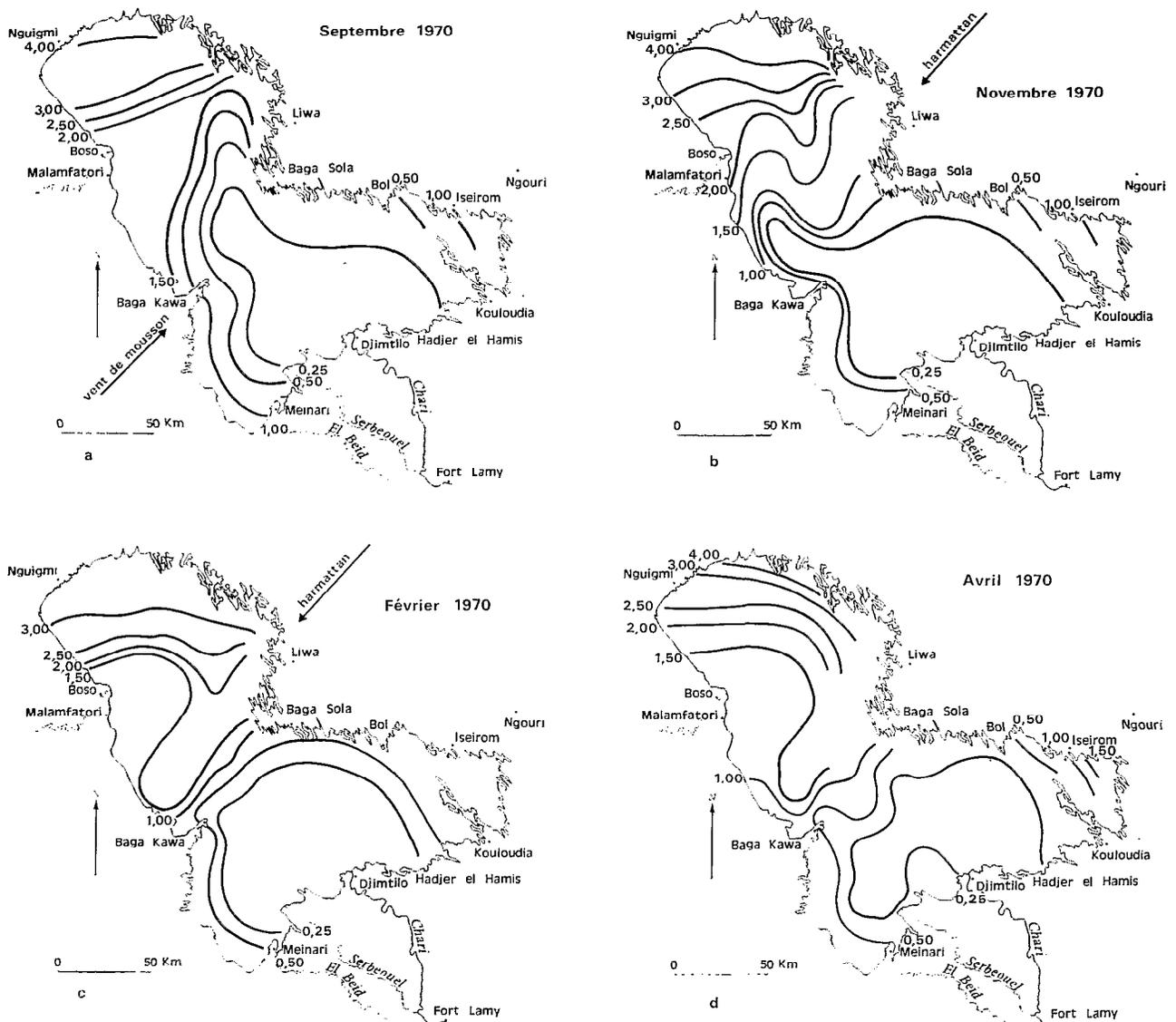


Fig. 7. — Grands mouvements saisonniers des eaux, d'après les courbes d'isoconcentration en sodium (mg/l) (Carmouze, 1971).

Il est de l'ordre de 70 à 100 % dans les Eaux Libres du sud et du sud-est ainsi que dans la partie occidentale de l'Archipel du sud-est, et de 40 % dans la cuvette nord. Ce schéma général de la circulation des eaux est conforme aux résultats obtenus par M. A. ROCHE (1969).

4. Physico-chimie des eaux.

4.1. TEMPÉRATURE.

La température moyenne annuelle des eaux du lac est de l'ordre de 27 °C. Elle évolue au cours de l'année en fonction du rythme climatique, mais ne subit pas d'importantes variations spatiales comme l'indiquent les courbes de température établies au cours d'une même période à Bol et à Malamfatori. Les courbes annuelles de température présentent deux maximums : l'un en mai-juin avec 32 °C, l'autre en octobre avec 30 °C, et un minimum en janvier avec 19 °C (fig. 8). Les variations diurnes qui modulent ces courbes sont variables selon la saison. Les écarts de température des eaux de surface à Bol en saison humide, entre 6 h et 18 h, sont de l'ordre de 1 à 1,5 °C. En saison froide, ils atteignent 3 à 4 °C.

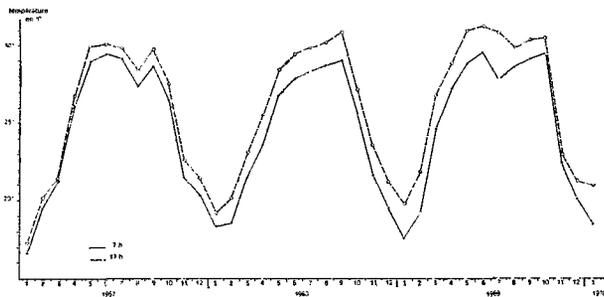


Fig. 8. — Températures des eaux de surface à Bol, Archipel sud-est (Lévêque, 1971).

Le lac, quoique peu profond et très venté, peut présenter une stratification thermique qui se forme en début d'après-midi et qui disparaît en fin d'après-midi. Cette stratification journalière est plus fréquente pendant la saison chaude (1 jour sur 2). Des écarts dépassant 3 °C ont parfois été observés.

4.2. TRANSPARENCE.

La transparence des eaux dans le lac est généralement faible, ceci en raison de la profondeur peu importante du milieu favorable à la remise en suspension des sédiments sous l'action des vents et également en raison des apports fluviaux chargés en

matériaux solides. Dans certaines régions, l'abondance du phytoplancton peut également intervenir. L'importance de la remise en suspension des sédiments superficiels dépend de la nature des fonds ainsi que de la turbulence du milieu variable selon le type de paysage lacustre (archipel, îlots-bancs, eaux libres) et la profondeur. Ces facteurs régionaux combinés entre eux déterminent des zones de transparences distinctes, marquées de façon très inégale par l'alimentation saisonnière du lac en eaux troubles.

A partir de mesures de transparence effectuées à l'aide du disque de Secchi de juin 1970 à juin 1971, le lac, pour une cote moyenne égale à 281 m a été divisé en 5 régions.

— La région comprenant les Eaux Libres du sud et du sud-est, les îlots-Bancs du sud et la Grande Barrière, peu profonde et entièrement envahie par les eaux troubles du Chari en hiver est caractérisée par des transparences faibles de l'ordre de 15 à 30 cm. Les eaux des Eaux Libres du sud-est, les plus marquées par les variations saisonnières, présentent un minimum de transparence (10 cm) en août et septembre, époque de maximum de débit solide du Chari (CARRÉ, 1972), et un maximum de transparence (50 cm) en mai et juin qui correspond à la période d'étiage du Chari.

— La région de l'Archipel sud-est est caractérisée par une gradation plus ou moins marquée de la transparence qui augmente de 20 à 50 cm du sud au nord. A l'extrémité de certains bras elle est plus élevée (50 à 100 cm). En hiver la transparence dans la partie méridionale de cette région envahie par les eaux de crue diminue (15 à 20 cm).

— La région de l'Archipel est possédée des eaux plus claires. D'ouest en est la transparence passe progressivement de 35 à 50 cm. Aux extrémités des bras elle est toujours plus forte (50 à 150 cm). Les fluctuations saisonnières y sont faibles.

— La région des Eaux Libres du nord présente des transparences de 40 à 60 cm qui diminuent dans sa partie méridionale en novembre et décembre lors de l'arrivée des eaux de crue (15 à 20 cm).

— La région de l'Archipel nord et des Îlots-Bancs du nord, profonde et peu influencée par les eaux de crue, abrite des eaux relativement claires dont la transparence augmente progressivement du sud au nord de 60 à 80 cm.

Les transparences de ces différentes régions sont susceptibles de varier fortement en fonction du niveau du lac. La remise en suspension des sédiments est d'autant moins efficace et l'extension des eaux de crue est d'autant moins grande que le niveau du lac est élevé. A Bol, de 1964 à 1971, période au cours de laquelle la cote du lac a baissé progressivement de

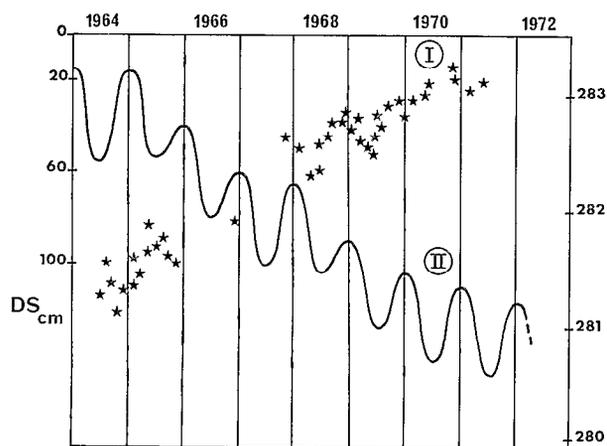


Fig. 9. — Variations de la transparence des eaux et de la cote du niveau d'eau à Bol de 1964 à 1972. Les transparences (*) sont mesurées au disque de Secchi et exprimées en centimètres.

2 m, la transparence mesurée au disque de Secchi est passée de 115 à 20 cm (fig. 9) (GRAS *et al.*, 1967; LEMOALLE, 1972).

4.3. SALURE.

La salure des eaux est principalement composée de carbonates et bicarbonates de calcium, magnésium, sodium et potassium à l'état d'ions et de silicates dissous très faiblement ionisés. Les premières études ont généralement été limitées à des estimations de la salure ionique par des mesures de conductivité des eaux (BOUCHARDEAU *et al.*, 1957; DUPONT, 1967; GRAS *et al.*, 1967; ROCHE, 1967; HOPSON, 1968). L'étude dynamique des principaux sels dissous est en cours depuis 1967 (ROCHE, 1969, 1970; CARMOUZE, 1968, 1969, 1970, 1971; TOUCHEBEUF DE LUSSIGNY, 1969). Enfin les sels nutritifs ont fait l'objet d'études préliminaires (CARMOUZE, 1968; LEMOALLE, 1969).

4.3.1. Salure globale.

La salure des eaux lacustres est comprise entre 70 et 1 000 mg de sels dissous par litre, ou encore, lorsqu'il s'agit de mesures de conductivité des eaux ramenées à 25 °C, entre 50 et 1 100 $\mu\text{mhos. cm}^{-1}$. Ces valeurs classent le lac Tchad dans la catégorie des lacs d'eaux douces.

D'après les résultats dont nous disposons depuis 1967, la salure moyenne, qui est de l'ordre de 200 mg de sels dissous par litre, reste approximativement

constante à l'échelle pluriannuelle. Les apports fluviaux en sels sont donc équilibrés par les pertes. Celles-ci proviennent des infiltrations d'eaux dont le volume est estimé en moyenne à 7,5 % des apports fluviaux et de l'élimination partielle du milieu de certains sels dissous (CARMOUZE, 1971). Les sels éliminés sont, par ordre d'importance, des silicates dissous, des ions calcium, magnésium et potassium qui participent à des genèses argileuses dont l'étude est en cours. Si ces phénomènes qui provoquent la dessalure partielle des eaux n'existaient pas, la zone de coprécipitation des carbonates de calcium et de magnésium, restreinte actuellement à la bordure nord du lac, s'étendrait sur l'ensemble de la cuvette nord et de l'Archipel est; de plus, les eaux seraient en permanence saturées en silicates (125 mg de $\text{SiO}_2/1$) dans ces deux parties du lac ainsi que dans l'Archipel sud-est, les Eaux Libres du sud, les Îlots-Bancs du sud et la Grande Barrière en période d'étiage du Chari (de mars à juillet).

Dans ce milieu fermé, il existe une gradation permanente de la salure des eaux : elles sont d'autant plus salées qu'elles sont éloignées du delta, l'accroissement de leur salure, dû à l'évaporation, étant principalement fonction de leur âge. La salure égale à 70 mg/l dans le delta (soit 55 μmhos), atteint dans les Îlots-Bancs du nord, dans l'Archipel est et dans les Îlots-Bancs du sud des valeurs qui sont respectivement de l'ordre de 850, 540 et 250 mg/l (soit 900, 550 et 200 μmhos).

Il y a généralement au niveau de la Grande Barrière une discontinuité qui provient de la morphologie et du régime hydrique du milieu : les eaux de la cuvette nord sont en moyenne 5 à 10 fois plus salées que celles de la cuvette sud, l'Archipel est mis à part.

Mais la distribution spatiale de la salure est profondément modifiée dans certaines régions au cours de l'alimentation du lac. La cuvette sud, excepté l'Archipel est, est envahie d'août à janvier par les eaux de crue du Chari très peu salées (50 μmhos). Ces eaux refoulent vers les Îlots-Bancs du sud, l'Archipel est et l'Archipel nord-est les eaux résiduelles qui sont généralement deux fois plus salées (100 μmhos) (fig. 10 c). De novembre à décembre la partie méridionale des Eaux Libres du nord reçoit les eaux de crue qui se mélangent rapidement aux eaux résiduelles de cette région (fig. 10 a, 10 b). Il s'en suit une diminution de la salure : la conductivité passe de 500 à 250 μmhos . Dans les autres régions les variations saisonnières sont moins brutales et moins amples. Le reste de l'année, l'alimentation du lac demeurant très faible, il n'y a plus d'échanges entre les deux cuvettes. Les vents favorisent dans chacune d'elles l'homogénéisation plus ou moins complète des eaux selon qu'il s'agit des zones d'eaux libres, d'îlots-bancs, ou d'archipel. Il en résulte une atté-

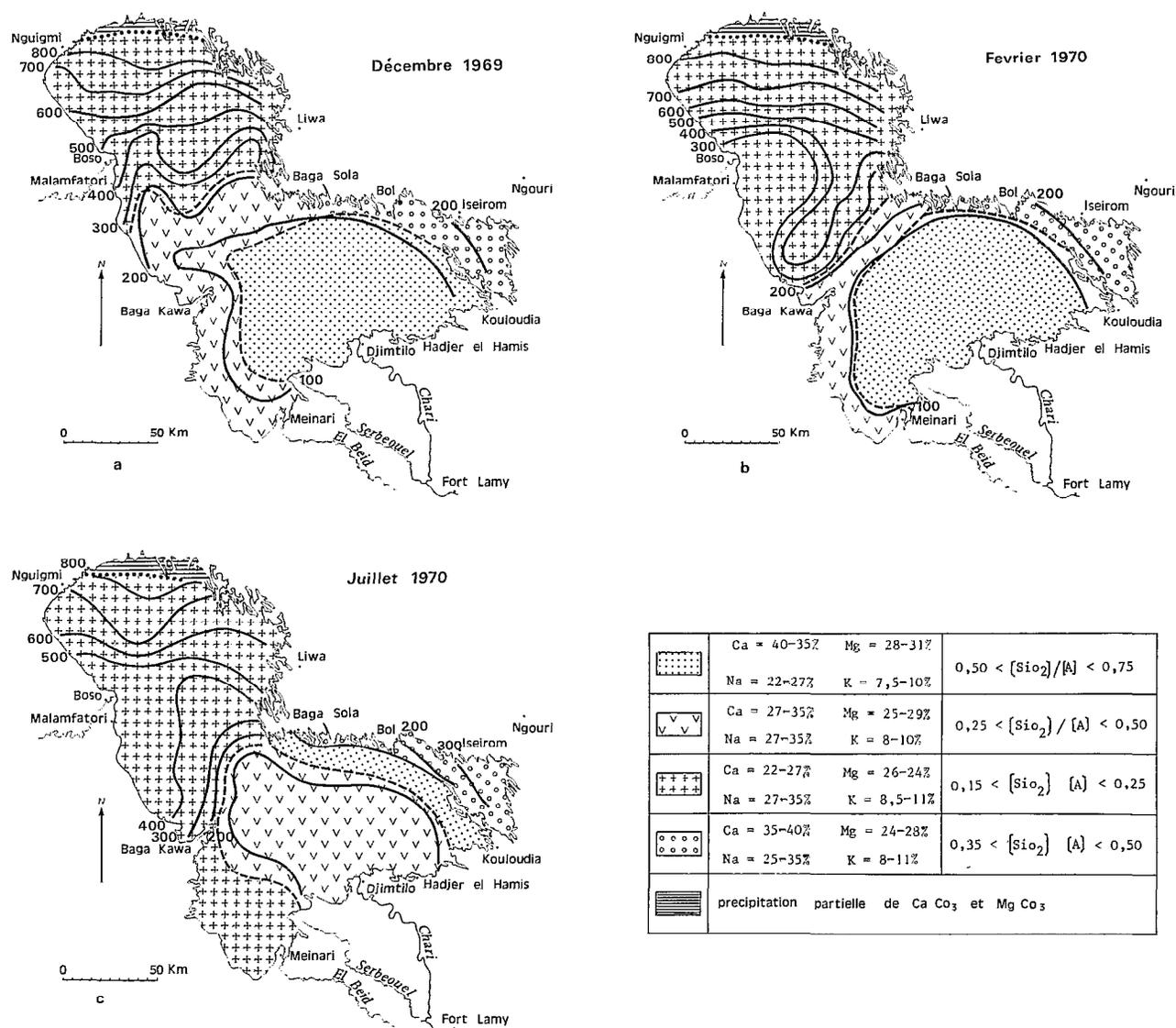


Fig. 10. — Courbes d'isoelectivité ($\mu\text{mhos. cm}^{-1}$) et compositions relatives des salures des eaux.

nuation progressive de la gradation spatiale de la salure de février à juillet. La salure moyenne des eaux diminue de septembre à janvier en raison des apports d'eaux fluviales puis augmente progressivement jusqu'à la crue suivante.

Dans ce milieu à fort gradient de salure, les valeurs de pH sont comprises entre 7 et 9. Les eaux de la cuvette sud ont un pH compris entre 7 et 8, excepté celles de l'Archipel est dont le pH peut atteindre 8,5. Dans la cuvette nord, les eaux des Eaux Libres du nord ont un pH très variable selon la saison (7,5 en décembre, 8,5 en septembre), tandis que celles de

l'Archipel nord-est et des Îlots-Bancs du nord ont un pH compris entre 8 et 8,5. Dans les extrémités de bras de l'Archipel nord-est le pH des eaux peut atteindre 9.

4.3.2. Composition relative de la salure.

Les phénomènes physico-chimiques qui se manifestent dans le lac provoquent comme nous l'avons vu une dessalure différentielle des eaux, à savoir une diminution relative par rapport au sodium, des silicates, du calcium, du magnésium et, à un degré moindre, du potassium.

La caractérisation de la composition relative de la salure des eaux et son mode d'évolution sont étudiés au moyen des paramètres suivants :

— le rapport de la concentration en silicates dissous exprimés en mg de SiO_2 /l sur l'alcalinité exprimée en méq/l : $[\text{SiO}_2]/[\text{A}]$. Ce dernier terme, A, qui représente dans ce milieu la somme des anions est relié à la conductivité, C (en μmhos) par la relation $C = 0,95A - 2,00A^2$ (CARMOUZE, 1968),

— les pourcentages de chacun des cations (méq/l) (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+) par rapport à leur somme totale qui est approximativement égale à l'alcalinité.

La salure ionique des eaux de crue est composée de 40 % de calcium, 30 % de magnésium, 22 % de sodium et 8 % de potassium. Le rapport des silicates à l'alcalinité est de 75 %. Ces eaux, dès le mois de mai, occupent une grande partie de la cuvette sud (fig. 10 a), après avoir refoulé les eaux résiduelles de la cuvette nord, de l'Archipel est et des Îlots-Bancs du sud. Elles restent en place de fin janvier à début août (fig. 10 b). Au cours de cette période, la composition de la salure évolue. Cette évolution est d'autant plus marquée que les eaux séjournent plus longtemps dans les eaux libres et les îlots-bancs. Avant l'arrivée des nouvelles eaux en juillet (fig. 10 c), elles contiennent selon leur emplacement de 22 à 35 % de calcium, de 24 à 29 % de magnésium, de 27 à 40 % de sodium et de 8 à 11 % de potassium. Le rapport des silicates à la somme des cations (ou à l'alcalinité) est alors de 15 à 60 %. Sous la poussée des eaux de crue, ce sont donc des eaux ayant atteint ces nouvelles caractéristiques qui sont refoulées principalement vers le nord et l'est du lac.

Les eaux de crue ayant directement traversé la Grande Barrière, évoluent de la même façon dans la cuvette nord. Mais par leur mélange avec des eaux 8 à 10 fois plus salées qui ont été transformées antérieurement, leur évolution est plus difficile à mettre en évidence. Les variations saisonnières de la composition relative de la salure y sont donc atténuées. Les eaux contiennent 22 à 27 % de calcium, 24 à 26 % de magnésium, 35 à 40 % de sodium et de 8,5 à 11 % de potassium. Le rapport des silicates à l'alcalinité représente 15 à 25 % (fig. 10 a, 10 b, 10 c).

L'Archipel est est la seule région de la cuvette sud qui ne soit pas directement influencée par la crue du Chari. Il est occupé par des eaux dont la salure est composée de 35 à 40 % de calcium, 24 à 28 % de magnésium, 25 à 35 % de sodium et 8 à 11 % de potassium. Le rapport des silicates représente 35 à 50 %. Ces eaux sont moins profondément modifiées que celles de la cuvette nord. Leurs variations saisonnières sont également plus faibles (fig. 10 a, 10 b, 10 c).

Dans l'extrême nord et dans certaines extrémités de bras de l'Archipel nord-est et est, il y a précipitation de carbonate de calcium parfois accompagné de carbonate de magnésium. Dans ces eaux les pourcentages de calcium et, à un degré moindre, de magnésium diminuent au profit du sodium et du potassium (fig. 10 a, 10 b, 10 c).

4.3.3. Sels nutritifs.

(a) Les phosphates.

Seuls les phosphates dissous dans les eaux, principalement sous forme d'orthophosphates PO_4^{---} , ont été dosés. On retrouve une gradation des teneurs en PO_4^{---} proche de celle de la salure globale mais qui peut être modifiée dans certaines régions par des facteurs biologiques. Les eaux des Eaux Libres du sud-est et de l'est sont relativement pauvres en phosphate, leur teneur variant selon les saisons entre 10 et 50 $\mu\text{g/l}$ (de septembre à janvier) et entre 150 et 250 $\mu\text{g/l}$ (de mai à mi-juillet). Les eaux des Archipels sud-est et est contiennent respectivement de 100 à 400 $\mu\text{g PO}_4^{---}/\text{l}$ et 500 à 1 200 $\mu\text{g PO}_4^{---}/\text{l}$. Les eaux de la cuvette nord sont généralement 5 à 10 fois plus riches en phosphate que celles de la cuvette sud. Dans les Eaux Libres du nord il existe un minimum en novembre, décembre et janvier (de 100 à 600 $\mu\text{g PO}_4^{---}/\text{l}$) et un maximum en juillet, août et septembre (de 800 à 1200 $\mu\text{g PO}_4^{---}/\text{l}$). Les eaux des Îlots-Bancs du nord et de l'Archipel du nord, régions moins marquées par les variations saisonnières, contiennent entre 1 000 et 3 000 $\mu\text{g PO}_4^{---}/\text{l}$ (valeurs qui semblent particulièrement élevées pour un milieu naturel). Il faut ajouter que la partie méridionale de l'Archipel nord-est connaît des valeurs plus basses en septembre et octobre (500 à 800 $\mu\text{g PO}_4^{---}/\text{l}$).

(b) Composés azotés.

Les dosages des composés azotés ont été limités à la région de Bol où l'azote minéral combiné est en faible concentration. Bien que les résultats manquent de précision il est possible d'avoir une idée des différentes formes de l'azote dans le milieu. L'azote ammoniacal est en concentration de 100 à 200 $\mu\text{g N/l}$. Il semble qu'une fraction importante de cet azote soit composée d'acides aminés en solution. La somme des nitrates et nitrites est toujours inférieure à 40 $\mu\text{g N/l}$. L'azote « Kjeldal particulière » est de l'ordre de 1 000 $\mu\text{g/l}$, tandis que l'azote organique soluble (y compris l'ammoniaque) est en concentration de l'ordre de 400 $\mu\text{g N/l}$. Les faibles teneurs en composés azotés sont typiques des eaux tropicales.

Les principales caractéristiques physiques et physico-chimiques des grandes régions naturelles du lac Tchad : surface totale (km²), % de la surface en eau, profondeur (m), nature des fonds (types dominants),

transparence (cm), conductivité (μmhos. cm⁻¹), composition relative de la salure, coefficient de renouvellement annuel, sont résumées dans le tableau I.

TABLEAU I

Principales caractéristiques physiques et physico-chimiques des grandes régions naturelles du lac à la cote 281,5 du niveau d'eau

	Régions	S* (km ²)	Surf. en eau (%)	z* (m)	Nature des Fonds	D.S.* (cm)	C* (μmhos)	Composition relative de la salure	R* (%)
Cuvette nord	Ilots-Bancs du nord	3560	83	5 à 8	Vase	60 à 80	500 à 1500	0,15 < [SiO ₂] / [A] < 0,25 22 < % Ca < 27 25 < % Mg < 29 35 < % Na < 40 8,5 < % K < 40	40
	Archipel nord	2200	52	4 à 6	Vase+argile	60 à 80	200 à 1200		
	Eaux Libres du nord	4200	100	4 à 7	Vase+argile	40 à 60	250 à 500		
Cuvette sud	Archipel est	1050	49	2,5 à 4	Vase+argile	35 à 50	150 à 650	0,50 < [SiO ₂] / [A] < 0,35 ; 35 < % Ca < 40 25 < % Na < 35 ; 24 < % Mg < 31 ; 7,5 < % K < 11 0,35 < [SiO ₂] / [A] < 0,60 ; 35 < % Ca < 40 22 < % Na < 35 ; 24 < % Mg < 31 ; 7,5 < % K < 11 0,25 < [SiO ₂] / [A] < 0,75 27 < % Ca < 40 22 < % Na < 35 25 < % Mg < 31 7,5 < % K < 10 0,15 < [SiO ₂] / [A] < 0,50 27 < % Na < 40 ; 22 < % Ca < 35 24 < % Mg < 29 ; 8 < % K < 11	85
	Archipel sud-est	1470	62	2,5 à 4	Vase+argile	20 à 50	70 à 200		
	Eaux Libres du sud-est	1850	100	3 à 4	Pseudo-sable+argile	10 à 50	50 à 120		
	Eaux Libres du sud	1850	80	2 à 3	Pseudo-sable+vase	15 à 30	50 à 120		
	Ilots-Bancs du sud-est	1200		2 à 3	Vase+argile	15 à 30	50 à 125		
	Ilots-Bancs du sud	1450	85	2	Vase+argile	15 à 30	50 à 250		
	Grande Barrière	2000	80	2 à 3	Vase	15 à 30	50 à 400		

* S désigne la surface totale du lac, z la profondeur, D.S. la transparence mesurée au disque de Secchi, C la conductivité, R le coefficient de renouvellement annuel des eaux.

II. RÉPARTITION DES ORGANISMES

1. Production primaire et végétaux.

1.1. PRODUCTION PRIMAIRE.

Une étude préliminaire de la production primaire a été réalisée de 1968 à 1969 à Bol dans l'Archipel

du sud-est (LEMOALLE, 1969). Elle a notamment permis de suivre les variations saisonnières de l'activité photosynthétique du phytoplancton et de mettre en évidence l'influence de la température. La méthode utilisée est celle de Gran, avec des incubations *in situ* de 3 heures. Une relation entre la production moyenne horaire (ΣA) autour de midi et la production moyenne journalière (ΣΣA) a été

établie : $\Sigma\Sigma A = f\Sigma A$, avec $f = 8,7$ en moyenne pour l'année. Pour l'ensemble du lac, la relation $k_1(DS) = \frac{1}{\Sigma A}$ a été vérifiée (DS est la transparence, en centimètres, mesurée au disque de Secchi). La fonction théorique $\Sigma A = C.F(I).Aopt(DS)$ peut donc être étudiée sur le lac en supposant $F(I)$ constante pour simplifier ($F(I)$ est la fonction de relation entre intensité lumineuse et activité photosynthétique du phytoplancton ; $Aopt$, la productivité horaire optimale par unité de volume en $mg O_2/1h$).

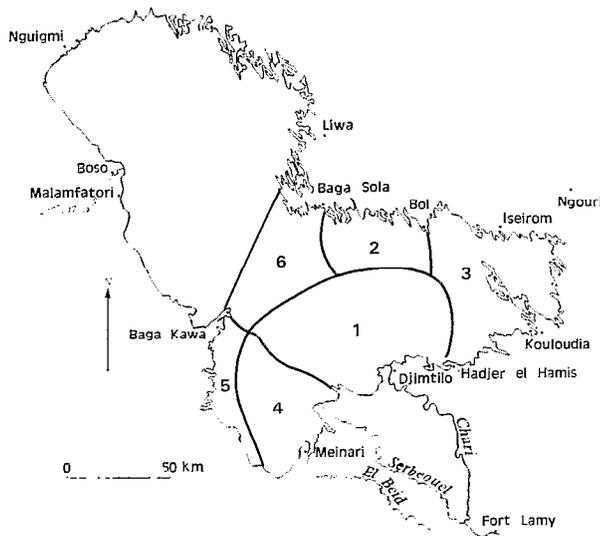


Fig. 11. — Production primaire : principales zones mises en évidence en 1970-71 dans la cuvette sud.

L'étude n'a pu être réalisée que dans la cuvette sud pour laquelle on possède 3 séries de mesures : juin 1970, décembre 1970 et juin 1971. On distingue (fig. 11) six grandes zones à l'intérieur de cette cuvette :

1. Eaux Libres du sud-est et zone pérideltaïque (dans un rayon d'environ 50 km autour du delta du Chari).
2. Archipel du sud-est.
3. Archipel de l'est.
4. Eaux Libres du sud.
5. Bordure de la côte nigériane.
6. Grande Barrière.

Cette zonation coïncide approximativement avec les grandes régions naturelles de la cuvette sud, coïncidence qui provient en grande partie du fait que la production primaire est étroitement liée à la transparence, qui est elle-même variable suivant les régions naturelles (tabl. II).

Les résultats de juin 1970 et 1971 ont été regroupés et peuvent être comparés à ceux de décembre 1970 (tabl. II). Quelles que soient les époques, les eaux de l'Archipel est sont les plus productives ($\Sigma\Sigma A$ de 2 à 10 $g O_2/m^2/j$) et les eaux des Eaux Libres du sud et de la Grande Barrière les moins productives ($\Sigma\Sigma A$: 1 à 2,5 $g O_2/m^2/j$).

TABEAU II

Distribution de la transparence (DS), de la productivité horaire optimale par unité de volume ($Aopt$), et de la production journalière par unité de surface ($\Sigma\Sigma A$) en juin 1970-71 (résultats groupés) et décembre 1970

Régions	Juin 1970-71			Décembre 1970		
	DS (cm)	$Aopt$ ($mgO_2/1h$)	$\Sigma\Sigma A$ ($gO_2/m^2/j$)	s (cm)	$Aopt$ ($mgO_2/1h$)	$\Sigma\Sigma A$ ($gO_2/m^2/j$)
1	20	0,5	2,2	25-40	0,15	0,9
2	25-30	1,0	3,5	20	0,40	1,1
3	30-35	1,2-1,5	6,9	20	0,50	1,8
4	10-15	1,2	3	25-40	0,15	0,9
5*	/	/	/	12	0,50	1,5
6	10	1,0	1,8	15	0,30	0,9

* Données insuffisantes pour les Ilets-Bancs du sud en juin 1970 et 1971.

En fait cette zonation n'a qu'une valeur très relative au regard des variations saisonnières qui sont nettement supérieures aux variations spatiales (tabl. II). La productivité dans chacune des régions diminue au moins de moitié en hiver. La diminution est maximale dans l'Archipel est (7-10 $g O_2/m^2/j$). De tels changements entre juin et décembre ne permettent pas d'estimer les productions annuelles régionales. Par contre, à Bol, grâce à des mesures échelonnées sur toute l'année, on peut estimer la production moyenne à 4 $g O_2/m^2/j$, soit une production brute de carbone organique de l'ordre de 550 $g/m^2/an$. La production est plus élevée dans l'Archipel est.

Dans la cuvette nord quelques dosages de pigments ont été effectués montrant que les concentrations en pigments photosynthétiques y sont du même ordre que celles de l'Archipel du sud-est sans atteindre les valeurs trouvées dans l'Archipel est. Les transparences dans la cuvette nord étant sensiblement plus élevées que celles du sud, il est très probable que la production par unité de surface y soit 2 à 4 fois plus grande que dans la cuvette sud.

Enfin, il faut remarquer que si l'activité photosynthétique du phytoplancton est relativement

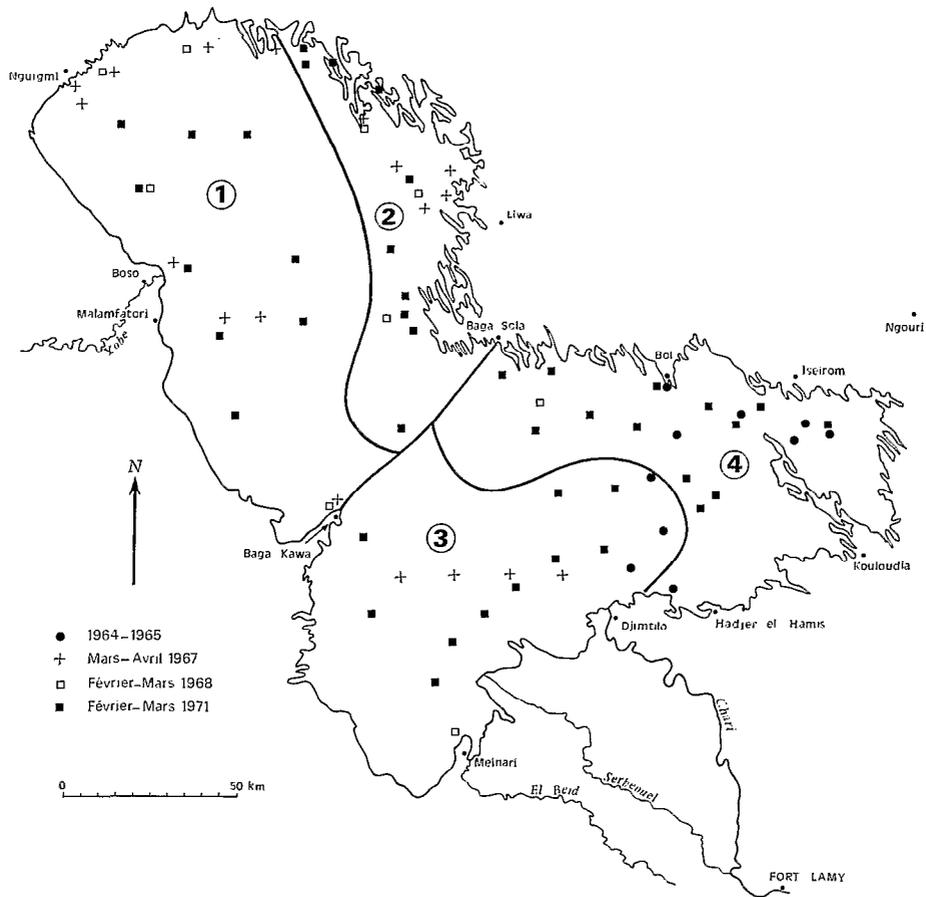


Fig. 12. — Phytoplancton : grandes zones et emplacement des stations.

faible dans la Grande Barrière et les zones d'îlots-bancs, la production en périphyton et en macrophytes y semble considérable.

1.2. LE PHYTOPLANCTON.

1.2.1. Introduction.

Jusqu'à présent, les travaux effectués sur la flore algale ont porté principalement sur la partie est du lac. Une étude préliminaire sur le plancton animal et végétal et une délimitation des biotopes existants ont été effectuées en 1964-1965 (GRAS, 1964 ; GRAS *et al.*, 1967) tandis qu'un premier inventaire systématique de la flore algale était dressé à partir d'échantillons récoltés dans cette zone (COMPÈRE, 1967). Ce dernier auteur a entrepris, en 1968, l'inventaire taxinomique complet des algues de l'ensemble du lac et de la région du bas Chari.

La composition de la flore algale a été étudiée à partir d'échantillons récoltés chaque mois, de juillet 1964 à août 1965, dans les différents biotopes de la partie est du lac, ensuite à partir de récoltes faites dans les parties nord et sud du lac durant une mission effectuée en mars-avril 1967, en troisième lieu d'après quelques échantillons prélevés dans ces mêmes zones en février 1968.

Enfin, un échantillonnage couvrant l'ensemble du lac a été effectué en février-mars 1971 (fig. 12). Les récoltes qualitatives et quantitatives ont été faites dans la couche d'eau de surface ; les premières à l'aide d'un filet à plancton, les secondes par simple prélèvement de 130 ml d'eau. Les échantillons, formolés à 10 % environ avec une solution du commerce ont été analysés au microscope inversé.

1.2.2. Délimitation des grandes zones écologiques.

Le lac Tchad peut être divisé en deux parties

distinctes d'une superficie sensiblement égale par une ligne allant de Baga Kawa sur la côte nigériane à Baga Sola sur la côte tchadienne. Cette ligne délimite une région nord et une région sud dont les caractéristiques écologiques intéressant le plancton sont les suivantes :

Pour la partie nord, c'est en premier lieu une teneur en sels dissous élevée : la conductivité électrique à 25 °C varie entre 200 μ mhos près de Baga Kawa et 1300 μ mhos dans les fonds des bras de l'Archipel nord-est (cf. chapitre I). Ensuite, une profondeur relativement plus importante que dans les parties sud et est, d'où une turbidité due aux sédiments du fond remis en suspension dans l'eau beaucoup moins élevée. Enfin, l'influence de la crue du Chari est assez atténuée. Dans la partie sud, la conductivité varie entre 50 et 250 μ mhos, elle dépasse cette valeur seulement à l'extrémité nord-est de l'archipel, la profondeur est en général peu importante d'où une forte turbidité, et enfin, le régime hydrologique du Chari et de ses défluent provoque des perturbations saisonnières importantes dans la plus grande partie de cette zone. Chacune de ces deux grandes régions peut se diviser à son tour en deux zones, et le lac dans son ensemble peut, d'après les caractéristiques de son phytoplancton, être partagé en quatre zones écologiques distinctes (fig. 12).

La zone 1 comprend les Eaux Libres du nord, les Îlots-Bancs du nord y compris la petite zone d'eaux libres située entre ces îlots-bancs et la bordure végétale de la côte. Elle est limitée à l'est par l'Archipel du nord-est. Elle est caractérisée, du point de vue phytoplanctonique, par l'abondance, durant de longues périodes de l'année, d'une Desmidiée, *Closterium aciculare*. C'est une algue de 390 à 470 μ de long sur 6 à 10 μ dans sa partie la plus large. Les cellules sont le plus souvent agglomérées en faisceaux. Les autres espèces trouvées en abondance sont *Pediastrum clathratum* (1), *Pediastrum duplex*, *Botryococcus braunii* et plusieurs espèces de *Microcystis* dont la plus fréquente est *M. aeruginosa*. Il arrive que *Closterium*, *Pediastrum* et *Botryococcus* soient en proportions égales dans le peuplement. On note la présence aussi de *Cryptomonas* sp. et de *Synechocystis aquatilis*. *Melosira granulata* est absent ou trouvé seulement à l'état de débris de filaments. La densité phytoplanctonique est élevée et le milieu fortement teinté par le peuplement algal.

La zone 2 comprend tout l'Archipel nord-est du lac. Sa limite ouest se situe au niveau des îlots-bancs qui prolongent des îles de l'archipel vers les eaux libres. Au sud, la partie méridionale de la zone d'îlots

et de végétation fixe qui constitue la Grande Barrière forme la limite avec la zone 4. Cette zone est caractérisée par la dominance des Cyanophycées : *Microcystis* ou *Anabaena*. Les Desmidiées avec *Closterium aciculare* sont encore abondantes mais leur nombre diminue à mesure que l'on s'approche de la côte est. On rencontre aussi plusieurs espèces de *Pediastrum*, *P. duplex* et surtout *P. clathratum* étant les plus fréquentes. *Botryococcus braunii* est particulièrement abondant dans toute cette partie du lac ; il peut même être dominant dans certains bras de la partie la plus septentrionale. La densité du phytoplancton est toujours élevée sauf dans les extrémités des bras qui forment un biotope particulier dont il sera fait mention plus loin.

La partie sud du lac se divise en deux zones : une zone d'eaux libres et un archipel.

La première ou zone 3 comprend les eaux libres entre les côtes nigériane et camerounaise (Eaux Libres du sud proprement dit) et celles s'étendant au nord du delta du Chari (Eaux Libres du sud-est). C'est une zone peu profonde où les sédiments du fond sont remis en suspension toute l'année avec un maximum en saison des pluies (juillet-août) durant laquelle souffle un fort vent d'ouest. Cette région est, de plus, soumise directement à l'action du régime hydrologique du Chari ; les eaux de crue, très pauvres en plancton, envahissent toute cette zone de fin juillet à début janvier.

Le phytoplancton, durant la crue du Chari, est très pauvre ; il comporte un fort pourcentage de Diatomées, *Melosira granulata* et *Surirella pseudospinifera* principalement. En dehors de cette période, un peuplement assez dense à *Anabaena* s'installe dans toute cette partie. *Surirella pseudospinifera* et *S. reicheltii* ainsi que *Pediastrum clathratum* existent aussi dans le phytoplancton mais en quantités très inférieures. *Closterium aciculare* apparaît dans la partie nord-ouest de ces eaux libres mais en petit nombre. Le peuplement subit des variations saisonnières quantitatives importantes en relation avec la crue du Chari, la densité pouvant être cinq à dix fois plus élevée à la saison chaude pendant l'étiage que durant la crue ; en moyenne, cette zone a la densité algale la plus faible du lac.

La zone 4 enfin comprend l'Archipel sud-est et est, depuis la région de Baga Sola jusqu'à l'extrémité orientale du lac. La région d'îlots-bancs qui borde la partie est des eaux libres en face du delta est aussi incluse dans cette zone. Le phytoplancton est caractérisé par l'abondance des Cyanophycées, *Microcystis* ou *Anabaena*. *Surirella pseudospinifera* est très fréquent dans cette zone et peut devenir dominant

(1) Certains auteurs (BIGEARD, 1934 ; SULEK, 1969) ont mis cette espèce en synonymie avec *P. simplex* var. *duodenarium*.

aux époques ou aux endroits où les Cyanophycées sont en petit nombre. *Pediastrum clathratum* peut aussi être très abondant. A l'inverse de la zone 3, la densité des peuplements ne subit pas de variations saisonnières bien marquées et reste assez élevée toute l'année.

La composition algale du phytoplancton de ces grandes zones a été résumée dans le tableau III.

TABLEAU III

Principales espèces phytoplanctoniques dans les 4 zones

	Espèces dominantes	Espèces abondantes
Zone 1	<i>Closterium aciculare</i>	<i>Pediastrum clathratum</i> <i>Botryococcus braunii</i>
Zone 2	<i>Microcystis</i> plur. sp. <i>Anabaena</i> sp.	<i>Closterium aciculare</i> <i>Pediastrum clathratum</i> <i>Botryococcus braunii</i>
Zone 3	<i>Melosira granulata</i> <i>Anabaena</i> sp.	<i>Surirella pseudospinifera</i>
Zone 4	<i>Microcystis</i> plur. sp. <i>Anabaena</i> sp.	<i>Melosira granulata</i> <i>Surirella pseudospinifera</i> <i>Pediastrum clathratum</i>

La densité phytoplanctonique est supérieure dans la cuvette nord (zones 1 et 2), ce qui est sans doute lié à la transparence nettement inférieure dans la cuvette sud (zones 3 et 4). Par ailleurs, les variations saisonnières sont nettement plus accusées au sud qu'au nord (tabl. IV).

TABLEAU IV

Principales caractéristiques des 4 grandes zones phytoplanctoniques (classées par ordre d'importance décroissante)

Caractéristiques	Zones			
Densité phytoplanctonique.....	1	2	4	3
Importance des variations saisonnières.	3	4	1	2
Transparence.....	2	1	4	3

1.2.3. Définition de quelques biotopes particuliers.

Les grandes zones écologiques ne présentent pas une homogénéité parfaite et l'on peut distinguer dans l'ensemble du lac plusieurs types de biotopes

particuliers qui se retrouvent dans les zones précédemment définies. Leur dispersion ne permet pas de les regrouper dans une zone géographiquement bien délimitée et d'autre part, leurs caractéristiques spéciales les différencient nettement des zones dans lesquelles ils sont inclus.

C'est le cas, en premier lieu, des régions péri-deltaïques situées sur une largeur de 5 à 8 km autour du delta du Chari et, sur une étendue moindre, à proximité des deltas de l'El Beïd et de la Yobé. Il existe là un biotope caractérisé, au point de vue phytoplanctonique, par des variations saisonnières très accusées, le milieu étant soumis directement à l'influence des affluents. Dans ceux-ci, une période riche en plancton de février à juillet alterne avec la période de hautes eaux où le peuplement algal est très réduit. Cette alternance est encore plus marquée dans les zones péri-deltaïques où s'installe, durant l'étiage des affluents, un phytoplancton lacustre dense qui disparaît au moment où les eaux de crue arrivent au lac. Une autre caractéristique de ce biotope est la présence d'une flore algale plus variée que dans les zones voisines par suite de l'apport de formes provenant du fleuve ou des zones d'inondation drainées par ce dernier.

Un deuxième type de biotope particulier est formé par les herbiers immergés, le plus souvent à *Potamogeton*, plus rarement à *Geratophyllum*, *Vallisneria* ou *Najas*. Le plancton végétal est caractérisé d'abord par sa variété, c'est là qu'existe le plus grand nombre de taxons inventoriés par prélèvement ; ensuite par sa faible densité, la transparence étant toujours élevée à proximité des herbiers ; enfin par la présence de nombreuses formes périphytiques (*Gomphonema*, *Rivularia*, *Calothrix*, *Microchaete*, *Oedogonium*, etc.).

Ces biotopes peuvent être trouvés sur tout le pourtour du lac, dans les archipels et les régions d'îlots-bancs. Ils sont plus spécialement abondants sur la côte sud-est du lac à l'est du Chari, dans la région de la Grande Barrière et dans l'archipel situé directement au nord, dans les bras pénétrant la bordure végétale de la côte nord du lac et en général dans le fond des chenaux de l'archipel.

Un troisième biotope particulier est constitué par l'extrémité des bras de l'archipel. La végétation émergée y est abondante et borde les rives sur une largeur de plusieurs mètres ; les eaux sont transparentes et souvent de teinte brune. La densité phytoplanctonique est faible et les variations saisonnières inexistantes ou peu importantes. Les espèces dominantes appartiennent aux genres *Microcystis* et *Synechocystis*, ce dernier surtout dans la moitié nord du lac. Ce biotope est souvent associé au précédent, de nombreux fonds d'anses étant colonisés partiellement ou totalement par des herbiers immergés.

1.2.4. Conclusions.

Quatre grandes zones écologiques peuvent donc être définies à partir des caractéristiques du phyto-plancton. De plus, un certain nombre de biotopes particuliers existent, répartis dans l'ensemble du lac. Les limites entre ces régions n'apparaissent pas en réalité aussi stables que la figure 12 pourrait le laisser penser, les mouvements d'eau qui se créent dans le lac sous l'action de la crue du Chari ou des vents dominants peuvent les déplacer de plusieurs kilomètres dans un sens ou dans l'autre, aussi les tracés établis ici correspondent plutôt à l'estimation de leur position moyenne.

Enfin les variations annuelles du niveau du lac, lorsqu'elles s'effectuent plusieurs années de suite dans le même sens, sont susceptibles de modifier la configuration des grandes zones et des biotopes ; aussi cette étude n'a de valeur que pour le niveau moyen du lac existant de 1966 à 1971.

1.3. LES MACROPHYTES.

La végétation phanérogamique du lac Tchad a été étudiée par LÉONARD au cours de deux missions successives dans cette région : décembre 1964 et janvier 1968. Compte tenu de la diversité des milieux, souvent imbriqués les uns dans les autres, ainsi que de la baisse du lac qui s'est poursuivie depuis la dernière mission et qui a entraîné une évolution rapide de la flore, il n'est guère possible de réaliser une cartographie précise des zones de végétation. Cependant, un certain nombre de phénomènes généraux qui avaient été mis en évidence en 1968 (principaux groupements végétaux, écologie des espèces, dynamique des peuplements) et qui, dans une certaine mesure, sont indépendants du niveau du lac, peuvent apporter quelques éléments importants à l'étude des zones écologiques. Le schéma de zonation qui est présenté a donc pour base les travaux de LÉONARD (1969).

L'existence des divers types de peuplements végétaux est sous la dépendance de facteurs écologiques dont les principaux sont :

— les variations du plan d'eau qui provoquent l'inondation ou l'exondation (périodique ou non) de certaines zones,

— la nature des sédiments,

— le vent qui par l'action mécanique des vagues détermine l'aspect des rives au vent ou sous le vent,

— la composition physico-chimique de l'eau qui se charge progressivement en sels au fur et à mesure qu'on se dirige vers le nord du lac. Cette influence va se manifester sur la distribution spatiale de certaines espèces.

1.3.1. Principaux groupements végétaux.

(1) Association à *Potamogeton* et *Vallisneria*.

C'est une végétation aquatique d'eau calme. Elle est bien représentée à l'est du delta du Chari et çà et là dans le lac. Elle renferme souvent des *Najas* et des *Ceratophyllum demersum*. On peut distinguer plusieurs faciès caractérisés par la dominance, parfois exclusive, de chacun des constituants de cette association.

(2) Association à *Nymphaea* spp. et *Utricularia* spp. (nymphaie).

Elle se rencontre dans les mares, les anses calmes et les bords des rives sous le vent.

(3) Association à *Pistia stratiotes* et *Lemna perpusilla*.

Elle est également caractéristique des eaux calmes et douces, et plus particulièrement des anses calmes et franches de végétation herbacée semi-aquatique. Elle renferme des *Spirodela polyrrhiza* (lentilles d'eau) des *Azolla africana* (en surface) et souvent des *Ceratophyllum demersum*.

On rencontre cette association un peu partout dans le lac, mais surtout dans le sud et au niveau des deltas de l'El Beïd et de la Yobé. Elle est absente au delta du Chari.

(4) Association à *Ludwigia stolonifera*.

C'est une végétation semi-aquatique et étalée des bords des eaux. On la rencontre dans les anses calmes et dans les franges des prairies aquatiques et des roselières. Elle renferme des *Ipomea aquatica* et des *Neptunia oleraceae*. D'un point de vue dynamique, cette association fait suite à celle des *Pistia stratiotes* et *Lemna perpusilla*. Elle est répandue çà et là sur le lac, surtout dans le sud, et particulièrement bien représentée au niveau des deltas de l'El Beïd et de la Komadougou Yobé.

(5) Association à *Cyperus laevigatus*.

Caractéristique des franges des mares natronées de zone sahélienne, cette association est fréquente dans les mares du Kanem. Elle apparaît également mais très sporadiquement, dans l'extrême nord du lac, là où les eaux sont les plus concentrées en sels.

(6) Prairies aquatiques à *Vossia cuspidata*.

C'est une végétation herbeuse, semi-aquatique et étalée, à extrémités dressées. Ce groupement est dominant dans les deltas du Chari et de l'El Beïd, et constitue souvent les franges des roselières dans d'autres régions du lac. Abondantes dans le sud et l'est, les prairies à *Vossia* disparaissent progressivement en direction de la Grande Barrière et sont absentes au nord de celle-ci.

(7) Association à *Cyperus papyrus* (papyrus).

C'est une végétation dressée, formant un matelas épais et flottant avec fougères et nombreuses lianes (*Ipomea*, *Luffa cylindrica*). Elle apparaît au niveau des deltas du Chari et de l'El Beïd, mais elle est surtout abondante dans l'est et dans la Grande Barrière. Elle disparaît progressivement vers le nord où elle est quasi absente. Il existe un stade intermédiaire vers la Grande Barrière où l'on observe des individus jaunâtres et peu développés.

(8) Association à *Phragmites australis* ssp. *allissimus* (phragmitaie).

La végétation dressée forme roselière, avec un épais matelas flottant et quelques lianes. On observe son apparition dans le sud (deltas du Chari et de l'El Beïd), son développement dans l'est et le centre (Grande Barrière) et sa dominance dans le nord.

(9) Association à *Typha australis* (typhaie).

La végétation dressée forme roselière, mais il n'y a pas de matelas flottant et seulement de très rares lianes. Cette association forme des groupements épars qui paraissent se développer avec la baisse du lac. Absente dans le sud, elle est bien représentée dans l'est et le centre, et bien développée au nord.

(10) Groupement à *Aeschynomene elaphroxylon* (ambach).

Il est représenté un peu partout au milieu des îlots-bancs et en bordure des îles de l'archipel, mais paraît absent dans le sud du lac. Cet arbuste, peut atteindre 5 à 6 mètres de haut.

(11) Végétation des archipels.

On distinguera :

a. les zones d'îles plates dépourvues d'arbres :

. avec prairies aquatiques périodiquement inondées à *Leersia alexandra* et *Echinochloa*,

. avec prairies longtemps exondées à *Paricum repens* et *Sporobolus spicatus*,

. avec ceinture d'*Hyphaene thebaica* (palmier doum) au niveau des hautes eaux.

Ces îles plates sont surtout abondantes dans l'Archipel nord-est.

b. les zones d'îles à relief, jamais inondées, avec végétation sahélienne arborescente: *Acacia*, *Callotropis*, *Leptadenia*.

Ces îles à relief constituent la majeure partie de l'Archipel sud-est et est.

(12) Les eaux libres sont dépourvues de végétation phanérogamique.

1.3.2. Discussion.

Il paraît difficile de diviser le lac Tchad en zones écologiques sur la base de la végétation phanérogamique car les peuplements sont souvent morcelés. Néanmoins, on peut mettre en évidence quelques gradients car il existe des modifications sensibles dans l'aspect de la végétation lorsqu'on va du delta du Chari vers le nord du lac (fig. 13).

Il faut souligner en particulier suivant cet axe :
— la dominance puis la disparition progressive des prairies aquatiques à *Vossia*,

— l'abondance ensuite, puis la disparition progressive des *Papyrus* au nord de la Grande Barrière, avec une zone intermédiaire de *Papyrus* maladifs,

— la dominance progressive des *Typha* puis des *Phragmites* vers le nord,

— l'apparition sporadique mais significative dans l'extrême nord de *Cyperus laevigatus*, espèce exclusive des bords de mares natronées.

Ces différentes évolutions peuvent être schématisées par la structure des ceintures végétales autour des îlots-bancs où l'on rencontre les zones concentriques suivantes dans l'ordre centripète :

au sud *Vossia* — *Cyperus papyrus* — *Phragmites*

vers le centre *Cyperus papyrus* — *Phragmites* — *Typha*

au nord *Phragmites* — *Typha*

On constate également vers le nord, la disparition progressive de nombreuses espèces et groupements aquatiques liés aux eaux douces (nymphéales, utriculaires, etc.). Cet appauvrissement de la flore est à relier directement à la concentration des eaux en sels minéraux.

1.3.3. Dynamique de la végétation.

Les grandes lignes de l'évolution actuelle de la végétation aquatique et semi-aquatique du lac Tchad peuvent être représentées par le schéma de la figure 14. Les successions possibles sont indiquées par le sens des flèches : à un groupement à dominance de *Vossia*, par exemple, peut succéder un groupement à dominance de *Cyperus papyrus*, etc. Bien entendu, certaines des évolutions ainsi schématisées sont sous la dépendance des éventuelles fluctuations de niveau du lac : cas des *Aeschynomene elaphroxylon* par exemple.

2. Le zooplancton.

Deux types de données ont été principalement utilisées, pour la recherche d'une zonation écolo-

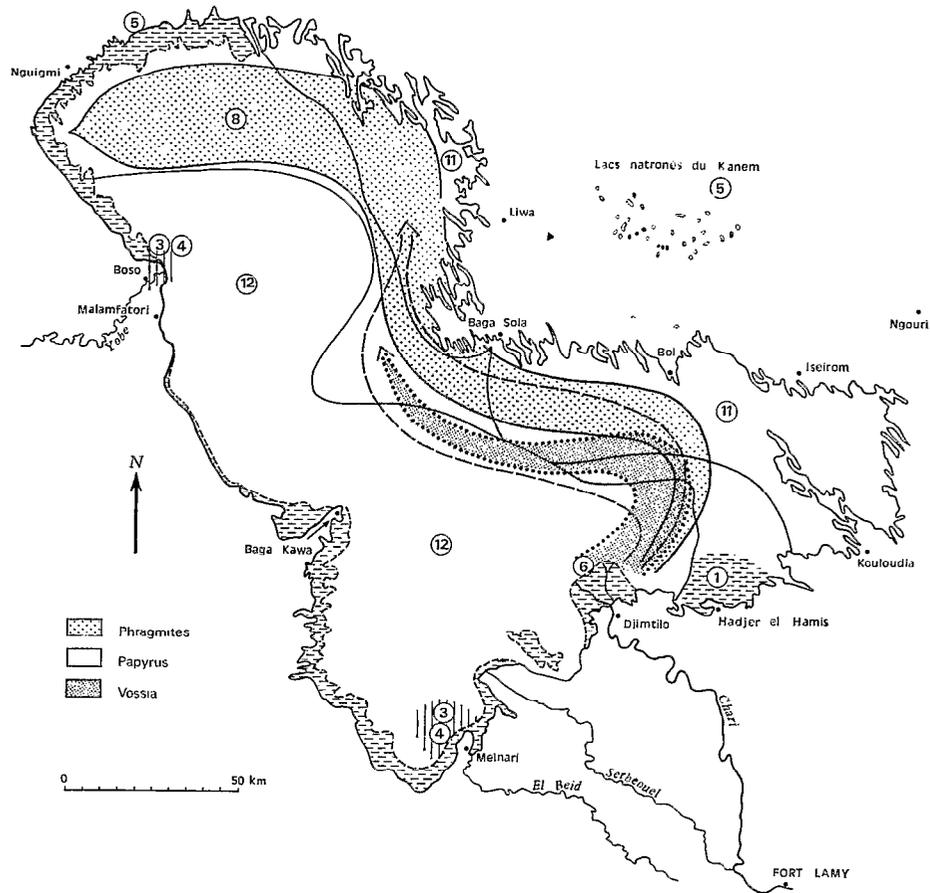


Fig. 13. — Macrophytes : état des peuplements végétaux en 1967 (d'après Léonard). Les chiffres renvoient aux groupements décrits dans le texte.

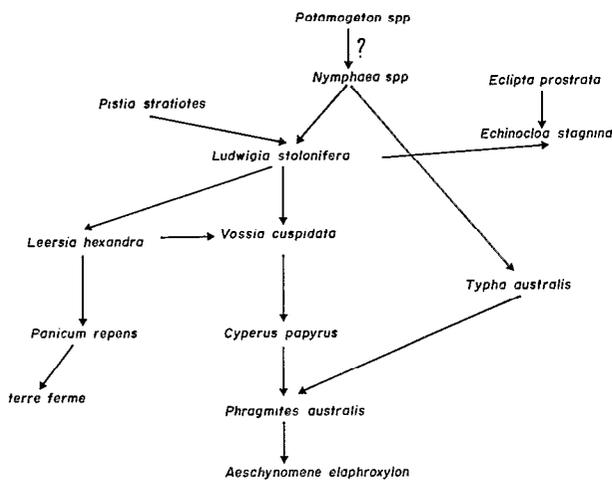


Fig. 14. — Macrophytes : évolution schématique des principaux groupements aquatiques et semi-aquatiques du lac Tchad (Léonard, 1969)

gique du zooplancton du lac Tchad. Elles ont été recueillies, d'une part lors des prospections réalisées en 1964-65 dans la cuvette sud (GRAS *et al.*, 1967) et en 1967-68 dans la cuvette nord (ROBINSON *et al.*, 1971), et d'autre part au cours d'une mission réalisée du 14-2 au 4-3-71 couvrant l'ensemble du lac. Les premières apportent des éléments relatifs aux variations spatio-temporelles des peuplements dans chacune de deux cuvettes, les secondes fournissent une image instantanée de ces variations à l'échelle du lac.

Les stations prospectées, réparties dans les principales régions naturelles, sont reportées sur la figure 15.

Au cours des prospections de 1964-1965 et de 1971, le zooplancton a été collecté par traits verticaux, du fond jusqu'à la surface, d'un couple de filets en nylon blutex, de 29 cm de diamètre d'ouverture et de 65 μ de vide de maille, fixés sur le même bâti. 6 à 8 échantillons ont ainsi été recueillis à chaque

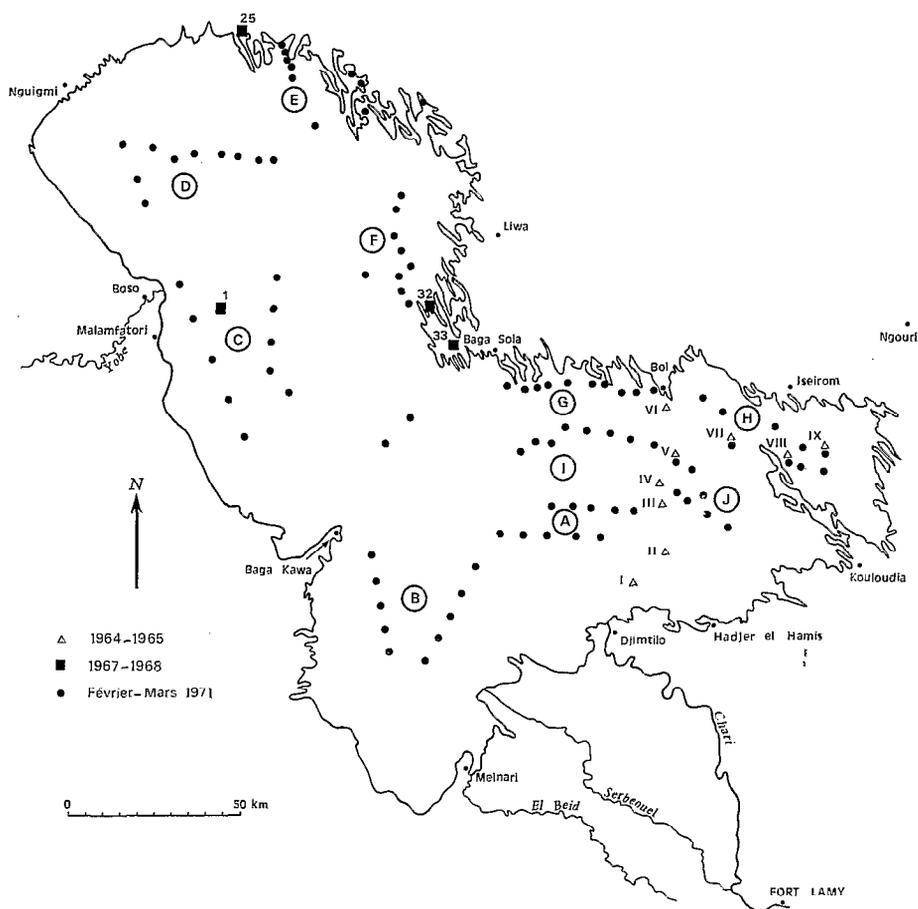


Fig. 15. — Zooplancton : emplacement des stations prospectées. Les lettres correspondent aux régions naturelles du tableau V.

station, puis mélangés. Pour la prospection de la cuvette nord en 1967-1968, Robinson a utilisé la méthode des traits obliques, par traction, sur une distance de 33 ou 50 m, d'un filet de 30,5 cm de diamètre et 70 μ de vide de maille pour le dénombrement des nauplii et des rotifères, et d'un filet de même diamètre mais de 200 μ de vide de maille pour le comptage des cladocères et des copépodes adultes et copépodites.

Les comptages ont été effectués sur des sous-échantillons de volume variable selon la taille de l'échantillon. Les biomasses ont été estimées à partir de poids secs déterminés par pesée pour des populations spécifiques de structure d'âge moyenne. Elles n'ont en conséquence pu être évaluées pour la prospection de 1967-1968 dans la cuvette nord, le filet de 200 μ ne retenant pas nombre de copépodites et de jeunes cladocères.

2.1. RÉPARTITION ET COMPOSITION SPÉCIFIQUE DES PEUPELEMENTS.

2.1.1. Crustacés.

Les crustacés sont principalement représentés par 6 espèces de cladocères (*Diaphanosoma excisum*, *Daphnia barbata*, *Daphnia longispina*, *Ceriodaphnia cornuta* (var. *cornuta* et *rigaudi*), *Moina micrura dubia*, *Bosmina longirostris*), une espèce de diptomide (*Tropodiatomus incognitus*), et trois espèces de cyclopidés (*Thermocyclops neglectus neglectus*, *Th. incisus circusi*, *Mesocyclops leuckarti*). Aucune de ces espèces n'est quantitativement négligeable. Deux autres espèces de cladocères (*Daphnia lumholzi*, *Ceriodaphnia affinis*) bien que peu abondantes, sont fréquentes dans le zooplancton. *Thermodiatomus galebi*, relativement abondante dans l'archipel en 1964-1965, est pratiquement inexistante actuelle-

ment. Toutes ces espèces sont également représentées dans les cuvettes nord et sud. Les salures maximales observées au cours de la prospection de février-mars 1971 (conductivité de 1 000 μmhos), ne sont létales pour aucune d'entre elles.

Les variations de la structure spécifique du peuplement observées à petite échelle, peuvent être de même amplitude que celles que l'on constate entre stations géographiquement éloignées appartenant à des régions naturelles différentes. En pratique, ce critère ne semble donc pas être un indice de différenciation écologique dans le lac Tchad.

La structure trophique du peuplement est identique dans les différentes régions naturelles prospectées en 1971. Les espèces prédatrices sont représentées par *M. leuckarti* et *Th. incisus circusi*, adultes et copépodites 5. Les adultes de *Th. neglectus* et les copépodites 3 et 4 des deux précédentes espèces ont un régime alimentaire mixte, carnivore et herbivore (GRAS *et al.*, 1972). Compte tenu de ces faits, nous avons estimé à 15 environ, le rapport pondéral moyen entre le zooplancton herbivore et le zooplancton prédateur.

2.1.2. Rotifères.

Les quelques vingt espèces et formes planctoniques recensées dans la cuvette sud (POURRIOT, 1968) sont également présentes dans la cuvette nord (ROBINSON, 1971).

Toutefois, une espèce, abondante de surcroît dans les mares natronées du Kanem (POURRIOT *et al.*, 1967 ; ILTIS *et al.*, 1971), *Brachionus plicatilis*, est particulière à la cuvette nord où elle n'est significativement présente qu'à la station 25. *Brachionus plicatilis* est donc très probablement une espèce indicatrice des eaux du lac à conductivité élevée (1 100 μmhos à la station 25). Cependant signalons que, par ailleurs, la composition spécifique du peuplement de rotifères de la station 25 ne diffère pas significativement de celle des stations de la zone des îlots-bancs du nord, zone avec laquelle la station 25 présente le plus d'affinités (ROBINSON, 1971, fig. 4).

Robinson a calculé pour la cuvette nord, les indices de similitude de Sørensen inter-stations. Il met ainsi en évidence l'existence de trois groupes de stations : un premier groupe correspond aux stations les plus septentrionales des Îlots-Bancs du nord et à la station 25, le second comprend les stations 32 et 33 de l'Archipel nord-est, et le troisième groupe les autres stations (Eaux Libres et Îlots-Bancs du nord). Les stations du premier groupe sont dans la zone de conductivité élevée (approximativement supérieure à 600 μmhos), et les deux stations de l'archipel

présentent toute l'année un peuplement très diversifié.

Toute conclusion définitive quant à l'existence de trois peuplements rotifériens dans la cuvette nord, et à une action de la salure sur la composition de ceux-ci dans le lac, doit être écartée pour le moment. ROBINSON ne donne d'ailleurs pas de conclusion dans ce sens. En effet, l'indice de Sørensen, basé sur la présence et l'absence des espèces, ne peut être considéré comme un critère suffisamment sûr de la similitude entre stations. Les résultats obtenus dans la cuvette sud qui pourraient indirectement confirmer l'existence de peuplements caractéristiques de certaines régions du lac, ne sont pas davantage exploitables.

2.2. ÉVOLUTION SAISONNIÈRE QUALITATIVE ET QUANTITATIVE DES PEUPELEMENTS.

Nous ne considérerons ici que les entomostracés qui constituent en moyenne plus de 99 % de la biomasse du zooplancton ; et nous n'utiliserons que l'aspect qualitatif des résultats des prospections de 1967-1968 dans la cuvette nord. Les conclusions concernant la cuvette sud sont basées sur l'évolution en biomasse et en nombre des peuplements en 1964-1965.

À l'examen des résultats des prospections de 1964-1965 et 1967-1968, trois types d'évolutions saisonnières de la biomasse du zooplancton apparaissent nettement. On peut raisonnablement estimer qu'ils caractérisent les régions naturelles très vastes où les stations prospectées se localisent, étant donné la nature des facteurs qui les déterminent. Les zones ainsi définies sont les suivantes :

- une région péri-deltaïque ceinturant le delta du Chari ;

- une région englobant, au moins partiellement, les Eaux Libres du sud et du sud-est ;

- un ensemble comprenant la totalité de la cuvette nord et l'archipel de la cuvette sud. La zone de hauts fonds (îlots-bancs) bordant l'Archipel sud-est, et probablement la Grande Barrière, peuvent être associés à cet ensemble.

2.2.1. Zone 1: la zone péri-deltaïque.

Elle est caractérisée par une très forte variation saisonnière de la densité de zooplancton, qui passe de zéro durant la période de crue du Chari, à un maximum durant la saison chaude (400 mg/m^3 en avril 1965) (fig. 16 a). La disparition quasi totale du zooplancton en octobre-novembre provient de la très forte dilution des eaux en place dans les eaux de crue

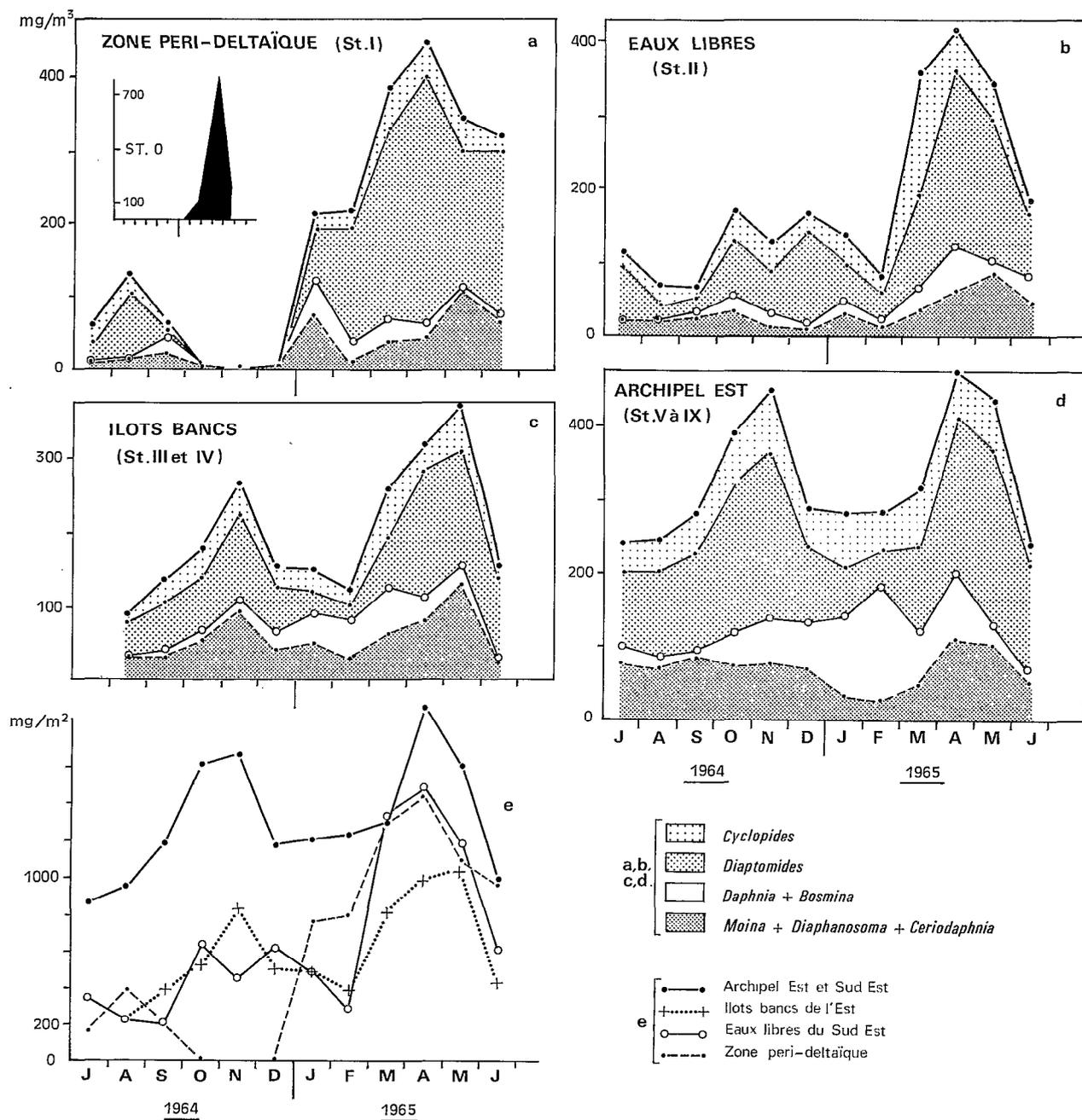


Fig. 16-16 a à d. — Évolution saisonnière de la densité (mg/m³) du zooplancton en 1964-1965 (sauf nauplies et rotifères), dans l'Archipel est et sud-est (a), dans les îlots-bancs de l'est (b), dans les Eaux Libres du sud et du sud-est (c), dans les zones péri-deltaïque (st. 1) et deltaïque (st. 0). 16 e. Évolution saisonnière comparée de la biomasse (mg/m²) dans les quatre précédentes zones : Archipel est et sud-est, Ilots-bancs de l'est, Eaux Libres du sud-est, Zone péri-deltaïque.

alors pratiquement dépourvues de zooplancton (fig. 16 a). Il y a même, très probablement, un refoulement total et rapide de ces eaux par celles du

Chari. Une prospection effectuée en octobre 1969 a confirmé l'existence d'une zone dépourvue de zooplancton et montré l'augmentation progressive de la

densité à mesure que l'on s'éloigne du delta du Chari. Le repeuplement de cette zone est très rapide, si l'on en juge par les résultats de 1964-1965. Il s'effectue indépendamment des apports faunistiques, au demeurant relativement faibles, du Chari ou des eaux deltaïques proprement dites. Les variations comparées des densités et de la composition spécifique dans le delta (st. 0) et à Tarara (st. I) le démontrent (fig. 16 a). Il n'est pas possible de distinguer de variation saisonnière régulière de la structure des peuplements ; signalons simplement que les cladocères étaient largement dominants au début du repeuplement de la zone (fig. 16 a).

L'étendue de cette zone est probablement très variable en fonction de l'importance relative du débit du Chari durant la période de crue et du niveau du lac. Il y a des variations saisonnières, liées à la forme de la courbe de crue du Chari, et des variations annuelles dépendant surtout du niveau du lac. Nous avons schématiquement représenté les limites de la zone par une courbe régulière centrée sur le delta (fig. 16 a).

Le facteur écologique dominant dans cette région est la crue du Chari. Cependant, d'autres facteurs sont responsables de la diminution de la biomasse durant la saison des pluies (juin-août), diminution d'ailleurs générale dans la cuvette sud. En effet, la mise en suspension de la fraction fine du sédiment par l'action conjuguée des tornades et des vents, en diminuant la transparence, a un effet indirect sur la production du zooplancton.

2.2.2. Zone 2 : zone des Eaux Libres du sud et du sud-est.

Dans la mesure où la station II en 1964-1965 est caractéristique de cette vaste zone, la densité dans les eaux libres de la cuvette sud est faible en moyenne : 180 mg/m³ (rotifères et nauplii exclus — 5 % environ) (fig. 16 b). Le profil des variations annuelles est caractérisé par un minimum prolongé (110 mg/m³, de juin-juillet à janvier-février, et par un pic en saison chaude (370 mg/m³ en moyenne de mars à mai). Le minimum en 1964-1965 était de 60 mg/m³ (août-septembre), et le maximum de 410 mg/m³ (avril). Il n'y a donc pas la disparition du zooplancton que l'on constate dans la région péri-deltaïque. Comme dans les autres régions de la cuvette sud, les densités maximales sont observées en avril et atteignent partout des valeurs comparables (fig. 16).

La pauvreté en zooplancton de l'ensemble de cette région est confirmée par les densités très basses observées en février 1971 (100 mg/m³) (tabl. V), pour une cote du lac, il est vrai, plus basse. Par ailleurs, lors d'une prospection en octobre-novembre 1969 à environ 10 km du delta, les densités étaient particulièrement faibles (40 mg/m³).

Aucune évolution saisonnière régulière de la structure spécifique du peuplement ne peut être distinguée.

Les facteurs déterminants de l'évolution du stock de zooplancton sont, comme dans la zone péri-deltaïque, la crue (août-décembre) et les tornades et vents (juin-août) dont l'action est favorisée par l'absence d'obstacles et la profondeur relativement faible. C'est au cours de cette période que l'on observe les densités minimales de phytoplancton (GRAS *et al.*, 1967). Les eaux libres du sud et du sud-est diffèrent par leur profondeur, et également par le fait que le flux maximal des eaux de crue ne s'y produit pas à la même période (cf. chapitre I). Il est donc possible que les variations saisonnières ne soient pas comparables ni synchrones dans ces deux sous-régions.

Le profil des variations de densité, et surtout l'extrême pauvreté en zooplancton depuis juillet jusqu'à la fin de l'année, caractérisent cette région naturelle du lac. Les limites d'extension de cette seconde zone vers le nord sont probablement variables en fonction de l'importance du débit de crue par rapport au niveau du lac.

2.2.3. Zone 3 : la cuvette nord et l'Archipel de la cuvette sud.

Ce vaste ensemble de régions naturelles est caractérisé essentiellement par la valeur élevée et la faible amplitude des variations saisonnières de la densité.

En ce qui concerne la cuvette nord, l'évolution de l'abondance numérique du zooplancton en 1967-1968 à la station I (fig. 15), et aux autres stations prospectées, laisse supposer une stabilité annuelle comparable de la biomasse. En particulier, les diptomides, qui constituent un fort pourcentage de la biomasse, ne subissent pas de variations saisonnières importantes dans cette région. Dans l'archipel de la cuvette sud, l'amplitude des variations saisonnières observées en 1964-1965 (fig. 16 d, stations V à IX) est à la limite du seuil de signification (1). Elle est le fait des seuls diptomides (fig. 16). Dans cette région la densité moyenne

(1) La diminution hivernale de la densité, que l'on considère significative et générale dans cette zone, n'exclut nullement l'existence de régions où les biomasses sont très supérieures. C'est sans doute le résultat d'une diminution soudaine et passagère du taux de mortalité d'un ou plusieurs éléments du peuplement. Il en est de même pour les peuplements de la cuvette nord (Robinson, 1971).

annuelle était de 330 mg/m³ en 1964-1965, avec des valeurs extrêmes de 240 et 480 mg (rotifères et nauplii exclus —5 % en moyenne).

Les valeurs de densité observées en 1971 (240 mg/m³ pour le nord, 340 mg pour l'archipel sud) confirment la richesse de cette région par rapport aux Eaux Libres de la cuvette sud-est (100 mg/m³). La concordance des valeurs de 1971 pour l'archipel avec celles de 1964-1965 et d'avril 1968 (360 mg/m³) confirme dans une certaine mesure la stabilité interannuelle des densités dans cette zone.

Aussi bien dans la cuvette nord en 1967-1968, que dans l'archipel de la cuvette sud en 1964-1965, on observe une variation saisonnière régulière de la structure spécifique du peuplement de cladocères. Il y a prédominance du groupe *Daphnia - Bosmina* en hiver et du groupe *Moina - Diaphanosoma - Ceriodaphnia* durant les mois chauds (fig. 16). Ce phénomène s'explique très certainement par les variations des durées de développement (et sans doute du turn over) de ces espèces en fonction de la température (GRAS, SAINT-JEAN, 1969). Pour l'ensemble du lac en février-mars 1971, le groupe *Daphnia - Bosmina* représente environ 65 % de la biomasse des Cladocères. Dans l'Archipel sud-est et est en 1964-1965, les Diptomides ont présenté un minimum accentué durant la saison froide. Ce phénomène était général dans les stations de l'archipel et des îlots-bancs, mais il n'a pas été observé en 1967-1968 dans la cuvette nord par ROBINSON.

Dans la cuvette nord et l'Archipel sud-est et est, l'arrivée des eaux de crue du Chari est, comparative aux deux zones précédentes, sans effet sur les variations d'abondance et la composition spécifique du peuplement zooplanctonique. Celles-ci dépendent d'autres facteurs (thermique et nutritif : taux de natalité et croissance ; prédation), dont l'action est au contraire inhibée ou masquée par les facteurs crue et agitation des eaux dans les zones 1 et 2. Il est toutefois très probable que ces deux derniers facteurs, et surtout le second, ont une action sensible sur l'abondance du zooplancton au moins à la périphérie de la zone 3 durant les périodes de bas niveaux du lac. Leur action serait donc essentiellement pluriannuelle dans cette zone.

Les régions naturelles dites des Îlots-Bancs du sud-est et de la Grande Barrière, dont les caractéristiques actuelles sont par ailleurs très différentes de celles régnant au moment où a été caractérisé ce biotope, peuvent être rattachées à la zone 3. La densité y est relativement stable au cours de l'année (fig. 16 c) et les mêmes variations saisonnières de structure spécifique peuvent y être distinguées.

La frange sud, où sont situées les stations III et IV, de cette région de hauts fonds doit être considérée comme une zone de transition entre les eaux libres

et la zone 3 proprement dite. En 1964-1965, tant du point de vue de l'évolution des densités que de leur valeur absolue, les stations III et IV sont intermédiaires entre les Eaux Libres et l'Archipel sud-est proprement dit ($z \approx 2$ m pour la cote 282 m à Bol). Dans la région des îlots-bancs la biomasse augmente graduellement depuis la bordure sud jusqu'à l'Archipel sud-est ou la Grande Barrière. On ne peut ainsi donner une valeur valable de la biomasse pour cette région à partir des seules stations III et IV qui n'en sont pas pleinement représentatives. La faible profondeur et la proximité du delta en font une région où les conditions écologiques sont éminemment variables. Elle sera provisoirement associée à l'Archipel sud-est et est et à la cuvette nord.

2.3. RÉPARTITION QUANTITATIVE.

Les développements de ce chapitre s'appuient essentiellement sur l'analyse des données recueillies en février-mars 1971 sur l'ensemble du lac (tabl. V).

La comparaison des densités moyennes observées dans les Eaux Libres du sud et du sud-est (105 mg/m³), dans l'archipel de la cuvette sud (350 mg/m³) et dans la cuvette nord (240 mg/m³), montre qu'elles diffèrent significativement. La figure 17 (distribution de fréquence des densités par station) illustre ces différences.

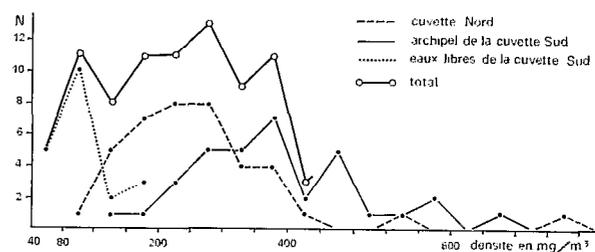


Fig. 17. — Zooplancton : distribution de fréquence des densités dans les trois grandes zones pour les stations prospectées en février-mars 1971. (N, nombre de stations par classe de densité de 40 mg).

Les variations de densité dans la cuvette nord et l'archipel de la cuvette sud étant de faible amplitude et probablement synchrones, on considère que la densité moyenne est significativement plus faible au nord, voire plus accusée pour les hauts niveaux du lac. La différence de densité, plus faible, entre la zone nord et l'Archipel est et sud-est (st. VIII et IX) reste également significative (240 mg/m³ et 290 mg/m³ : $t = 2,35$). Ajoutons qu'à la station 1 de la région C des eaux libres du nord (ROBINSON, 1971),

TABLEAU V

Effectifs moyens (nb.ind./l) des espèces ou stades de Cladocères et de Copépodes dénombrés dans les différentes régions naturelles (février-mars 1971). Celles-ci sont désignées par des lettres (fig. 15). Le nombre des stations est donné entre parenthèses.

Régions	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Espèces	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)	(9)	(10)	(5)	(2)
<i>D. excisum</i>	3,6	2,0	3,2	0,1	0,3	2,7	8,0	7,0	30,0	27,5	12,6
<i>M. micrura</i>	5,2	1,6	2,8	0,8	0,2	1,7	8,7	1,4	21,3	20,5	10,6
<i>C. affinis</i>	0,1	0	0	0	2,7	0	0	0	1,5	4,0	0
<i>C. cornuta</i>	0,6	0,1	0	0	1,3	0	+	0	6,2	15,9	0
<i>D. barbata</i>	1,7	0,5	2,0	20,3	12,1	17,8	5,9	0,1	4,9	3,8	23,4
<i>D. longispina</i>	0,3	+	2,4	4,4	7,6	5,8	0,8	0,1	2,2	1,7	21,1
<i>D. lumholtzi</i>	+	+	0,2	+	+	0,1	0,2	+	0,1	0,1	1,3
<i>B. longirostris</i>	7,5	4,9	61,7	33,0	23,4	83,4	77,3	139,9	68,3	28,7	97,3
Cyclopidés (nauplii)....	70,3	75,9	98,2	89,1	105,5	88,3	138,7	160,5	219,5	158,4	106,3
<i>T. neglectus</i> (copépodes).....	25,0	9,0	8,8	14,8	14,7	11,5	16,1	31,4	50,0	44,5	23,1
<i>T. incisus c.</i> (copépodes).....	0,3	0,4	2,8	3,8	0,4	2,9	1,2	4,4	0,6	0,4	6,9
<i>M. leuckarti</i> (copépodes).....	4,8	5,9	18,3	21,6	24,5	17,2	7,6	8,9	3,0	3,0	12,1
<i>T. neglectus</i> (adultes)...	2,3	5,4	4,8	4,4	5,3	4,3	9,1	15,9	17,5	8,9	9,9
<i>T. incisus c.</i> (adultes)...	0,3	0,2	0,9	1,2	0,2	1,3	1,4	1,3	0,9	0,5	1,8
<i>M. leuckarti</i> (adultes)...	0,2	0,6	2,2	1,5	1,9	0,9	0,5	1,0	0,5	0,1	1,8
<i>T. incognitus</i> (nauplii)...	3,4	1,7	2,6	2,3	8,8	3,5	8,0	12,7	7,2	3,7	11,2
<i>T. incognitus</i> (copépodes).....	4,4	6,8	5,9	2,4	10,9	1,8	4,1	4,6	7,2	9,8	4,7
<i>T. incognitus</i> (adultes)...	1,3	2,2	4,1	2,8	8,2	1,9	4,4	4,3	4,1	5,0	3,7
nb. ind./l.....	131,3	117,3	220,9	202,5	228,0	245,1	292,0	393,5	445,0	336,5	347,8
mg/m ³	105	104	280	221	313	251	272	318	422	375	467
mg/m ²	311	185	972	1240	1237	1077	652	866	742	545	1019

après correction très approximative des valeurs numériques de densité, on arrive à une densité moyenne de l'ordre de 260 mg/m³ pour une période d'un an et demi (1967-1968), ce qui est analogue aux 240 mg/m³ observés en février 1971 dans cette zone.

Dans les eaux libres de la cuvette sud, la valeur observée (105 mg/m³) est comparable au minimum moyen de 1964-1965 pour la station II (115 mg/m³). De la même manière qu'en 1965 pour la station II, on peut admettre que la densité augmente considérablement durant la saison chaude. Il apparaît ainsi que, pendant une courte période de l'année, les densités sont du même ordre de grandeur dans l'ensemble du lac.

L'examen de la répartition de la biomasse de zooplancton crustacéen en février-mars 1971 met en lumière la plus grande richesse de la cuvette nord, dont la profondeur excède de près de 2 m en moyenne celle de l'Archipel est par exemple. Obtenue dans chaque zone à partir des valeurs calculées pour

chaque station la biomasse (densité × profondeur) est ainsi de 11,5 kg/ha dans le nord, contre 7,5 kg/ha pour la zone de l'Archipel et des Îlots-Bancs du sud-est, et 2,5 kg/ha dans les eaux libres de la cuvette sud.

Cependant, étant donné le caractère morphologique hétérogène du lac, ces chiffres ne traduisent vraisemblablement pas la répartition du stock de zooplancton, répartition qui est notamment un élément important pour la caractérisation de ses grands biotopes. Pour établir, cette répartition chaque zone a été compartimentée, et le stock a été évalué dans chaque compartiment d'après la formule : $stock = D \times S \times z$; D étant la densité moyenne observée dans la zone, S la surface d'eau libre et z la profondeur moyenne de chaque compartiment. Les paramètres S et z ont été déterminés à partir des travaux de ROCHE (1972). 60 % environ du stock se trouve dans la cuvette nord (46 % de la surface d'eau) contre 25 % dans les îlots-bancs et la Grande Barrière de la cuvette sud, 7 % dans l'Archipel sud-est et est,

et 7 % dans les eaux libres de la cuvette sud (21 % de la surface d'eau pour une cote moyenne de 281,8 m). Le stock de zooplancton du lac en février-mars 1971 peut être estimé à 14 000 t (140 000 tonnes environ de poids frais) pour une cote de 281,30 m et 18 100 km² de surface d'eau.

2.4. CONCLUSIONS : ZONATION ÉCOLOGIQUE.

Sur la base de la répartition quantitative du zooplancton en février-mars 1971, et des variations saisonnières des densités observées au cours de prospections précédentes, le lac peut être subdivisé en trois grandes zones. La subdivision de la cuvette nord et de l'Archipel est proprement dit en deux zones dont la première présenterait des densités plus faibles, paraît actuellement plausible pour des niveaux moyens ou élevés du lac à partir de la prospection de 1971 et des faibles densités observées par ROBINSON en 1967-1968, qui ne peuvent malheureusement pas être strictement comparées aux nôtres étant donné la méthode d'échantillonnage utilisée.

Les zones écologiques qui ont été retenues sont les suivantes (fig. 18) :

(1) — *Les eaux libres du sud et du sud-est*, les plus pauvres (105 mg/m³ en 1971 ; densité moyenne annuelle de l'ordre de 150 mg/m³). Cette zone est soumise à l'action directe de la crue du Chari. Sa morphologie la rend particulièrement sensible à l'action des tornades d'été et des vents. Les variations saisonnières sont fortes. La zone pérideltaïque n'en est pas séparée, étant donnée sa faible superficie.

(2) — *L'archipel et la zone dite des îlots-bancs de la cuvette sud*. Cette zone ne subit pas dans sa majeure partie l'effet direct de la crue du Chari. La densité y est très élevée (350 mg/m³ en février-mars 1971) ; les variations annuelles moyennes sont de faible amplitude voire non significatives, ce qui n'exclut pas de fortes et rapides variations locales. La biomasse dans la zone en contact avec les eaux libres est difficile à estimer. Elle est très probablement plus faible en moyenne.

(3) — La cuvette nord, dont la profondeur est en moyenne supérieure de 2 m à celle de l'archipel de la cuvette sud *sensu stricto*. La densité y est plus faible (240 mg/m³ en février-mars 1971) et ses variations saisonnières moyennes sont également de faible amplitude.

En raison de la morphologie du lac, la répartition du stock en février-mars 1971, pour une cote relativement basse du lac (281,30 m), ne correspond pas à celle des densités. Les biomasses les plus élevées sont

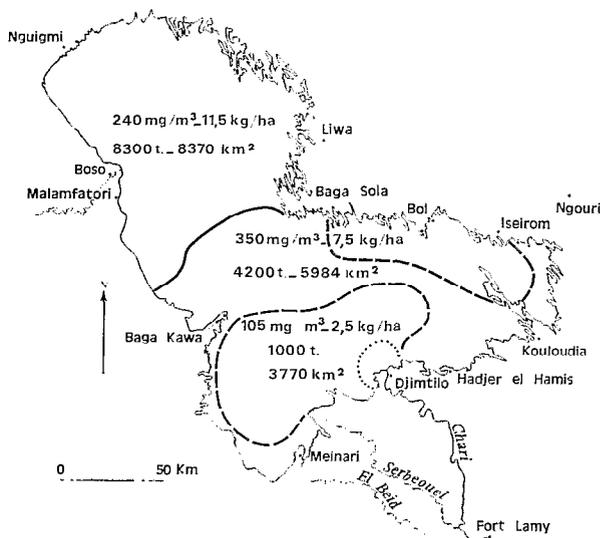


Fig. 18. — Densité, biomasse et stock de zooplancton dans les trois grandes zones du lac Tchad.

observées dans la cuvette nord (11,5 kg/ha) où se trouve 60 % du stock de zooplancton du lac, estimé au total à 14 000 t de poids sec (12 000 à 16 000 t valeurs limites, compte tenu du coefficient de variation moyen de 35 % observé dans chacune des trois zones).

Les facteurs écologiques primaires déterminant la répartition d'abondance du zooplancton dans le lac Tchad nous paraissent donc être, d'une part la crue du Chari dont l'effet est en première approximation fonction inverse de l'éloignement du delta, d'autre part la morphométrie et plus particulièrement la bathymétrie, dont nous ne sommes pas en mesure de déterminer les effets avec certitude. L'action de ces deux facteurs est évidemment pour l'essentiel indirecte.

La salure des eaux est à première vue sans effet sur la composition spécifique et sur l'abondance du zooplancton crustacéen, donc du zooplancton total. Il convient cependant de remarquer que, à profondeur comparable, les stations de la cuvette nord, où la conductivité était plus élevée, avaient en février-mars 1971 des biomasses plus faibles que les stations VIII et IX de l'Archipel est en 1964-1965. Les rotifères semblent, au contraire, sensibles à ce facteur : *Brachionus plicatilis* trouve dans les eaux les plus salées du lac un milieu favorable et le peuplement en rotifères de la partie la plus septentrionale des Îlots-Bancs du nord présente probablement des caractéristiques originales. Cet ensemble de faits ne nous permet pas d'exclure une éventuelle influence de la salure des eaux sur la distribution d'abondance du zooplancton.

3. Faune benthique.

L'essentiel de la faune benthique du lac Tchad est constitué par trois groupes d'invertébrés : vers, mollusques, larves d'insectes, qui ont fait chacun l'objet d'études particulières (DEJOUX, 1968 ; LAUZANNE, 1968 ; LÉVÊQUE, 1968). Des observations préliminaires effectuées à Bol (DEJOUX, LAUZANNE et LÉVÊQUE, 1971) et dans l'Archipel sud-est du lac (DEJOUX, LAUZANNE et LÉVÊQUE, 1969) avaient montré l'influence de la nature des fonds sur l'abondance et la répartition des vers et des mollusques. Les insectes, par contre, paraissent généralement moins sensibles à ce facteur. D'autre part, on a pu mettre en évidence l'existence d'un cycle saisonnier d'abondance très marqué pour la plupart des espèces de vers et d'insectes, avec un minimum en saison chaude.

Il a été tenu compte de ces diverses observations pour établir un plan d'échantillonnage sur l'ensemble du lac et pour interpréter les résultats. Les prélèvements ont été effectués le long d'itinéraires prévus de manière à couvrir l'ensemble des paysages et des zones géographiques du lac.

Pour les vers et les insectes, trois missions ont été effectuées en mars, juillet et novembre 1970 au cours desquelles 54, 29 et 57 stations ont été respectivement prospectées pour les vers, et 65, 30 et 54 stations pour les insectes. Les stations étaient distantes d'environ 10 km et dans chacune d'entre elles, 5 échantillons ont été prélevés à la benne d'Ekman de 15 cm de côté. Les prélèvements, tamisés sur place (tamis de 0,3 mm de vide de maille), étaient fixés au formol pour être triés au laboratoire. Une mission supplémentaire a été faite en mars 1971 pour les insectes afin d'estimer la stabilité inter-annuelle des peuplements.

Pour les mollusques, deux missions ont été réalisées en avril 1968 et mars 1970, avec des stations espacées de 5 km. Six prélèvements (benne d'Ekman de 30 cm de côté) étaient effectués à chaque station et tamisés sur place (tamis de 0,8 mm de vide de maille). Deux cent quinze stations ont été prospectées au cours de chaque mission.

3.1. VERS.

Les vers benthiques sont représentés par un nombre restreint d'espèces dans le lac Tchad. Outre les Nématodes qui n'ont pas été déterminés mais comptés globalement, on a récolté 5 espèces d'Oligochètes appartenant à 3 familles : Alluroïdidae (*Alluroides langanyikae*), Tubificidae (*Aulodrilus remex*, *Euilodrilus* sp.) et Naïdidae (*Branchiodrilus*

cleïstochaeta, *Allonais paraguayensis ghanensis*). Les représentants de la famille des Naïdidae sont plutôt des espèces d'herbiers et sont accidentelles sur les fonds.

Le poids alcoolique moyen d'un individu a été calculé à partir de l'ensemble des récoltes pour chacun des groupes précédents. Il est de 3,406 mg pour un Alluroïdidae, de 0,350 mg pour un Tubificidae ou un Naïdidae, et de 0,062 mg pour un Nématode. Ces poids moyens ont servi à calculer la biomasse moyenne pour chaque station.

3.1.1. Facteurs de répartition des espèces.

(a) Nature des fonds.

On a recherché si la nature des fonds était, sur l'ensemble du lac, comme à Bol (DEJOUX, LAUZANNE et LÉVÊQUE, 1971) un facteur important intervenant sur la composition et la densité des peuplements en vers benthiques. Pour cela, la densité et la biomasse moyenne de chacun des groupes en fonction du type de fond prospecté au cours des missions de mars et novembre 1970 ont été calculées (tabl. VI).

On remarquera l'absence totale de vers sur les fonds de tourbe, et l'absence d'Alluroïdidae sur les fonds de vase dans lesquels les Tubificidae représentent 99 % de la biomasse. Inversement, les Alluroïdidae constituent 95 % de la biomasse en vers du pseudosable. Sur les fonds d'argile, enfin, Alluroïdidae et Tubificidae sont bien représentés.

La nature du fond joue donc un rôle dans la répartition des espèces puisque les 4 types de sédiments les plus fréquents dans le lac peuvent se caractériser par un peuplement particulier, ou, comme c'est le cas pour la tourbe, par l'absence complète de vers.

(b) Conductivité.

Sur l'ensemble du lac, un même type de fond peut être associé à des eaux de conductivité très différente puisque cette dernière augmente, du sud vers le nord, dans un rapport de 1 à 15. C'est le cas des fonds de vase et d'argile, mais non celui des fonds de pseudosable qui sont concentrés dans une région relativement homogène quant à la composition chimique des eaux (Eaux Libres du sud et du sud-est, fig. 4).

Pour les prospections de mars et novembre 1970, on a distingué 3 tranches de conductivité : 60 à 180 μ mhos, 180 à 420 μ mhos et au-delà de 420 μ mhos. Densité et biomasse moyenne par mètre carré ont été calculées pour chacune de ces tranches sur les fonds de vase et les fonds d'argile (tabl. VII et VIII).

La densité des Tubificidae sur les fonds de vase est maximale dans l'intervalle 180-420 μ mhos, aussi

TABLEAU VI

Densité et biomasse de chacun des groupes de vers en fonction du type de fond prospecté au cours des missions de mars et novembre 1970

mars 1970		Alluroïdidae	Tubificidae	Naïdidae	Nématodes	Total	Biomasse en kg/ha
Vase (20 stations)	N/m ²	0	9134	54	229	9417	32
	mg/m ²	0	3197	19	14	3230	
	% Biomasse	0	99	0,6	0,4		
Argile (22 stations)	N/m ₂	157	2462	0	1916	4535	15
	mg/m ²	535	866	0	119	1520	
	% Biomasse	35	57	0	8		
Pseudo-sable (8 stations)	N/m ₂	626	219	30	177	1052	22
	mg/m ₂	2132	77	10	11	2230	
	% Biomasse	95,5	3,5	0,5	0,5		
Tourbe (5 stations)		0	0	0	0		

novembre 1970		Alluroïdidae	Tubificidae	Naïdidae	Nématodes	Total	Biomasse en kg/ha
Vase (22 stations)	N/m ²	0	1089	2	70	1161	4
	mg/m ²	0	381	—	4	385	
	% Biomasse	0	99	—	1		
Argile (27 stations)	N/m ²	216	540	4	211	971	9
	mg/m ²	736	189	1	13	939	
	% Biomasse	78	20	—	1		
Pseudo-sable (6 stations)	N/m ²	369	61	0	50	480	13
	mg/m ²	1257	21	0	3	1281	
	% Biomasse	98	2	0	—		
Tourbe (2 stations)		0	0	0	0	0	

bien en mars qu'en novembre 1970. Dans l'argile, par contre, les Tubificidae sont beaucoup plus abondants dans la gamme de conductivité supérieure à 420 μ mhos alors que les Alluroïdidae disparaissent complètement au-delà de cette limite. Si l'on étudie plus précisément les résultats concernant l'argile, on s'aperçoit qu'il existe un changement assez radical des peuplements aux environs d'une conductivité de 420 μ mhos : les Alluroïdidae, largement dominants dans la biomasse au-dessous de ce seuil disparaissent et sont remplacés par les Tubificidae au-delà de 420 μ mhos. Il existerait donc une « barrière écologique » pour *Alluroides tanganyikae* correspondant à un seuil de conductivité au-delà duquel l'espèce disparaît (fig. 19).

3.1.2. Zones écologiques.

En fonction des facteurs de répartition étudiés précédemment, quatre grandes zones écologiques ont été déterminées. Il s'agit (fig. 20) des Eaux Libres du nord (zone 1), des Eaux Libres du sud et du sud-est (zone 2), de la partie nord de l'archipel du nord-est et des Ilots-Bancs du nord au-delà d'une conductivité de 420 μ mhos (zone 3), enfin de la Grande Barrière et de l'Archipel sud-est et est (zone 4). Dans chacune de ces zones, densité et biomasse moyenne ont été calculées par type de fond au cours des trois missions.

TABLEAU VII

Fonds de vase : densité et biomasse de chacun des groupes de vers en fonction des conductivités au cours des missions de mars et novembre 1970

mars 1970		Alluroïdidae	Tubificidae	Naïdidae	Nématodes	Total	Biomasse en kg/ha
< 180 μ mhos (2 stations)	N/m ²	0	651	0	56	707	2
	mg/m ²	0	228	0	4	232	
	% Biomasse	0	98	0	2		
180 à 420 μ mhos (15 stations)	N/m ²	0	11237	0	20	11257	39
	mg/m ²	0	3933	0	1	3934	
	% Biomasse	0	100	0	€		
> 420 μ mhos (5 stations)	N/m ²	0	2823	21	30	2874	10
	mg/m ²	0	988	7	2	997	
	% Biomasse	0	99	1	€		

novembre 1970		Alluroïdidae	Tubificidae	Naïdidae	Nématodes	Total	Biomasse en kg/ha
< 180 μ mhos (7 stations)	N/m ²	0	1302	6	112	1420	5
	mg/m ²	0	456	2	7	465	
	% Biomasse	0	98	0,5	1,5		
180 à 420 μ mhos (5 stations)	N/m ²	0	2538	0	147	2685	9
	mg/m ²	0	888	0	9	897	
	% Biomasse	0	99	0	1		
> 420 μ mhos (10 stations)	N/m ²	0	215	0	3	218	1
	mg/m ²	0	75	0	€	75	
	% Biomasse	0	100	0	€		

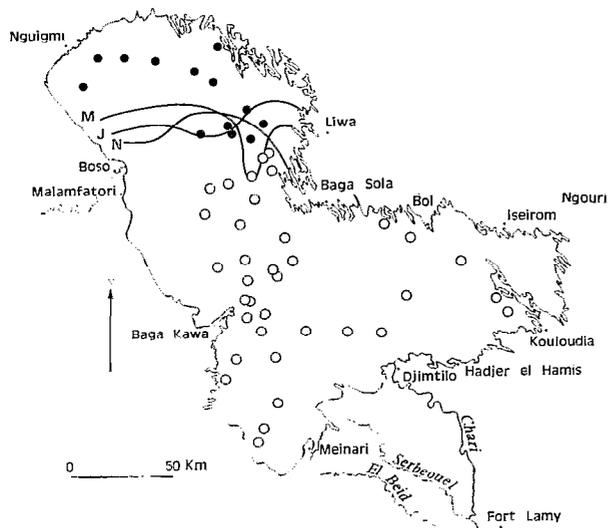


Fig. 19. — Vers : répartition des Alluroïdidae sur les fonds d'argile (○ : présence ; ● : absence). Les traits (M, J, N) indiquent les limites de conductivité 420 μ mhos en mars, juillet et novembre 1970.

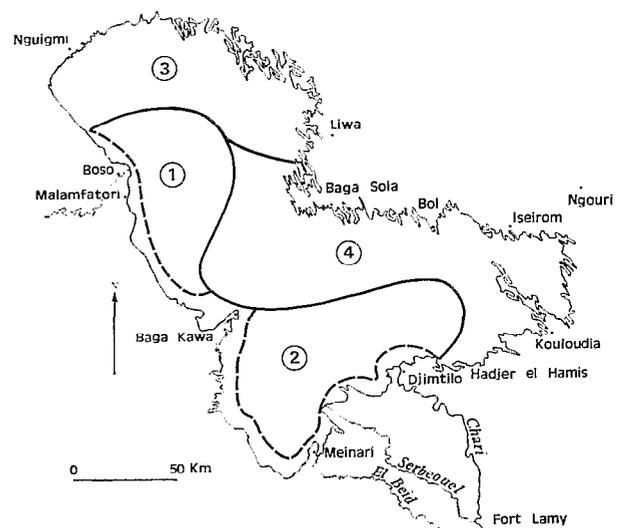


Fig. 20. — Vers : grandes zones de répartition des peuplements.

TABLEAU VIII

Fonds d'argile : densité et biomasse de chacun des groupes de vers en fonction des conductivités au cours des missions de mars et novembre 1970

mars 1970		Alluroïdidae	Tubificidae	Naïdidae	Nématodes	Total	Biomasse en kg/ha
< 180 μ mhos (6 stations)	N/m ²	251	155	0	94	500	9
	mg/m ²	855	54	0	6	915	
	% Biomasse	93	6	0	1		
180 à 420 μ mhos (7 stations)	N/m ²	255	724	0	319	1298	11
	mg/m ²	868	253	0	20	1141	
	% Biomasse	76	22	0	2		
> 420 μ mhos (8 stations)	N/m ²	0	5714	0	153	5867	20
	mg/m ²	0	2000	0	9	2009	
	% Biomasse	0	99,5	0	0,5		

novembre 1970		Alluroïdidae	Tubificidae	Naïdidae	Nématodes	Total	Biomasse en kg/ha
< 180 μ mhos (14 stations)	N/m ²	313	66	8	198	585	11
	mg/m ²	1066	23	3	12	1104	
	% Biomasse	97	2	—	1		
180 à 420 μ mhos (6 stations)	N/m ²	134	24	0	141	299	5
	mg/m ²	456	8	0	9	473	
	% Biomasse	96	2	0	2		
> 420 μ mhos (3 stations)	N/m ²	0	4505	0	65	4570	16
	mg/m ²	0	1577	0	4	1581	
	% Biomasse	0	100	0	€		

(a) Zone 1. Eaux Libres du nord.

Située dans la gamme 180-420 μ mhos de conductivité, et renfermant essentiellement des fonds vaseux, cette zone est particulièrement riche en Tubificidae qui forment la presque totalité de la biomasse.

(b) Zone 2. Eaux Libres du sud et du sud-est.

La conductivité y est toujours inférieure à 180 μ mhos et les fonds sont formés d'argile et de pseudosable. Ces facteurs sont favorables aux Alluroïdidae qui sont largement dominants dans la biomasse.

(c) Zone 3. Archipel et Îlots-Bancs du nord.

La répartition des fonds est plus hétérogène que dans les zones précédentes et les sédiments sont plus diversifiés. Cette zone est cependant caractérisée par une conductivité supérieure à 420 μ mhos et l'absence d'Alluroïdidae. La biomasse est formée à 99 % par les Tubificidae.

(d) Zone 4. Archipel et Îlots-Bancs de la Grande Barrière et de l'est.

La vase est peuplée essentiellement de Tubificidae, mais les Alluroïdidae sont plus abondants dans l'argile. Comme dans la zone précédente, les sédiments sont variés et les peuplements assez hétérogènes.

3.1.3. Conclusions.

L'évaluation des biomasses moyennes, par zone et par type de fond pour chacune des missions (tabl. IX), confirme l'existence d'un cycle saisonnier d'abondance avec un minimum en juillet. Cependant les Tubificidae paraissent être plus sensibles aux variations saisonnières que les Alluroïdidae. En effet, il n'existe pas de différences très importantes au cours des trois missions dans les biomasses des fonds d'argile des zones 2 et 4, ni dans celles du pseudosable, qui sont peuplés presque exclusivement par

TABLEAU IX

Densité et biomasse des vers benthiques, par zone, en fonction du type de fond au cours des trois missions

mars 1970		zone 1	zone 2	zone 3	zone 4
vase	N/m ²	14353		2874	5009
	kg/ha	50,25		9,97	17,52
argile	N/m ²	2583	500	5867	1083
	kg/ha	5,23	5,67	20,08	12,45
pseudo-sable	N/m ²		1052		
	kg/ha		22,30		
tourbe	N/m ²			0	0
	kg/ha			0	0

juillet 1970		zone 1	zone 2	zone 3	zone 4
vase	N/m ²	279		0	0
	kg/ha	0,67		0	0
argile	N/m ²		235	0	683
	kg/ha		6,45	0	8,61
pseudo-sable	N/m ²		808		
	kg/ha		10,76		
tourbe	N/m ²			0	0
	kg/ha			0	0

novembre 1970		zone 1	zone 2	zone 3	zone 4
vase	N/m ²	2828		218	412
	kg/ha	9,44		0,75	0,70
argile	N/m ²	1131	581	4750	372
	kg/ha	11,51	15,11	15,81	5,39
pseudo-sable	N/m ²		526		
	kg/ha		12,83		
tourbe	N/m ²			0	0
	kg/ha			0	0

les Alluroïdidae. Au contraire, la biomasse des fonds de vase varie fortement d'une mission à une autre.

La très forte agitation du sédiment provoquée par les tornades durant la saison des pluies et qui perturbe plus profondément la vase que l'argile, pourrait être une explication de la quasi disparition des Tubificidae en juillet.

3.2. MOLLUSQUES.

En raison d'un cycle biologique généralement supérieur à 1 an et d'une reproduction plus ou moins continue chez beaucoup d'espèces, il n'existe pas chez les mollusques de variations saisonnières d'abondance bien marquées, comme c'est le cas pour les vers et les insectes (DEJOUX, LAUZANNE et LÉVÊQUE, 1968). La composition des peuplements étant relativement stable au cours de l'année, 2 missions seulement ont été effectuées sur le lac Tchad (avril 1968 et mars 1970). L'ensemble de ces résultats et ceux de deux séries d'observations réalisées à Bol en 1967 et en 1970, ont donné lieu à des études détaillées sur l'écologie des espèces, la structure des peuplements et la répartition des biomasses (LÉVÊQUE, 1972 ; LÉVÊQUE et GABORIT, 1972). L'essai de zonation présenté ici représente donc un résumé synthétique de ces travaux antérieurs.

3.2.1. Méthode d'étude.

Sept espèces de mollusques ont été retenues pour comparer les peuplements. Il s'agit des Prosobranches : *Melania tuberculata*, *Cleopatra bulimoides* et *Bellamyia unicolor*, et des Lamellibranches : *Corbicula africana*, *Caelatura aegyptiaca*, *Pisidium pirothi* et *Byssanodonta parasitica*. Il n'a pas été tenu compte des Lamellibranches de grande taille (*Mutela* et *Aspatharia*) qui sont relativement rares et pour lesquels la surface prospectée à chaque station n'est pas suffisante pour que leur absence éventuelle dans les prélèvements soit significative.

L'interprétation des résultats des 215 prélèvements effectués lors de chaque mission s'avérant difficile, certains des relevés ont été regroupés. Pour cela, il a été nécessaire de définir au préalable, 25 grands biotopes sur l'ensemble du lac (fig. 21) en se basant sur 3 critères :

— la nature des fonds qui est un facteur très important de la répartition et de l'abondance des espèces (DUPONT et LÉVÊQUE, 1968) ;

— le type de paysage (eaux libres, archipels, îlots-bancs) ;

— la position géographique. Celle-ci joue peut-être un rôle en elle-même, mais peut également caractériser un ensemble de conditions écologiques prévalants dans une zone (physico-chimie des eaux, par exemple). Les limites géographiques n'ont pas été tracées au hasard mais correspondent à des changements dans la composition qualitative et quantitative des peuplements.

Pour chaque mission, on a alors calculé le relevé moyen par biotope, en regroupant tous les relevés

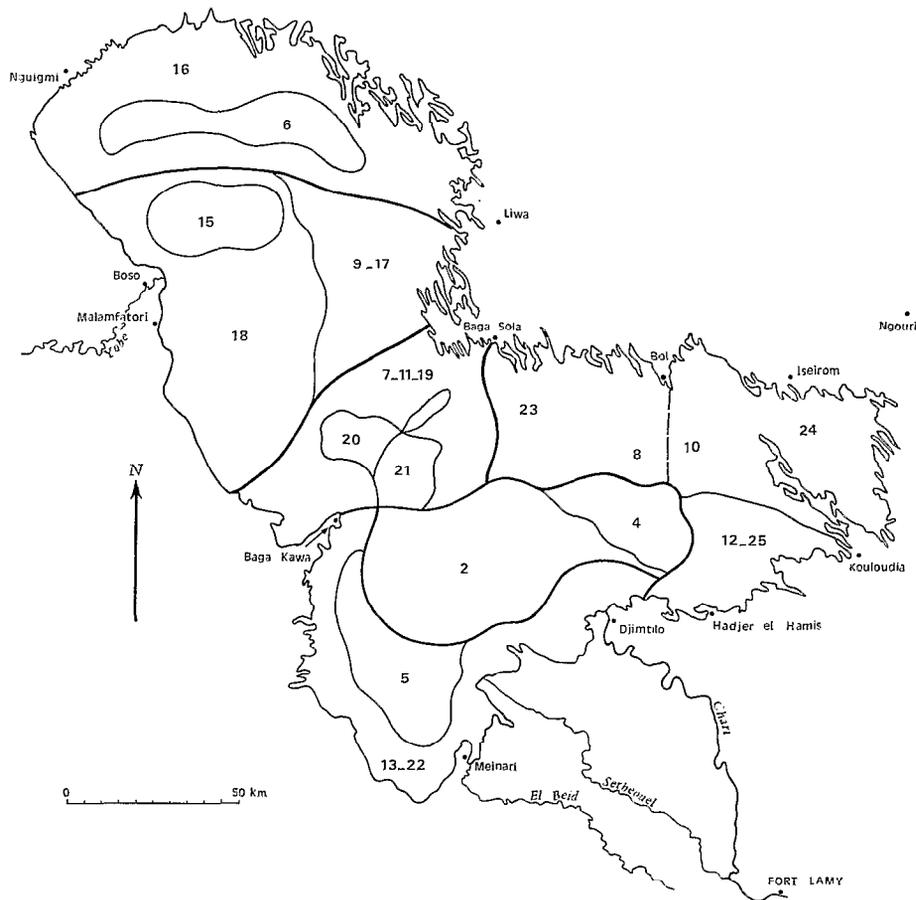


Fig. 21. — Mollusques : localisation des grands biotopes définis sur l'ensemble du lac Tchad. 2. Pseudo-sable des Eaux Libres du sud-est. 3. Pseudo-sable de la Grande Barrière. 4. Argile bleue des Eaux Libres de l'est. 5. Argile granulaire du sud. 6. Argile granulaire de la Grande Barrière. 8. Argile granulaire du sud-est. 9. Argile granulaire de l'Archipel nord-est. 10. Tourbe de l'archipel sud-est. 11. Tourbe de la Grande Barrière. 12. Tourbe des Ilots-Bancs du sud-est. 13. Tourbe des Ilots-Bancs du sud. 15. Vase bleu des Eaux Libres du nord. 16. Vase des Ilots-Bancs du nord. 17. Vase de l'Archipel nord-est. 18. Vase des Eaux Libres du nord. 19. Vase de la Grande Barrière. 20. Vase de la zone A de la Grande Barrière. 21. Vase de la zone B de la Grande Barrière. 22. Vase des Ilots-Bancs du sud. 23. Vase de l'Archipel sud-est (ouest de Bol). 24. Vase de l'Archipel est (est de Bol). 25. Vase des Ilots-Bancs du sud-est.

effectués dans un même biotope tel qu'il a été défini ci-dessus. Ceux des biotopes occupant la plus grande superficie ont été prospectés au cours de deux missions, les autres l'ont été seulement au cours de l'une ou de l'autre, selon les trajets parcourus. Il est donc nécessaire de comparer les deux séries de données pour obtenir une esquisse globale de la répartition des peuplements sur l'ensemble du lac.

L'analyse factorielle des correspondances a été utilisée pour comparer les relevés moyens des différents biotopes. Cette méthode a déjà été exposée en détail (LÉVÊQUE et GABORIT, 1972) et il suffira de

rappeler que le principe est de comparer des profils spécifiques après une pondération de la matrice initiale ramenant les effectifs réels à des estimations de probabilité. Il y a correspondance entre l'analyse des espèces et celle des relevés et l'on peut représenter sur un même graphique la position des espèces et celle des relevés par rapport aux axes choisis. Un relevé sera alors d'autant plus proche d'une espèce que celle-ci intervient fortement dans son profil. Pour interpréter correctement les projections dans le plan des axes choisis on peut également utiliser les contributions absolues des espèces aux

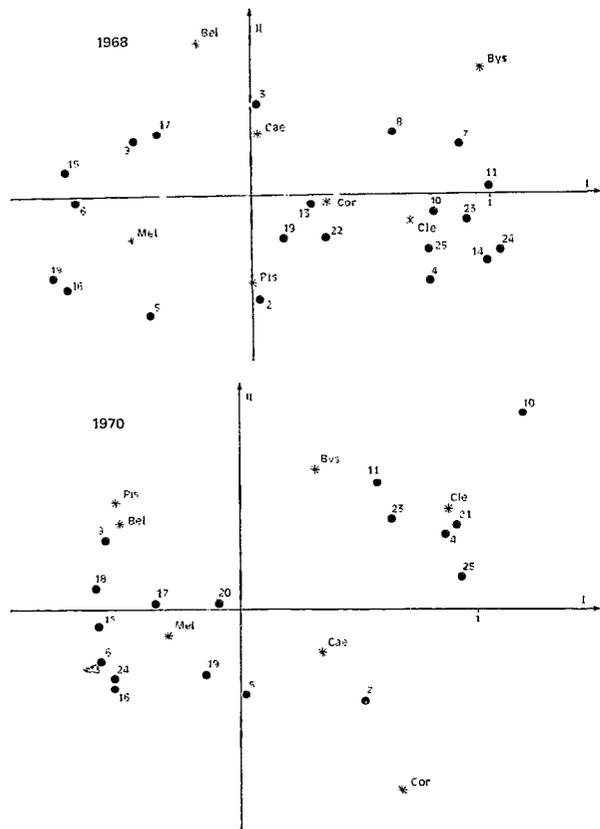


Fig. 22. — Mollusques : position dans le plan des axes 1 et 2 des relevés moyens par biotope (cf. fig. 21) et des espèces (missions de 1968 et 1970).

axes, les espèces ayant la plus forte contribution par rapport à un axe étant celles qui interviennent le plus sur la position des relevés par rapport à cet axe.

3.2.2. Comparaison des profils spécifiques des relevés.

Les positions des relevés et des espèces sont représentées ici dans le plan des 2 premiers axes extraits (fig. 22). Ceux-ci expliquent respectivement 75 % et 82 % de l'inertie totale des relevés de 1968 et de 1970.

On peut distinguer grossièrement 3 groupes de relevés :

Groupe 1 : biotopes 6-9-15-16-17-18.

L'ensemble de ces biotopes correspond à la zone du lac située au nord de la Grande Barrière (fig. 21). Les peuplements sont à dominance de *Melania*. A cet ensemble vient s'ajouter le biotope 24 en 1970 en raison d'une évolution du peuplement de ce biotope entre 1968 et 1970.

Groupe 2 : biotopes 4-7-8-10-11-14-21-23-25.

Le peuplement est à dominance de *Cleopatra* et ces biotopes appartiennent principalement à la zone d'Archipel et d'Ilots-Bancs du sud-est, mais également à la Grande Barrière (7 et 11) et à une partie des Eaux Libres du sud-est (4). A cet ensemble, il faut adjoindre le biotope 24 en 1968.

Groupe 3 : biotopes 2-3-5-13-19-20-22.

Ces biotopes possèdent des peuplements intermédiaires entre ceux des groupes précédents quant à l'importance relative des *Melania* et des *Cleopatra*. Ils sont plus dispersés sur les graphiques et appartiennent au sud du lac, à la Grande Barrière et aux Eaux Libres du sud-est.

L'étude des groupements de biotopes sur la base des profils spécifiques a été poussée plus loin. Après avoir ôté les *Melania* de la liste des espèces, on a soumis les relevés de 1970 à une nouvelle analyse. Une telle opération se justifie par le fait que les *Melania* constituent l'espèce dominante sur le lac avec environ 50 % de l'effectif total et qu'elle risque de masquer ou d'écraser, avec la méthode de comparaison utilisée ici, d'autres espèces moins abondantes mais aussi caractéristiques pour séparer les relevés.

On constate en effet (fig. 23), qu'en l'absence des *Melania*, la plupart des relevés du groupe 1 sont alors rassemblés autour de l'espèce *Bellamya*. On note également la disparition du biotope 16 (seuls des *Melania* y avaient été prélevés) et un certain éloignement du biotope 17 et surtout du biotope 24. Les biotopes du groupe 2 sont encore à proximité de *Cleopatra* mais les *Corbicula* exercent une certaine influence sur la position des biotopes 2-5-19.

Ces informations viennent donc compléter les résultats obtenus avec l'ensemble des espèces et l'on peut esquisser une première zonation du lac basée sur le profil spécifique des peuplements :

— la zone située au nord de la Grande Barrière dont les peuplements sont caractérisés par une forte dominance des *Melania* et l'importance en second lieu des *Bellamya* ;

— la zone de l'Archipel et des Ilots-Bancs sud-est, comprenant également une petite partie des Eaux Libres du sud-est (biotope 4) avec des peuplements à forte dominance de *Cleopatra* ;

— la zone des Eaux Libres du sud-est et du sud (biotopes 2 et 5) dont les peuplements sont caractérisés par une importance à peu près équivalente des *Melania* et des *Cleopatra* et une proportion de *Corbicula* plus élevée que dans les zones précédentes ;

— la zone de la Grande Barrière où l'on rencontre des peuplements ayant plus ou moins d'affinités avec ceux des trois premières zones. C'est en fait une zone de transition entre les cuvettes nord et sud.

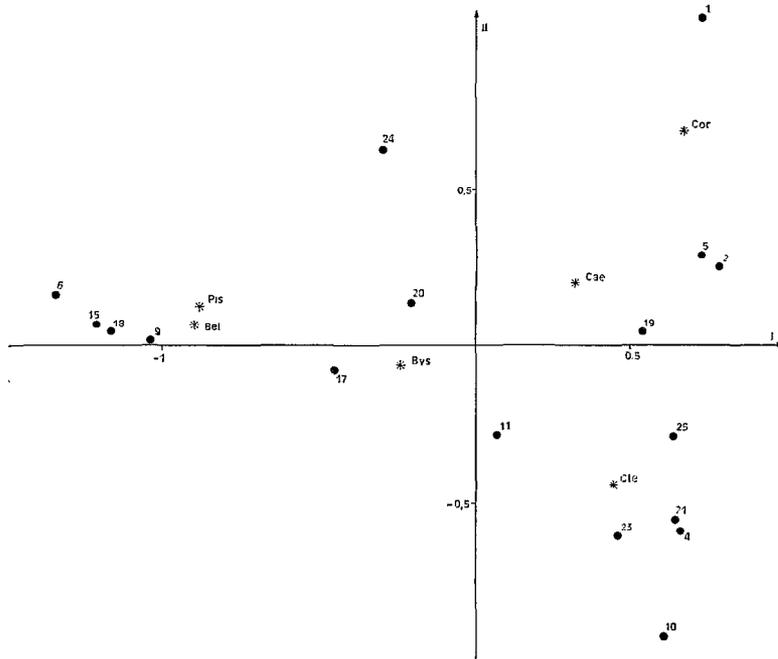


Fig. 23. — Mollusques : position dans le plan des axes 1 et 2 des relevés moyens par biotope (cf. fig. 21) et des espèces (mission de 1970). *Melania tuberculata* a été enlevée de la liste des espèces.

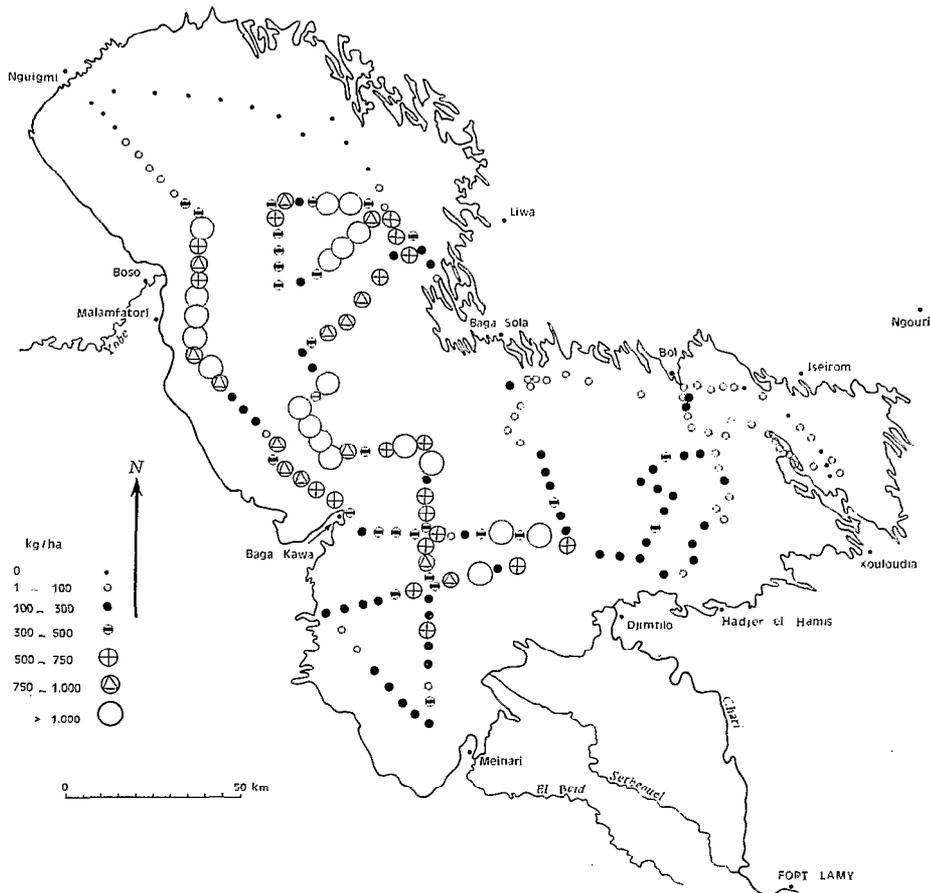


Fig. 24. — Mollusques : répartition des biomasses d'après les relevés effectués dans chacune des stations (mission de 1970).

3.2.3. Répartition des biomasses.

Les biomasses moyennes par espèce et par biotope (tabl. X et XI; fig. 24) permettent de préciser le schéma de zonation ci-dessus. On peut faire les commentaires suivants :

— dans la cuvette nord, il y a disparition presque complète des mollusques dans les biotopes 16 et 6. La limite méridionale du biotope 16 suit la courbe moyenne d'isoconductivité de 500 μmhos au-delà de laquelle (LÉVÊQUE, 1972) les mollusques ne subsistent pas. Les autres biotopes de la cuvette nord hébergent par contre des densités et des biomasses très élevées en mollusques ;

— les densités et les biomasses moyennes sont faibles pour les biotopes de l'Archipel sud-est et est. Elles

augmentent dans le biotope 4 et plus encore dans le biotope 2 pour diminuer ensuite et atteindre des valeurs proches de celles du biotope 4 dans le sud du lac ;

— les biomasses sont très élevées dans les biotopes de la Grande Barrière.

3.2.4. Schéma général de zonation et conclusions.

Un schéma général de zonation du lac Tchad peut être proposé en fonction des résultats précédents (fig. 25).

Zone 1.

Elle comprend l'extrême nord du lac au-delà de la courbe moyenne d'isoconductivité de 500 μmhos .

TABLEAU X

Biomasses moyennes en mollusques par biotope prospecté en avril 1968 (en kg/ha, poids alcoolique, coquille comprise)

Biotope	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	14	15	16	17	18	19	22	23	24	25
Nombre de prélèvements	11	4	7	24	16	2	5	1	5	2	8	3	9	9	12	22	17	6	14	6	8
<i>Melania</i>	161	179	16	176	11	20	—	279	2	—	13	10	46	7	105	143	92	8	1	—	6
<i>Cleopatra</i>	182	308	116	99	2	354	13	136	33	66	40	235	2	1	73	9	172	22	30	3	60
<i>Bellamya</i>	2	1533	12	24	30	300	29	1135	19	36	54	12	133	5	483	145	169	10	12	—	17
<i>Corbicula</i>	185	387	9	21	—	56	26	—	—	3	6	26	69	—	9	4	73	16	3	2	26
<i>Caelatura</i>	15	175	26	58	—	44	12	116	17	15	—	—	—	—	64	3	29	38	9	—	3
<i>Pisidium</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>Byssanodonta</i>	—	1	—	—	—	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Biomasse moyenne en kg/ha	545	2582	179	378	43	777	80	1666	74	123	133	326	181	13	734	304	535	94	54	5	106

TABLEAU XI

Biomasses moyennes en mollusques par biotope prospecté en mars 1970 (en kg/ha, poids alcoolique, coquille comprise)

Biotope	2	4	5	6	9	10	11	15	16	17	18	19	20	21	23	24	25
Nombre de prélèvements	27	10	16	11	2	15	4	5	7	30	11	9	3	4	14	20	13
<i>Melania</i>	112	31	84	2	230	4	31	164	3	141	223	235	294	67	7	6	10
<i>Cleopatra</i>	136	112	33	—	53	40	208	5	—	43	17	69	185	281	20	—	43
<i>Bellamya</i>	4	6	7	1	1135	4	411	266	—	266	664	42	1123	30	11	1	10
<i>Corbicula</i>	172	26	43	—	—	1	64	—	—	16	—	52	180	69	3	—	20
<i>Caelatura</i>	35	46	44	—	44	6	102	—	—	12	—	204	407	116	9	3	6
<i>Pisidium</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>Byssanodonta</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Biomasse moyenne en kg/ha	459	221	211	3	1462	55	816	435	3	478	914	602	2189	563	50	10	89

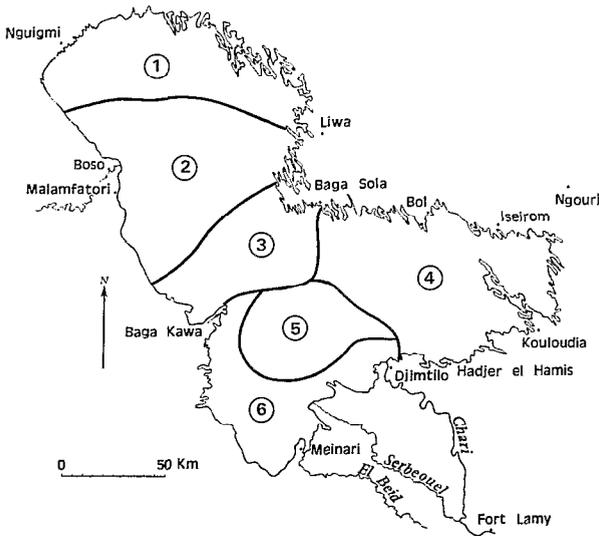


Fig. 25. — Schéma de zonation du lac Tchad basé sur l'étude des peuplements et des biomasses en mollusques benthiques.

Elle se caractérise par une extrême pauvreté des peuplements et une dominance des *Melania* qui composent presque exclusivement la faune malacologique de cette région.

Zone 2.

Elle recouvre les Eaux Libres du nord et la partie méridionale de l'Archipel nord-est. Les *Melania* sont dominants et les *Bellamyia* sont abondants dans les peuplements. Les biomasses sont élevées (en 1970, moyennes de 430 à 900 kg/ha en poids alcoolique, coquilles comprises, selon les biotopes).

Zone 3.

C'est la région de la Grande Barrière caractérisée par l'hétérogénéité des peuplements et qui représente une zone de transition entre les cuvettes nord et sud du lac. Les biomasses sont très fortes (en 1970, 600 à 2 000 kg/ha, selon les biotopes).

Zone 4.

Elle comprend l'Archipel et les Ilots-Bancs du sud-est et une petite partie des eaux libres du sud-est. Les *Cleopatra* sont l'espèce dominante des peuplements bien qu'on assiste en 1970 à un début d'évolution et au remplacement des *Cleopatra* par les

Melania dans le biotope 24. Les biomasses sont faibles (en 1970, moyennes de 70 à 223 kg/ha, selon les biotopes).

Zone 5.

Elle correspond à la majeure partie des Eaux Libres du sud et du sud-est et en fait à la vaste zone de pseudo-sable (biotope 2) allant du delta du Chari à Baga Kawa. *Melania* et *Cleopatra* sont bien représentés dans les peuplements et les *Corbicula* sont plus abondants que dans les autres biotopes. La biomasse est élevée (456 kg/ha en moyenne en 1970).

Zone 6.

C'est le sud du lac. Les *Melania* sont un peu plus abondants que les *Cleopatra* et les densités sont peu élevées (moyennes de 200 kg/ha pour le biotope 5 en 1970 et de 94 et 127 kg/ha pour les biotopes 22 et 13 en 1968).

Sur un plan général, on peut remarquer que 75 % de la biomasse totale en mollusques du lac sont concentrés dans les zones 2, 3 et 5 dans lesquelles les biomasses à l'unité de surface sont les plus élevées et qui représentent environ 50 % de la superficie du lac. Ces zones ont une position centrale et l'on constate vers le nord (zone 1) vers l'est (zone 4) et vers le sud (zone 6) un appauvrissement des biomasses plus ou moins marqué.

3.3. INSECTES.

On peut diviser les insectes benthiques du lac Tchad en deux grands groupes d'importance très inégale : les Chironomides qui, numériquement, constituent en moyenne 85 à 90 % des peuplements, et l'ensemble des autres insectes (Ephéméroptères Trichoptères et certains Diptères) qui représentent les 10 à 15 % restants.

3.3.1. Insectes benthiques autres que les Chironomides.

Les espèces appartenant à ce groupe doivent être séparées en deux ensembles en fonction de l'habitat de chaque écophase, c'est-à-dire de leur écotope. On distinguera donc les Chaoboridae et les Hémiptères qui ont, durant leur écophase aquatique, une localisation que l'on qualifiera de sub-benthique (1), les autres insectes vivant dans le substrat ou lui étant intimement liés.

(1) On regroupera dans cet écotope les organismes qui vivent au contact du fond sans pour cela lui être directement liés, et peuvent momentanément se rencontrer dans le domaine pélagique.

(a) *Écotope benthique, sensu stricto.*

Les insectes peuplant ce biotope sont essentiellement :

Ephéméroptères : *Cloeon fraudulentum*
Eatonica schoutedeni
Coenomedes brevipes
Povilla adusta

Trichoptères : *Dipseudopsis capensis*
Ecnomus sp.

Diptères : Geratopogonidae

Odonales : Libellulidae.

Ces insectes ont une vaste répartition et se retrouvent aussi bien au nord du lac que dans sa partie est. Il existe cependant, d'un point de vue quantitatif, une micro-distribution liée à la nature du substrat. C'est ainsi que *Dipseudopsis* et *Eatonica* se rencontrent principalement sur les fonds vaseux riches en débris végétaux alors que *Ecnomus* sp. et *Cloeon fraudulentum* peuplent surtout les fonds argileux ou argilo-sableux.

Les divers types de fonds précédents ayant une répartition hétérogène à l'échelle du lac, deux grandes zones seulement se distinguent : la cuvette nord comprenant la Grande Barrière d'une part, et la cuvette sud d'autre part.

Les effectifs moyens par zone, calculés pour chacune des missions (tabl. XII), confirment l'existence d'un cycle saisonnier d'abondance avec un minimum en juillet. En outre, les effectifs moyens sont beaucoup plus élevés dans la cuvette nord que dans la cuvette sud, et nous verrons par la suite que cette opposition entre les deux cuvettes est encore plus marquée pour les Chironomides.

TABLEAU XII

Effectifs moyens/m² des insectes de l'écotope benthique sensu stricto dans les cuvettes sud et nord en 1970

	cuvette sud	cuvette nord
mars	9,0	36,0
juillet	3,0	26,1
novembre	20,9	43,9

(b) *Écotope sub-benthique.*

Deux espèces forment la quasi totalité des effectifs de ce peuplement : *Chaoborus anomalus* (Chaoboridae) et *Micronecta scutellaris scutellaris* (Corixidae). Ces insectes ne sont pas intimement liés au substrat

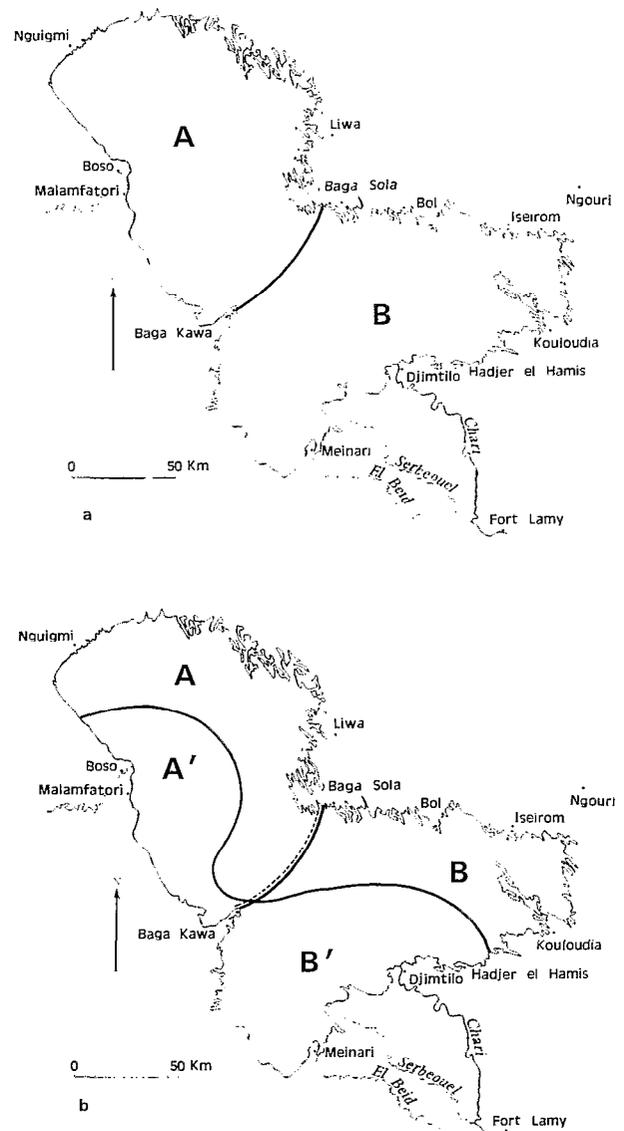


Fig. 26. — Zonation du lac Tchad basée sur la répartition des insectes de l'écotope sub-benthique (a) et de l'écotope benthique sensu stricto (b).

et se localisent immédiatement au-dessus du fond pouvant éventuellement comme les *Micronecta nager* en pleine eau ou périodiquement comme les *Chaoborus* devenir pélagiques.

L'analyse de la répartition de ces deux espèces, sur tout le lac et à trois périodes de l'année, permet de retrouver la même opposition entre cuvette nord et cuvette sud, cette dernière étant 3 fois moins riche. Par ailleurs une très nette différence existe entre les zones d'archipel et îlots-bancs et les zones d'eaux

libres, les effectifs moyens par mètre carré pour 1970 variant dans le rapport 1 à 100 ($N/m^2 = 0,2$ dans les eaux libres et 20,6 dans les archipels et îlots-bancs)

On aboutit donc finalement à une zonation sommaire du lac faisant très nettement apparaître selon les insectes considérés une opposition entre cuvette nord et cuvette sud du lac (fig. 26 a) ou bien entre les zones d'archipels et d'îlots-bancs d'une part et les eaux libres d'autre part (fig. 26 b).

3.3.2. Chironomides.

Bien que leur écologie soit différente selon les genres, on peut considérer que l'ensemble des Chironomidae benthiques du lac Tchad occupe le même écotope. Les effectifs par mètre carré étant relativement élevés, il a été possible d'analyser la répartition plus en détail que pour les autres insectes et la zonation qui apparaît est basée soit sur la notion d'espèce dominante soit sur celle d'espèce caractéristique. On distingue en première analyse 5 grandes zones :

- zone 1 : zone à *Cladotanytarsus lewisi* et *Tanytarsus nigrocinclus*
- zone 2 : zone à *Polypedilum fuscipenne*
- zone 3 : zone à *Clinotanytarsus claripennis*
- zone 4 : zone à *Cryptochironomus diceras*
- zone 5 : zone à *Chironomus formosipennis*.

Chacune de ces zones est susceptible de varier en superficie au cours d'un cycle saisonnier mais demeure néanmoins localisée dans une même région géographique.

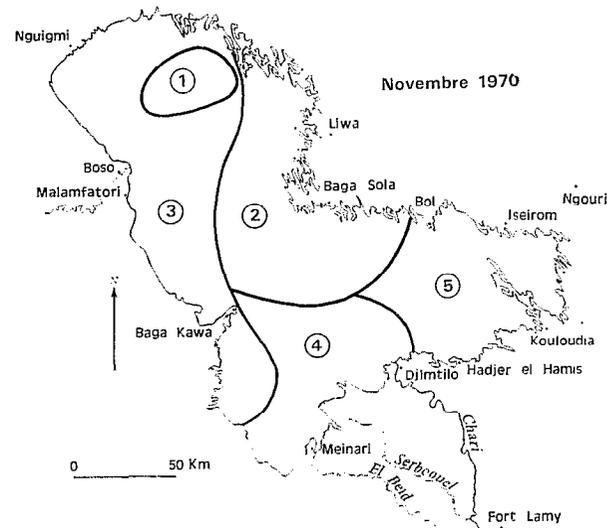
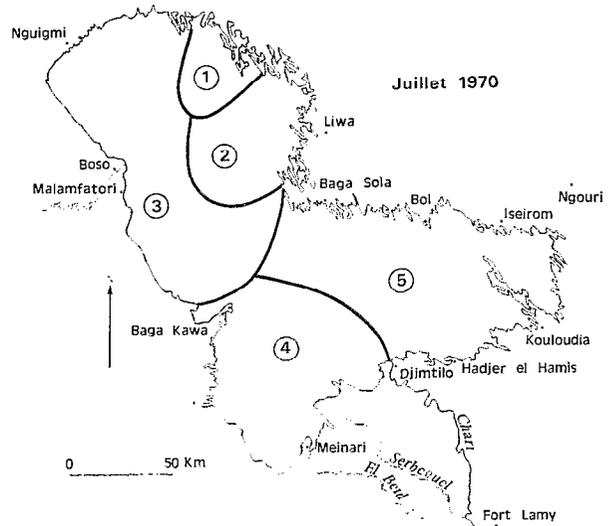
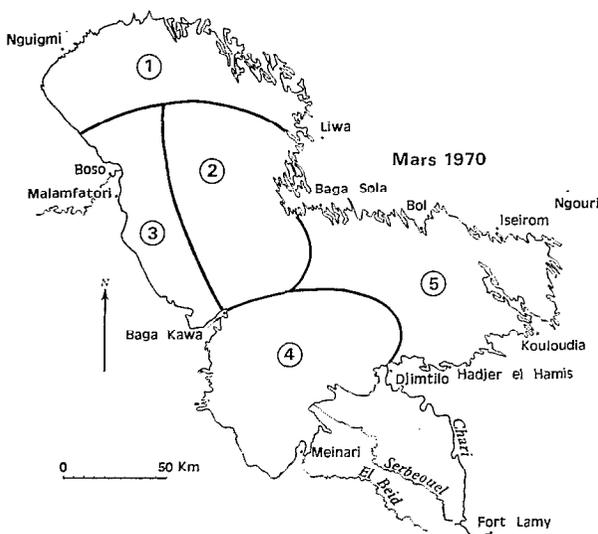


Fig. 27. — Zonation du lac basée sur la répartition des Chironomidae en mars, juillet et novembre 1970.

(a) — Zone 1.

Très nette et couvrant une grande superficie en mars 1970, cette zone s'étend approximativement sur toute la région du lac au nord de la latitude $13^{\circ}45' N$ (fig. 27 a). Deux Chironomides Tanytarsinae y représentent 82 % des peuplements (tabl. XIII). Ils sont pratiquement absents du reste du lac à cette époque.

En juillet, période d'appauvrissement général de la faune benthique, les effectifs deviennent très faibles, *Cladotanytarsus lewisi* n'a pas été récolté une seule fois et *Tanytarsus nigrocinclus* représente seulement 16,7 % du peuplement en Chironomides. La

zone de distribution s'est réduite à une petite portion de l'archipel nord du lac (fig. 27 b) et il est quasiment impossible de la délimiter autrement que par la seule présence de *T. nigrocinctus* absent ou rare dans les autres régions du lac. On pourrait à la limite conclure que cette zone n'existe plus.

En novembre, par contre, tout en restant d'une faible superficie, elle s'individualise à nouveau beaucoup mieux, *T. nigrocinctus* et *C. lewisi* représentent 50 % des peuplements, le reste étant constitué par les effectifs de 10 autres espèces. Sa localisation s'est légèrement déplacée vers l'ouest (fig. 27 c).

TABLEAU XIII

Répartition des espèces dominantes de Chironomides, au cours de l'année 1970, dans la zone 1 (en pourcentage des effectifs totaux)

	<i>Cladotanytarsus lewisi</i>	<i>Tanytarsus nigrocinctus</i>	<i>Clinotanypus claripennis</i>	<i>Procladius reidi</i>	autres espèces importantes
mars.....	50,6	31,1	5,1	4,6	
juillet.....	0	16,7	12,3	16,7	<i>Polypedium fuscipenne</i> 24,6
novembre.....	23,7	21	17,4	0,9	<i>Cryptochironomus stilifer</i> 20,4

(b) — Zone 2.

Les limites de cette zone sont relativement floues, imbriquées dans celles des zones 1 et 3 (fig. 27). Elle couvre en mars une partie des eaux libres du nord, de l'archipel nord-est et de la Grande Barrière. La dominance de *Polypedium fuscipenne* est à cette époque très nette, cette espèce représentant environ 60 % du peuplement de Chironomides (tabl. XIV). *Cryptochironomus stilifer*, espèce accompagnatrice, représente 13,7 %.

En juillet, l'étendue de la zone s'est réduite à

l'archipel nord-est du lac et la bordure d'eaux libres jouxtant l'archipel à ce niveau. *P. fuscipenne* ne représente plus que 22,8 % du peuplement en Chironomides alors que *Clinotanypus claripennis*, tout en ayant des effectifs peu élevés, représente en valeur relative 47,6 %. *Cryptochironomus stilifer* a disparu de la zone.

En novembre, la zone s'étendra à nouveau vers le sud, débordant la Grande Barrière vers l'est ; la dominance de *P. fuscipenne* et de *C. stilifer* réapparaît nettement avec respectivement 66,6 % et 27 % des peuplements de Chironomides.

TABLEAU XIV

Répartition des espèces dominantes de Chironomides, au cours de l'année 1970, dans la zone 2 (en pourcentage des effectifs totaux)

	<i>P. fuscipenne</i>	<i>C. claripennis</i>	<i>C. stilifer</i>	<i>T. nigrocinctus</i>	<i>C. lewisi</i>
mars.....	60,2	1,1	13,7	9,0	12,7
juillet.....	22,8	47,6	0	0	0
novembre.....	66,6	1,1	27,0	0,3	0

(c) — Zone 3.

Cette zone occupait au début de l'étude la bande côtière située entre Baga Kawa et Malamfatori, s'étendant vers l'est sur une distance de 25 à 30 km.

Au cours de l'année, la zone s'est étendue vers l'est ainsi que vers le nord et le sud (fig. 27).

Caractérisée par l'abondance de *Clinotanypus claripennis*, cette région du lac présente aussi un fort

peuplement de *Cryptochironomus stilifer*, espèce commune à la zone 2 et 3 sans être dominante. C'est une espèce accompagnatrice soit de *P. fuscipenne* soit de *C. claripennis* (tabl. XV).

TABLEAU XV

Répartition des deux espèces dominantes de Chironomides, au cours de l'année 1970, dans la zone 3 (en pourcentage des effectifs totaux)

	<i>Clinotanypus claripennis</i>	<i>Cryptochironomus stilifer</i>
mars	42,0	57,1
juillet	84,0	10,5
novembre	51,8	21,7

(d) — Zone 4.

C'est la zone la plus pauvre du lac, *Cryptochironomus diceras* et *Ablabesmyia* sp. s'y rencontrent toute l'année mais les valeurs maximales des effectifs dépassent rarement 100 individus au mètre carré (tabl. XVI).

Cette zone couvre approximativement toute la partie sud du lac englobant même, et selon la saison, les eaux libres du sud-est (mars et novembre) (fig. 27). Elle est située dans la région la moins profonde du lac et les fonds sont constitués en majeure partie de pseudo-sable. Ces deux facteurs, ainsi que l'agitation presque constante des eaux qui remettent le sédiment en suspension, sont certainement responsables de la pauvreté en insectes benthiques.

TABLEAU XVI

Répartition des espèces caractéristiques de Chironomides, au cours de l'année 1970, dans la zone 4 (en pourcentage des effectifs totaux)

	<i>C. diceras</i>	<i>Ablabesmyia</i> sp.	<i>Procladius</i> <i>reidi</i>
mars	25,4	34,7	0
juillet	89,9	4,9	0
novembre	28,7	3,2	17,7

(e) — Zone 5.

Cette zone englobe les archipels, les îlots-bancs et les eaux libres de la partie est du lac. Deux études

réalisées sur la faune benthique de cette région en 1967 et en 1969 avaient permis de récolter respectivement 47 et 22 espèces de Chironomides. En 1970 seulement 10 espèces ont été récoltées sans qu'il apparaisse d'espèce dominante. En se basant sur nos observations antérieures, on peut considérer que *Chironomus formosipennis* et les espèces du genre *Nilodorum* sont caractéristiques de cette zone bien que les peuplements de 1970 ne le laisse pas apparaître. Il faut cependant noter que l'effort ayant surtout porté sur la cuvette nord du lac encore mal connue, le nombre des prélèvements réalisés dans l'est a été insuffisant.

En résumé, dans cette zone sans caractéristiques physico-chimiques extrêmes, la nature des fonds est très hétérogène, et la faune ne présente pas d'espèces dominantes.

(f) — Zone 6.

N'appartenant pas au domaine benthique proprement dit, c'est une zone à la fois très diffuse par son morcellement sur l'ensemble du lac et aussi très homogène par la composition de ses peuplements. Elle est formée par l'ensemble des herbiers immergés qui, regroupés, représenteraient une très grande superficie. Que ce soit dans le nord ou le sud, trois insectes sont des éléments caractéristiques de ce biotope : *Cricotopus scotti* (Chironomidae); *Gloeon fraudulentum* (Ephéméroptère) et *Orthotrichia straeleni* (Trichoptère). Déjà d'étendue non négligeable en 1970, cette zone est appelée à prendre une très grande extension si la baisse du niveau du lac se poursuit dans les années à venir.

3.3.3. Répartition des biomasses.

Les insectes aquatiques du lac Tchad se reproduisent toute l'année (DEJOUX, LAUZANNE et LÉVÊQUE, 1969), le turn over est généralement court et les générations extrêmement mélangées. Aussi a-t-on préféré analyser la répartition des effectifs plutôt que celle des biomasses pour rechercher la zonation écologique du lac.

Cependant, à effectifs égaux, certaines espèces de Trichoptères par exemple représentent une biomasse dix fois supérieure à celle des Chironomides, aussi a-t-on recherché la répartition des biomasses moyennes annuelles, en fonction de la zonation qui apparaissait à l'analyse des effectifs (tabl. XVII).

Cette répartition permet de regrouper les zones 1 et 2, zones les plus riches du lac avec une biomasse moyenne annuelle de l'ordre de 260 mg/m², puis les zones 3 et 4, zones les plus pauvres du lac, où la biomasse moyenne annuelle se situe aux environs de 15 mg/m². La zone 5 enfin avec 50 mg/m² est une zone de richesse intermédiaire (fig. 28).

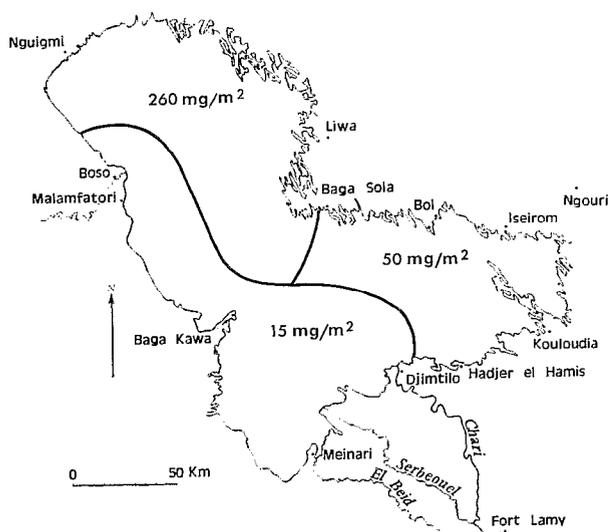


Fig. 28. — Répartition des biomasses moyennes annuelles d'insectes benthiques et sub-benthiques, sur l'ensemble du lac en 1970 (mg de poids sec/m²).

TABLEAU XVII

Répartition des biomasses moyennes annuelles (en mg de poids sec par mètre carré) sur l'ensemble du lac

	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4	zone 5
Biomasse moyenne annuelle	235	300	13	18	53

3.3.4. Discussion.

L'examen des données exposées ci-dessus amène plusieurs commentaires.

L'échantillonnage réalisé a été limité pour des raisons matérielles (longueur des tris) afin d'effectuer 3 prospections de l'ensemble du lac au cours d'un cycle annuel. Il s'en suit qu'une analyse statistique de la répartition des effectifs est difficile à réaliser notamment afin de préciser les limites des zones 1, 2 et 3 par exemple. En effet, il peut paraître artificiel de diviser le bassin nord du lac en 3 zones et il serait plus logique d'en faire une seule zone dite à *Cryptochironomus stilifer*, espèce pratiquement absente du reste du lac. Selon la dominance régionale des espèces accompagnatrices, cette zone présenterait 3 sous-zones sans limites franches, qui seraient les suivantes :

- 1 — sous-zone à *T. nigrocinctus*-*C. lewisi* (au nord) ;

- 2 — sous-zone à *P. fuscipenne* (à l'est) ;
- 3 — sous-zone à *C. claripennis* (à l'ouest).

Les résultats de la prospection de mars 1971 ont été volontairement négligés dans ce qui précède. Sur un plan purement théorique on pensait retrouver à cette époque une situation similaire à celle de mars 1970, en ce qui concerne la structure et la répartition des peuplements. En fait il n'en est rien et on a retrouvé la situation suivante (fig. 29) :

— la zone 1 n'existe plus et seuls quelques *T. nigrocinctus* se rencontrent dans le nord de façon erratique ;

— la zone 2 s'est étendue vers l'ouest et atteint la côte du Nigéria. Son amplitude latitudinale a, par contre, bien diminué ;

— la zone 3 occupe l'emplacement de la zone 1 de mars 1970 ;

— la zone 4 s'est étendue vers le nord et *Procladius reidi* remplace *Ablabesmyia* sp. comme espèce caractéristique ;

— la zone 5 garde toujours son caractère hétérogène ; cependant on note l'apparition de *P. fuscipenne* autrefois pratiquement absent de cette partie du lac.

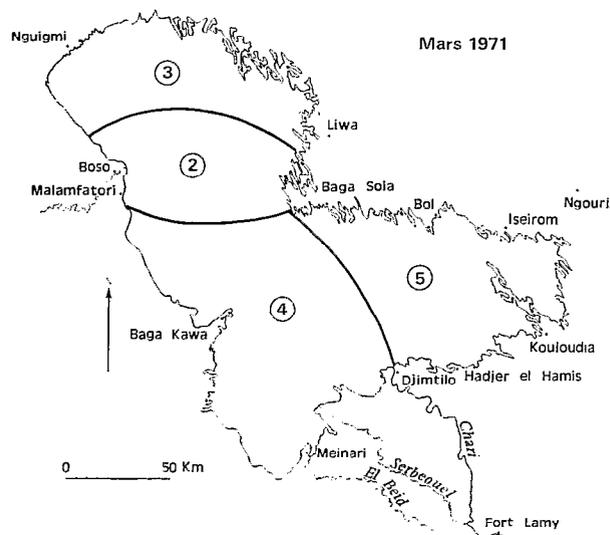


Fig. 29. — Évolution de la zonation du lac basée sur la répartition des Chironomides en mars 1971.

Il semble donc qu'il y ait eu une sorte de translation des peuplements, dans le sens du déplacement des grandes masses d'eaux, au cours des saisons, sans qu'il y ait ensuite retour à la situation initiale.

3.3.5. Conclusion.

L'analyse de la répartition globale de tous les insectes aquatiques sur l'ensemble du lac Tchad ne permet pas d'aboutir à une zonation détaillée de ce dernier. Seule existe une nette opposition entre la cuvette nord, riche et peuplée par un petit nombre d'espèces et la cuvette sud, pauvre bien qu'ayant un plus grand nombre d'espèces.

Par contre, si l'on divise les insectes aquatiques en plusieurs groupes, en fonction de leur écologie, on peut envisager une zonation plus détaillée, faisant apparaître 6 zones pour les Chironomides par exemple. Il est presque certain qu'une analyse encore plus poussée basée sur un grand nombre de prélèvements et faisant intervenir la répartition de chaque espèce mettrait en évidence l'existence d'une mosaïque de biotopes résultant de la grande hétérogénéité du lac Tchad.

3.4. DISCUSSION ET CONCLUSIONS.

Les zonations proposées pour les trois groupes d'invertébrés benthiques étudiés ici ne se superposent pas exactement car les facteurs de répartition ne sont pas toujours les mêmes selon les groupes considérés. Il existe néanmoins un certain nombre de points communs dans la répartition des espèces et des biomasses. On rappellera, en particulier, l'opposition générale entre les cuvettes nord et sud, ainsi qu'entre les zones d'eaux libres et d'archipels à l'intérieur des deux cuvettes. En outre, la nature des fonds est un facteur déterminant de la structure des peuplements en vers et en mollusques, et il existe pour ces deux groupes, une barrière de conductivité limitant la répartition des espèces vers le nord du lac. Les insectes sont plus ubiquistes en ce qui concerne le substrat et la conductivité mais paraissent plus sensibles au paysage. Il est évident que les zonations proposées sont schématiques et n'ont d'autre but que de mettre en évidence les caractères originaux de certaines régions, étant entendu que les régions ne correspondent pas en général à des biotopes homogènes.

Afin de synthétiser à la fois les résultats obtenus pour chacun des groupes et leur contribution respective à l'ensemble du benthos, un schéma général de répartition des biomasses est proposé ici. On a utilisé pour cela les résultats obtenus lors de la mission de mars 1970 au cours de laquelle les trois groupes d'invertébrés benthiques avaient été prospectés conjointement. Sept zones ont été définies sur l'ensemble du lac (fig. 30) en se basant principalement sur la répartition des mollusques qui ont fait l'objet d'études plus approfondies que les vers et les insectes. La biomasse moyenne (en poids sec, coquille non

comprise pour les mollusques) de chacun des groupes a été calculée pour les différentes zones (tabl. XVIII). Du fait de l'absence de prélèvements en vers et mollusques dans la zone 7 en mars 1970, les valeurs moyennes obtenues en 1967 dans cette région ont été utilisées (DEJOUX, LAUZANNE et LÉVÊQUE, 1969).

TABLEAU XVIII

Biomasses moyennes en vers, insectes et mollusques pour les 7 zones de la figure 30 en kg/ha de poids sec (coquille non comprise pour les mollusques)

Zones	Vers	Insectes	Mollusques
1	2,1	1,4	0,2
2	8,0	2,1	55,0
3	1,1	2,9	38,8
4	1,9	1,6	45,4
5	1,5	0,05	24,1
6	2,6	0,06	11,2
7	0,8	0,6	5,2

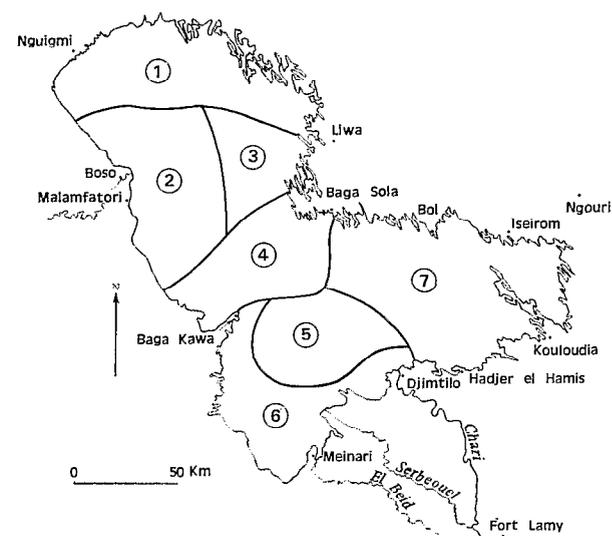


Fig. 30. — Faune benthique (vers, mollusques, insectes). Schéma de zonation en mars 1970 (cf. tabl. XVIII).

Sur un plan général, les mollusques sont largement dominants sur les autres groupes, sauf dans la zone 1 où ils disparaissent en raison d'une conductivité plus élevée. Leur biomasse est maximale dans la zone 2 en raison de l'abondance des *Bellamyia* dans cette région. C'est également dans la zone 2 que l'on observe la plus forte biomasse en vers (essentiellement des Tubificidae) alors que partout ailleurs leur

biomasse est nettement plus faible et sensiblement du même ordre de grandeur. Enfin, les insectes sont mieux représentés dans la cuvette nord et l'Archipel nord-est (zone 3) en particulier (*Polypedilum fuscipenne* abondant) que dans la cuvette sud où leur biomasse moyenne atteint des valeurs très faibles dans les Eaux Libres du sud et du sud-est (zones 5 et 6).

Les données ci-dessus ne sont évidemment valables que pour mars 1970 étant donné l'existence d'un cycle saisonnier d'abondance pour les vers et les insectes. Elles montrent cependant pour les trois groupes, que les biomasses les plus élevées se rencontrent dans la partie méridionale de la cuvette nord (zones 2 et 3). Les résultats obtenus en juillet et novembre 1970 confirment cette conclusion en ce qui concerne les vers et les insectes, et les variations saisonnières de la biomasse en mollusques sont peu importantes. Les raisons de l'existence d'une forte

biomasse benthique dans les zones 2 et 3 (et, dans une certaine mesure, dans la zone 4) ne sont pas encore élucidées. Il est possible qu'en plus de facteurs écologiques favorables aux divers groupes étudiés, la prédation par les poissons y soit moins importante que dans la zone sud, ainsi que certains résultats préliminaires peuvent le laisser supposer.

4. Peuplements ichtyologiques du lac Tchad.

4.1. MATÉRIEL ET MÉTHODES.

L'ensemble des observations effectuées sur les poissons du lac Tchad concernent essentiellement un type d'engin, le filet maillant, et sont très hétérogènes.

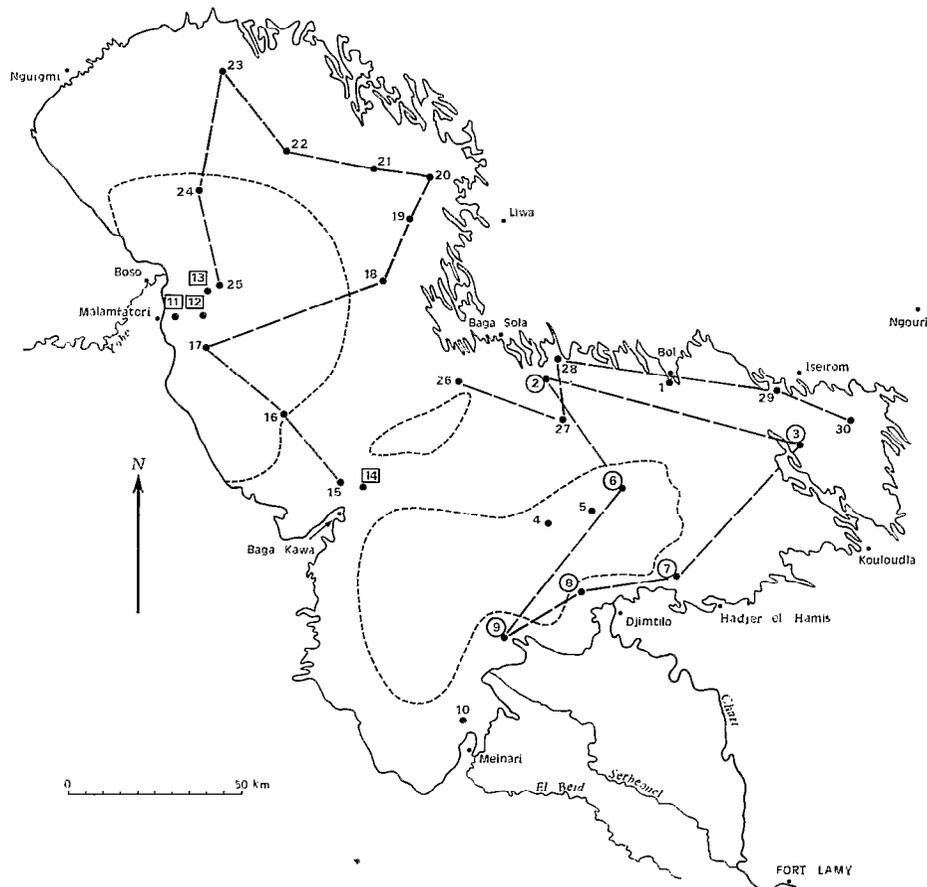


Fig. 31. — Emplacements des 30 stations de pêche. Les stations correspondant à des pêches effectuées par les services de pêche du Nigeria et par le C.T.F.T. sont respectivement entourées d'un carré et d'un cercle. Les tirets réunissent des stations homologues : 2, 3, 6 à 9 (C.T.F.T., 1965) ; 15 à 25 (O.R.S.T.O.M., janvier 1971 ; O.R.S.T.O.M., mai 1971).

Les données disponibles proviennent en effet de quatre sources différentes : Centre Technique Forestier Tropical (C.T.F.T.), Malamfatori Federal Fisheries Research Station (st. 11 et 12), Northern Regional Fisheries (st. 13 et 14) et O.R.S.T.O.M. Ces pêches ont été effectuées dans des buts distincts et ne sont pas toujours directement comparables entre elles. Réalisées entre 1963 et 1971, certaines portent sur un seul cycle annuel, d'autres sur plusieurs ; les caractéristiques des filets utilisés sont diverses ; les efforts de pêche enfin sont très variables. Dans certaines zones, les observations manquaient totalement à la fin de 1970. C'était, en particulier, le cas des zones d'archipel et d'îlots-bancs de la région nord du lac où nous avons effectué une série de pêches en janvier 1971 (fig. 31).

L'utilisation des filets maillants ne peut permettre une estimation directe des biomasses (1), les rendements ne constituent donc que des indices d'abondance, pour un filet et une espèce donnés. D'autre part, les effets de la sélectivité des filets maillants sont très importants puisque, non seulement la taille des poissons capturés est directement proportionnelle à celle de la maille, mais de plus la vulnérabilité est variable d'une espèce à l'autre suivant la morphologie, le comportement, etc. C'est ainsi que la densité des Schilbeidae est probablement surestimée car la capture est facilitée par la présence d'épines pectorales et dorsales. A l'inverse les captures de *Tilapia galilaea* à l'aide d'une senne de rivage ou de poison montrent que cette espèce figure parmi les plus abondantes dans l'archipel alors que sa présence dans les filets maillants est accidentelle. On ne peut corriger les biais dus à des vulnérabilités différentes, ni, par conséquent, comparer directement les abondances spécifiques réelles à partir des prises. Par contre, on peut tenir compte d'indications fournies par d'autres engins de pêche comme ci-dessus dans le cas des *Tilapia*.

Pour réduire l'influence de la sélectivité de chaque filet, il a été employé dans nos pêches à partir de 1970, une batterie de filets susceptibles de capturer l'ensemble des poissons présents dans les divers milieux prospectés. Les mailles utilisées ont été les suivantes : 10, 12, 14, 15, 16, 18, 20, 22, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 80, 100, 115 et 130 mm (2).

En ce qui concerne les échantillonnages effectués par l'O.R.S.T.O.M., trois tableaux (XX, XXI et XXII) récapitulent les principales données globales non encore publiées pour l'Archipel sud-est (st. 1), les Eaux Libres du sud-est (st. 4 et 5) et le sud du

lac (st. 10). On a choisi d'exprimer l'ensemble des données en prises par unité d'effort de pêche (p.u.e.), soit ici en kilogrammes pour 100 mètres carrés de filet et par nuit de pêche (et, par commodité, en décagrammes dans les tableaux XIX à XXII). Ces valeurs ont été calculées à partir de résultats bruts déjà publiés (DURAND, FRANC, LOUBENS, 1972). La description faite ci-dessous (§ 4.2) s'appuie sur l'ensemble des données déjà publiées. Dans le cas des filets à grandes mailles, les travaux du C.T.F.T. (1966) pour la cuvette sud et ceux de la station de recherche de Malamfatori (HOPSON, 1964 et 1968 ; TOBOR, 1969) ont été plus particulièrement utilisés.

4.2. RÉPARTITION DES PRINCIPALES ESPÈCES.

Cette description générale ne tient pas compte des espèces rares ou accidentelles. Nous avons par contre pris en considération les espèces ubiquistes, car le degré de dissemblance entre deux zones dépend à la fois des espèces communes aux deux zones et des espèces propres à chacune d'entre elles. De plus ces espèces ubiquistes peuvent constituer l'essentiel de la biomasse.

Pour des raisons de commodité, nous avons divisé le lac en deux parties, sud et nord, de part et d'autre de la Grande Barrière (fig. 2) et avons tenu compte de paysages naturels (archipel, eaux libres...). Les données étant plus fournies pour la cuvette sud, nous opérons un premier tri spécifique pour cette zone et essayons de voir ensuite dans quelle mesure les différences constatées ont leurs homologues dans la région nord du lac.

4.2.1. Cuvette sud.

(a) Les espèces ubiquistes.

Les plus abondantes sont *Lates niloticus*, *Hydrocyon forskalii*, *Hydrocyon brevis* et *Eutropius niloticus* (tabl. XX, XXI et XXII).

L'hétérogénéité des données est telle que l'on ne peut comparer directement les prises par unité d'effort dans les diverses régions car elles ne sont jamais strictement concomitantes et on risquerait de fonder des différences régionales sur des variations saisonnières ou interannuelles. On peut cependant remarquer qu'il peut y avoir des différences de répartition entre jeunes et adultes. C'est ainsi que les jeunes *Lates* sont plutôt pêchés aux stations 7, 8 et 10, le long de la côte sud et que les jeunes *H. brevis*

(1) Celle-ci n'a été évaluée jusqu'ici que dans des conditions particulières, à l'aide de pêches au poison (LOUBENS, 1969 et 1970).

(2) Dans la suite du texte, l'abréviation FM est couramment utilisée pour filet maillant et la taille de la maille est définie par la longueur du côté, en millimètres et de nœud à nœud. FM 30 = filet maillant à maille de 30 mm de côté.

ne sont communs nulle part. Le cas des *Eutropius* est plus complexe puisque des individus de toutes tailles sont rencontrés dans toutes les stations. Il semble y avoir une abondance toute particulière des individus de petite taille dans les régions d'îlots-bancs comme en témoigne la p.u.e. obtenue en mai 1966 au nord de la station 6 : 4,62 kg. Il est difficile d'analyser plus finement cette répartition des *Eutropius niloticus* car cette appellation recouvre probablement deux populations très différenciées.

Cinq autres espèces sont communes et répandues dans toute la cuvette *Pollimyrus isidori* (1), *Synodontis schall*, *Synodontis membranaceus*, *Distichodus rostratus* et *Labeo senegalensis*. Les jeunes de ces dernières espèces semblent inégalement répartis dans les Eaux Libres du sud-est (tabl. XIX).

TABLEAU XIX

Prises par unité d'effort de jeunes *Distichodus rostratus* et *Labeo senegalensis* (décagrammes/100 m²/nuît ; st. 4 et 5, 1970)

FM		10	12	14	15	16	18
<i>Distichodus rostratus</i>	St. } 4	1	2	6	1	2	3
	5	2	24	32	65	32	14
<i>Labeo senegalensis</i>	St. } 4	1	1	5	2	4	2
	5	*	12	20	79	32	5

L'abondance des jeunes à la station 5 correspond en fait à un phénomène saisonnier : les captures ne sont importantes qu'en octobre dans nos pêches. Il doit s'agir de passages reliés à des phénomènes migratoires.

(b) Les espèces caractéristiques.

Parmi les poissons de petite taille, trois espèces semblent se rencontrer surtout à la station 10 : il s'agit de deux espèces adultes : *Ichthyoborus besse* qui n'est pêché nulle part ailleurs et *Siluranodon auritus* dont on peut rencontrer de rares exemplaires dans l'archipel et de jeunes *Schilbe mystus* qui ne sont rencontrés en quantités notables que le long de la côte camerounaise (tabl. XX).

En ce qui concerne les tailles moyennes (FM 20 à 35), deux espèces semblent caractéristiques de la station 10, les *Polypterus senegalus* adultes et les jeunes *Hyperopisus bebe*. Les adultes de deux autres

espèces préfèrent les eaux libres : *Schilbe mystus*, la plus abondante, et *Synodontis clarias*. (tabl. XXI). *S. mystus* est aussi commun dans les régions d'îlots-bancs et toutes deux peuvent se rencontrer occasionnellement dans l'archipel. Les adultes de trois espèces sont caractéristiques de l'archipel : *Alestes baremoze*, *Synodontis batensoda* et *S. frontosus* (tabl. XXII) ; elles peuvent être aussi capturées dans les zones d'îlots-bancs. *Alestes baremoze* et *S. batensoda* atteignent souvent des densités considérables ; par ailleurs, *Alestes baremoze* a un comportement migratoire très net. L'analyse factorielle, montre que l'abondance et le comportement de cette espèce jouent un rôle déterminant dans la définition de certains peuplement (DURAND, 1972). Quelques espèces, enfin, se rencontrent surtout près du rivage et dans les zones d'îles et d'îlots-bancs, à l'exclusion des eaux libres : *Petrocephalus bane*, *Marcusenius cyprinoïdes*, *Chrysichthys auratus*.

Sept espèces ou genres de grande taille ne semblent pas ubiquistes. *Polypterus bichir*, *Heterotis niloticus*, les *Tilapia* (*T. galilaea* et *T. nilotica* essentiellement) ne se rencontrent pas dans les eaux libres. Partout ailleurs *Heterotis* est parmi les composantes les plus importantes de la biomasse ; c'est aussi le cas des *Tilapia* dans la région de Bol (pêches à la senne de rivage et au poison). *Polypterus bichir*, plus rare, semble particulièrement important à la station 10. Les *Citharinus* (les données obtenues ne permettent pas de séparer *C. citharus* et *C. distichodoïdes*), *Bagrus bayad* et *Labeo coubie* sont plutôt pêchés dans les eaux libres. Le genre *Citharinus* est globalement dominant dans les filets à grandes mailles dans les eaux libres et le delta (cette dernière localisation correspond probablement, là aussi, à des migrations vers le fleuve) ; il est encore très commun dans l'archipel mais semble rare au sud. Enfin, *Tetraodon fahaka* paraît plus commun à la station 10.

On peut conclure, provisoirement, cette description de la répartition des poissons dans la cuvette sud, par deux remarques :

— les zones que l'on peut distinguer en première analyse, au nombre de trois, correspondent étroitement aux paysages : archipel, eaux libres, côte sud-est et sud ;

— les zones d'îlots-bancs situées entre archipel et eaux libres constituent une zone de transition où l'on peut rencontrer les espèces des deux zones voisines. Il semble d'ailleurs que les espèces considérées ici comme plutôt inféodées aux eaux libres (*Schilbe*, *Citharinus*...) aient une répartition moins stricte que celle des espèces de l'archipel.

(1) Les noms de genres de certains poissons Mormyriiformes sont ceux adoptés dans la révision de Taverner (1971).

TABLEAU XX

Prises par unité d'effort (décagrammes/100 m²/nuit) pour les principales espèces pêchées le long de la côte camerounaise (st. 10 ; 1968). Dans ce tableau et les suivants N désigne le nombre total de poissons capturés dans chaque filet ; f, le nombre de nuits de pêche ; * correspond à des prises par unité d'effort < 5 g/100 m²/nuit

FM	10	15	20	25	30	35	40	50	60	80	100
<i>Heterotis niloticus</i>								1	29	25	220
<i>Hyperopisus bebe</i>			7	4	5	21	23	5	3	4	
<i>Marcusenius cyprinoides</i>			20	21	29	9	17				
<i>Petrocephalus bane</i>	*	1	3	14	18	1					
<i>Pollimyrus isidori</i>	15	4	*		*						
<i>Tetraodon fahaka</i>					4	1	6	19	87	74	6
<i>Hydrocyon forskalii</i>	2	21	60	95	154	154	30	10	6		
<i>Hydrocyon brevis</i>		1	*	*	13	18	20	15	16	62	
<i>Alestes dentex</i>	*	3	10	3	23	47	37	4			
<i>Alestes baremoze</i>	*	3	25	11	88	134	81				
<i>Ichthyoborus besse</i>	1	18	2	*							
<i>Distichodus rostratus</i>	3	3	4	3	12	21	71	80	54	72	
<i>Labeo senegalensis</i>	*	2	4	4	11	3	5	21	13	24	
<i>Chrysichthys auratus</i>		1	7	8	3	14	9	2			
<i>Schilbe mystus</i>	*	19	55	29	58	78	62	16	*		
<i>Eutropius niloticus</i>	5	38	87	22	33	44	3				
<i>Siluranodon auritus</i>	*	11									
<i>Synodontis frontosus</i>	2	1		1	9	9	49	24			
<i>Synodontis schall</i>	*	4	3	9	6	13	14	1			
<i>Lates niloticus</i>	*	5	9	8	25	51	12	78	214	17	16
<i>Polypterus senegalus</i>	1	*	33	40	11	3	*				
<i>Polypterus bichir</i>		7	9	39	88	88	89	111	73		
Divers.....	10	10	46	30	50	39	63	114	104	26	55
Total.....	39	153	384	341	640	748	591	501	599	304	297
N.....	2176	2105	2207	1093	1275	1076	437	212	143	31	14
f.....	23	24	19	20	24	24	17	18	19	15	18

4.2.2. Cuvette nord.

Sur les quatre espèces abondantes et ubiquistes du sud du lac, trois se retrouvent au nord : *Lates niloticus*, *Hydrocyon forskalii* et *Eutropius niloticus*. Les *Hydrocyon brevis* sont beaucoup plus rares dans la partie nord que dans la partie sud du lac. Par ailleurs, *H. forskalii* et *E. niloticus* sont surtout pêchés en quantités notables aux stations 15, 16 et 24, en région d'îlots-bancs. Les *Lates* sont, en définitive, les seuls poissons de grande taille capturés en abondance dans tous les milieux lacustres. On peut citer d'autres espèces ubiquistes mais moins abondantes : *Distichodus rostratus*, *Labeo spp.* et *Synodontis schall*. *D. rostratus* n'est peut-être pas une espèce réellement ubiquiste car son régime alimentaire phytophage devrait lui faire plutôt fréquenter les zones d'îlots-bancs et d'archipel. Sa présence dans les eaux libres s'explique par des passages saisonniers de migration (HOPSON, 1968).

Enfin, une espèce de petite taille semble commune dans tous les milieux : *Alestes dageli*, pêchée à toutes les stations en janvier 1971 (st. 15 à 25) et composante importante des contenus stomacaux de *Lates niloticus* dans les eaux libres (HOPSON, 1964 ; st. 11 et 12).

Autant que les données relativement peu fournies le permettent, on peut distinguer deux groupes d'espèces : d'une part les espèces caractéristiques de certaines zones de la région sud qui se retrouvent au nord avec la même répartition, d'autre part, celles qui n'ont pas au nord une répartition homologue de celle qu'elles avaient au sud.

C'est ainsi que les *Alestes baremoze* ont exactement la même répartition qu'au sud : absents des eaux libres, on trouve les adultes dans les zones d'îlots bancs et les jeunes et adultes dans l'Archipel nord-est (st. 18 à 23). Les densités sont particulièrement élevées : p.u.e. entre 5,74 et 9,45 kg (FM 25 à 35) aux stations 20 à 22. Les *Tilapia* semblent aussi très

TABLEAU XXI

Prises par unité d'effort (décagrammes/100 m²/nuit) pour les principales espèces pêchées dans les Eaux Libres du sud-est (st. 4 et 5, 1970)

FM	10	12	14	16	18	22	25	30	35	40	50	60	80	100
<i>Hyperopisus bebe</i>						1	1	5	4	10	44	4		
<i>Pollimyrus isidori</i>	1	2	8	*										
<i>Hydrocyon forskalii</i>	*	4	15	44	94	146	155	161	84	39	69	19		5
<i>Hydrocyon brevis</i>				*	*	1	4	8	4	7	5	55	54	25
<i>Alestes baremoze</i>	3	23	4	14	7	11	43	39	44	15	*			
<i>Citharinus citharus</i>		*	*	*	1	*		*						60
<i>Citharinus distichodoides</i>				*	*	*	*					1	12	44
<i>Distichodus rostratus</i>	2	13	22	16	10	6	10	1	1		1	22	65	17
<i>Labeo senegalensis</i>	*	12	14	17	4	1	4	1	2		34	29		
<i>Labeo coubie</i>	*	*		*	*	*					12	26	26	48
<i>Bagrus bayad</i>				*	*	4					10	9	12	39
<i>Schilbe mystus</i>	3	1	4	2	14	18	10	125	165	72	125	4	*	
<i>Eutropius niloticus</i>	12	9	74	21	53	63	55	95	54	80	13			
<i>Synodontis batensoda</i>	1	*	4	1	3	3	2	3	4	14	14	37	1	*
<i>Synodontis membranaceus</i>		3	4	2	5	*	8	6		7	14	35	75	12
<i>Synodontis clarias</i>	*	8	4	5	7	12	9	7	8	4	15	6	1	
<i>Synodontis schall</i>	2	2	3	5	8	14	7	9	12	10	51	12	*	2
<i>Lates niloticus</i>				*				1	4	2	73	58	142	192
Divers.....	2	5	5	12	10	15	10	7	9	12	16	14	60	84
Total.....	26	79	161	137	216	312	319	468	395	272	496	343	480	526
N.....	1508	1529	4976	1368	3130	2025	810	1544	1084	441	575	190	107	74
f.....	21	12	20	11	20	20	12	21	20	19	21	21	19	19

TABLEAU XXII

Prise par unité d'effort (décagrammes/100 m²/nuit) pour les principales espèces pêchées à Bol (st. 1 ; Archipel sud-est) de 1966 à 1969

FM	10	15	20	25	30	35	50
<i>Hyperopisus bebe</i>	*			2	4	4	28
<i>Marcusenius cyprinoides</i>			*	12	6	3	*
<i>Petrocephalus bane</i>		1	4	37	22	*	
<i>Hydrocyon forskalii</i>	2	6	37	57	80	49	50
<i>Hydrocyon brevis</i>					5	3	16
<i>Alestes denlex</i>		3	19	13	16	*	1
<i>Alestes baremoze</i>	15	36	93	203	302	14	1
<i>Distichodus rostratus</i>	4	2	3	7	7	14	35
<i>Labeo senegalensis</i>	1	*	1	1	2	6	13
<i>Chrysichthys auratus</i>	*		4	14	3	4	
<i>Schilbe mystus</i>	1	1	8	16	18	26	1
<i>Eutropius niloticus</i>	30	161	93	51	30	10	*
<i>Synodontis batensoda</i>	*	6	60	17	22	83	2
<i>Synodontis frontosus</i>	1	*	3	11	14	60	33
<i>Synodontis schall</i>			3	15	3	32	15
<i>Lates niloticus</i>	1		1	26	7	22	47
<i>Polypterus bichir</i>				5		14	42
Divers.....	5	2	3	25	8	15	28
Total.....	60	218	332	512	549	359	312
N.....	3913	4188	2748	2975	5299	909	515
f.....	28	15	16	24	55	16	34

abondants dans toutes les zones d'îlots-bancs et d'archipel, ainsi qu'*Heterotis niloticus*. Enfin, *Synodontis frontosus*, moins commun, semble lui aussi plutôt pêché dans ces régions abritées.

Plusieurs espèces semblent avoir une répartition différente au nord. Tout d'abord, *Synodontis membranaceus*, qui est totalement absent au nord. Ensuite, *Synodontis batensoda* qui est trouvé dans le sud de la région nord, sans y être très abondant, et qui est pratiquement absent plus au nord. Le cas des *Schilbe mystus* est analogue : abondants aux deux stations d'îlots-bancs (15 et 16), rares dans les eaux libres (st. 17 et 25) et totalement absents des stations 18 à 24. Enfin, c'est aussi le cas de plusieurs espèces de *Mormyridae* : *Pollimyrus isidori* abondante aux stations 15 et 16, absente de 18 à 25, *Petrocephalus bane*, *Marcusenius cyprinoïdes*, *Hyperopisus bebe*.

4.2.3. Analyse multifactorielle de certaines pêches (FM 30).

L'analyse multifactorielle (analyse des correspondances) a été utilisée pour essayer de dégager les analogies et les différences éventuelles entre relevés en fonction des effectifs spécifiques (DURAND, 1972).

Cette analyse n'a été réalisée que pour les pêches effectuées à l'aide du FM 30, engin pour lequel les observations sont les plus nombreuses. Deux séries distinctes de relevés ont été analysées, les pêches du C.T.F.T. (1966) d'une part, celles de l'O.R.S.T.O.M. (1966 à 1971) d'autre part.

Les relevés du C.T.F.T. ont eu lieu en six stations de la cuvette sud (st. 2, 3, 6, 7, 8 et 9 ; fig. 31) et concernent un cycle annuel complet.

Ces 6 stations peuvent se regrouper en 3 paires : les stations 2 et 3, à dominance d'*Alestes* ; les stations 6

et 9 où *Schilbeidae* sont les plus abondants et où il y a des fluctuations importantes au cours du cycle annuel ; les stations 7 et 8 où il y a peu de *Schilbeidae* et où dominent alternativement *Alestes* ou *Hydrocyon*. Deux faits intéressants se dégagent : les distinctions opérées correspondent au paysage (fig. 31), archipel (st. 2 et 3), eaux libres et îlots-bancs (st. 6 et 9), rivage sud-est (st. 7 et 8). Par ailleurs, les variations saisonnières peuvent être très nettes, en relation avec le comportement migratoire de certaines espèces (cas des *Alestes*).

L'analyse des pêches O.R.S.T.O.M. permet d'étendre les conclusions sur le rôle du paysage à l'ensemble du lac puisque des peuplements proches sont associés à des paysages identiques. Par ailleurs la côte sud du lac (st. 10) semble avoir une position originale par rapport à toutes les autres stations. En plus des facteurs saisonniers, cette seconde analyse fait apparaître des variations interannuelles dont nous verrons plus loin qu'elles constituent une des caractéristiques fondamentales du lac Tchad.

En conclusion, l'analyse factorielle, confirme pour les espèces de taille moyenne, la description faite précédemment.

4.3. RICHESSE DES PEUPELEMENTS.

Le nombre d'espèces pêchées dans un filet ou une série de filets donnés est un paramètre intéressant. Pour que la comparaison des observations soit possible, il faut que les efforts de pêche soient du même ordre. De ce point de vue les données recueillies en janvier 1971 dans le nord du lac et en mai 1971 dans l'Archipel sud-est et est sont utilisables (tabl. XXIII et fig. 32).

TABLEAU XXIII

Nombres d'espèces capturées (janvier et mai 1971)

Stations	Nord du lac									Archipel sud-est				
	15	16	17	20	20 (1)	21	22	23	24	26	27	28	29	30
FM 10-12.....	6	11	4	4	4	5	4	5	7	10	10	9	8	7
FM 14-15-16.....	11	11		7	5	7	6	4	9	19	12	16	12	8
FM 18-22.....	12	15	6	4	4	5	5	2	3	17	17	17	14	7
FM 25-30-35.....	12	15	7	6	5	6	5	3	7	19	15	24	16	13
FM 40-50-60.....	11	9	10	4	7	7	8	8	9	15	21	15	15	8
FM 10 à 60.....	22	21	17	9	11	12	11	14	14	33	30	31	23	17

(1) Deux nuits de pêche à la station 20.

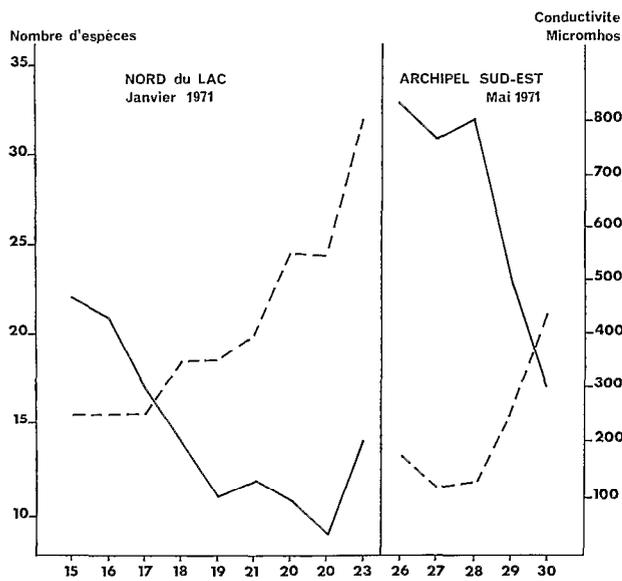


Fig. 32. — Poissons : nombres d'espèces capturées par nuit de pêche dans l'ensemble des FM utilisés (10 à 130), trait plein. Les stations sont rangées par ordre de conductivité croissante (tirets).

On s'aperçoit qu'il y a des variations importantes à l'intérieur de chaque série de données, tant pour la batterie complète de filets que pour chaque type de maille. Dans l'Archipel sud-est, les stations 26, 27 et 28 sont d'une richesse comparable, de l'ordre de 30 espèces capturées en une nuit de pêche. 23 espèces seulement constituent les prises de la station 29 ; la st. 30 est de loin la plus pauvre, 17 espèces seulement, soit à peine un peu plus de la moitié du nombre d'espèces capturées à la station 26. Alors que cette dernière est située dans les îlots-bancs, les stations 27 et 28, d'une richesse comparable, sont des stations d'archipel comme les stations 29 et 30. Le type de paysage ne semble donc pas le facteur important ici. Par contre, si l'on examine les valeurs de la conductivité (fig. 32), on s'aperçoit que les stations 26 à 28 ont les conductivités les plus basses : 120 à 180 μmhos ; la station 29, 240 ; la station 30, 450. Il semble donc y avoir relation entre la pauvreté spécifique croissante d'ouest en est et l'augmentation de la conductivité.

Dans le nord du lac, les 3 stations méridionales (15 à 17) sont nettement plus riches que toutes les autres : plus de 20 espèces ont été pêchées en moyenne (le nombre d'espèces de la station 17 est

sous-estimé, tous les FM à petite maille n'ayant pas pêché) alors que les autres stations sont pauvres ou très pauvres (14 à 9 espèces). Là aussi, les stations les plus riches sont celles où la conductivité est la moins élevée. Parmi les stations où la conductivité est supérieure ou égale à 350 micro-mhos, celles de l'Archipel nord-est sont les plus pauvres (st. 20). On peut remarquer ici que l'influence de la conductivité paraît particulièrement importante pour plusieurs espèces de la famille des Mormyridae que l'on ne retrouve plus, à l'exception de rares adultes de grande taille, quand la conductivité dépasse 300 à 400 μmhos . Ceci est vrai quel que soit le type de paysage (Eaux Libres du nord ou Archipel est).

Les nombres d'espèces capturées dans l'Archipel sud-est et dans le nord du lac ne peuvent être directement comparés, l'effort de pêche ayant été double dans cette dernière région. En fait, ceci ne fait qu'accentuer les différences constatées puisque l'Archipel sud-est et est est beaucoup plus riche que la région nord dans son ensemble. A l'intérieur d'un même paysage, les écarts restent importants : on a trouvé pour l'Archipel sud-est et est 17 à 31 espèces, contre 9 à 12 au nord-est ; en ce concerne les îlots-bancs : 34 espèces au sud-est, 21 et 22 au nord. L'écart moins grand entre les stations d'îlots-bancs s'explique par les conductivités, qui sont en général inférieures à celles des régions voisines d'archipel.

Si l'on considère les autres stations de la cuvette sud où le tri systématique a été complet, on s'aperçoit qu'il y a des variations qui ne semblent pas devoir être reliées à la conductivité, faible dans tous les cas : de l'ordre de 150 μmhos à la station 1, inférieures à 100 μmhos aux stations 4, 5 et 10. Contrairement aux échantillonnages précédents, les données sont plus difficilement comparables, mais, globalement, la côte sud est beaucoup plus riche avec 62 espèces capturées au total. Par ailleurs, l'Archipel sud-est (st. 1) est plus riche que les Eaux Libres du sud-est (st. 4 et 5).

4.4. ZONATION ICHTYOLOGIQUE.

Nous commencerons par la région au sud et à l'est de la Grande Barrière. On peut y faire 3 divisions (fig. 33) : eaux libres, archipel, côte sud (1).

Les eaux libres (EL 1) correspondent strictement aux Eaux Libres du sud-est puisque aucune donnée n'existe pour les Eaux Libres du sud. La seule espèce assez nettement inféodée à cette région est *Schilbe mystus*, accompagnée de quelques espèces de grande taille : *Citharinus citharus* et *C. distichodoides*, *Labeo*

(1) Les divisions proposées sont symbolisées par l'initiale de paysage, suivie, le cas échéant, d'un indice.

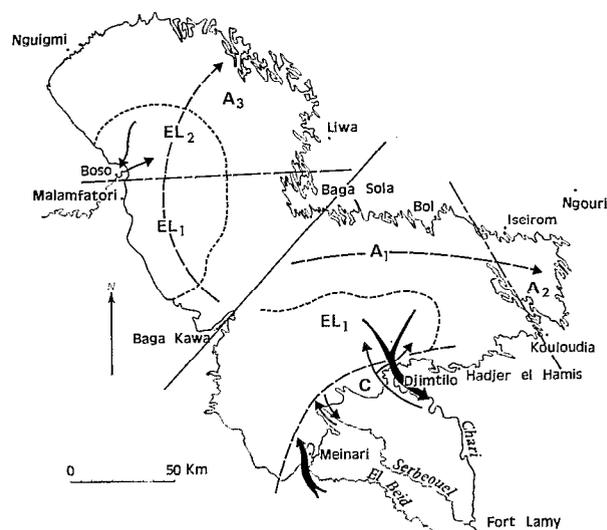


Fig. 33. — Schéma de zonation ichtyologique. Les flèches en trait plein correspondent aux diverses migrations observées ; celles en tirets au sens d'appauvrissement des peuplements.

coubie. Parmi les autres espèces de taille moyenne, seule *Synodontis clarias* paraît plus commune que dans les autres régions. Globalement, les poissons de grande taille semblent relativement plus abondants, ceux de petite taille plus rares. Enfin, le nombre total d'espèces pêchées est plus faible que dans le reste de la région sud.

L'Archipel sud-est et la côte sud ont en commun un certain nombre d'espèces rares dans les eaux libres : *Petrocephalus bane*, *Marcusenius cyprinoides*, *Chrysichthys auratus*. Ceci est probablement dû au caractère d'abri de ces zones, par opposition aux eaux libres.

La zone A1 correspond à l'Archipel sud-est (fig. 2). Cette région est caractérisée par la présence d'*Alestes baremoze* et *A. dentex*, *Synodontis frontosus* et *S. batensoda* parmi les espèces de taille moyenne ; *Heterotis niloticus* et *Tilapia spp.* parmi celles de grande taille. On peut sans doute séparer l'Archipel est (A 2) de A 1 car le nombre d'espèces y est nettement plus faible et les *Mormyridae* en sont pratiquement absents.

La faune de la côte sud du lac (C) semble la plus variée : 62 espèces pêchées à la station 10. Parmi celles-ci, deux formes jeunes, *Schilbe mystus* et *Hyperopisus bebe* semblent caractéristiques, de même que quatre adultes : *Ichthyborus besse*, *Siluranodon auritus*, *Polypterus bichir* et *P. senegalus*. L'originalité de cette zone est probablement due au contact avec le système fluvial qui intervient de deux façons : c'est le lieu de passage obligatoire de

espèces fluviolacustres en migration ; par ailleurs, certains éléments de la faune fluviatile peuvent être pêchés dans la zone deltaïque au sens large (Chari, El Beïd, Serbeouel). Enfin, il est probable que des données plus fournies permettraient de faire des distinctions entre certains secteurs de la côte sud.

Au nord de la Grande Barrière, il semble qu'il y ait tout d'abord un secteur méridional (EL 1) proche des Eaux Libres du sud-est. Mais tout le reste de la cuvette nord diffère de la région sud car certaines espèces ne s'y rencontrent plus et les peuplements présentent de moins en moins d'espèces en allant vers le nord-est (fig. 33). C'est ainsi qu'au nord d'une ligne reliant très approximativement Malamfatori et Baga-Sola, on ne retrouve plus de *Schilbe mystus*, ni plusieurs espèces de *Mormyridae* (*Pollimyrus isidori*, *Petrocephalus bane*, *Marcusenius cyprinoides...*), ni *Synodontis batensoda* et *S. membranaceus*. Cette dernière espèce semble pratiquement absente de la région nord ce qui pourrait être l'indice (de même que la relative rareté des *H. brevis*, alors qu'ils sont très communs au sud) de différences globales entre les cuvettes nord et sud.

Au nord de cette ligne Malamfatori-Baga Sola, nous pouvons distinguer deux zones : une d'eaux libres (EL 2) pour laquelle nous avons peu d'observations mais qui doit être globalement plus pauvre en espèces que les autres zones d'eaux libres ; une zone d'archipel A 3, très appauvrie où la densité d'*Alestes baremoze* reste considérable. Cette dernière pourrait peut-être se subdiviser elle-même en deux car on rencontre nettement plus d'espèces au sud qu'au nord.

III. VARIATIONS INTERANNUELLES

D'après ce que l'on vient de voir, le lac Tchad est un écosystème très hétérogène où de multiples distinctions doivent être faites entre les peuplements. C'est de plus un écosystème instable où la mosaïque des biotopes peut se modifier d'une année sur l'autre, en fonction de l'évolution du niveau du lac. En effet en raison de la morphologie du lac Tchad et de son coefficient de renouvellement très élevé (en moyenne, le volume est égal à 1,5 fois les apports annuels) le niveau dépend étroitement des apports, qu'ils soient déficitaires ou excédentaires. Les observations faites depuis le début du siècle montrent que des successions de crues faibles ou de crues fortes entraînent de très grandes modifications du volume, et partant, de la surface lacustre.

Les recherches hydrobiologiques sont en cours depuis 1965, époque à laquelle le lac était encore

proche de son niveau le plus élevé depuis le début du siècle (1963). Ce niveau correspondait à une surface totale de 25 000 km². Depuis dix ans les crues ont été pour la plupart déficitaires et le lac a constamment baissé : au total, 2,50 m séparent les niveaux de janvier 1965 et de janvier 1972 (fig. 5). A cette dernière date, la surface du lac était d'environ 19 000 km².

Toutes nos observations concernent donc des milieux en constante évolution, tant du point de vue physico-chimique que d'un point de vue biologique. Il était donc prévisible que des relevés effectués lors de cycles annuels différents ne donnent pas des résultats identiques. On n'a pu, faute de données suffisamment étoffées, caractériser systématiquement cette évolution. Mais plusieurs exemples sont très explicites à cet égard. On rappellera pour mémoire, les résultats évoqués au chapitre II.3.3. concernant les insectes aquatiques. La répartition des Chironomides en mars 1971 est nettement différente de celle de mars 1970 et l'on a l'impression qu'il s'est opéré une sorte de translation des peuplements dans le sens du déplacement des grandes masses d'eaux. Cet exemple n'est cependant pas des plus probants étant donné les difficultés posées par la dissémination des insectes aquatiques. Les exemples les plus nets peuvent être fournis par les Macrophytes, le zooplancton, les Mollusques et les Poissons.

1. Macrophytes.

À l'échelle interannuelle, les variations du plan d'eau se traduisent par de profonds bouleversements dans l'aspect de la végétation phanérogamique. Les observations effectuées depuis 1965 ont en effet montré que les peuplements végétaux avaient évolué parallèlement à la baisse du lac. C'est ainsi que les Ambachs (*Aeschynomene elaphroxylon*) qui avaient complètement disparu à la suite des crues de 1961, ont commencé à faire leur réapparition en 1969 un peu partout dans l'archipel. Inversement, les *Cyperus papyrus* qui étaient abondants en 1965 dans la cuvette sud ont fortement régressé depuis et sont devenus rares. La diminution de la profondeur a permis également l'installation dans les zones abritées des archipels, d'importants herbiers à *Potamogeton*, alors que ces derniers étaient surtout localisés il y a quelques années dans la zone d'îlots-bancs située à l'est du delta du Chari. De même, les *Typha*, sporadiques auparavant, et qui exigent une eau peu profonde pour s'installer, se sont largement développés au bord des îles.

D'une manière générale, la baisse du niveau du lac entraîne une augmentation de la surface occupée par les herbiers immergés et par les roselières. Ces

dernières, constituées surtout par des *Phragmites*, s'installent très rapidement dans les zones exondées ou peu profondes. Inversement, une élévation du niveau conduit à la disparition des herbiers et à la fragmentation des roselières qui donnent alors naissance à des îles flottantes ou « kirtas ». Celles-ci se disséminent au gré des vents et viennent s'échouer le long des rives où, se désagréant lentement, leurs débris finissent par sédimenter.

2. Zooplancton.

L'évolution pluriannuelle du peuplement de zooplancton dans la région plus stable et mieux connue de l'Archipel sud-est et est, montre que celui-ci s'est peu modifié dans sa structure spécifique. Le seul changement significatif réside dans le remplacement, comme espèce dominante parmi les *Daphnia*, de *D. longispina* abondante en 1964-1965, par *D. barbata*. Par contre, la variation de la biomasse depuis 1964-1965 semble proportionnelle à la profondeur d'eau (fig. 34). En effet, compte tenu des

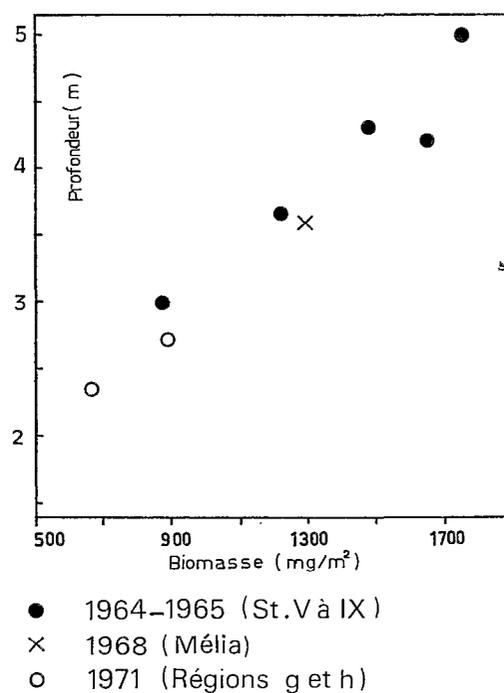


Fig. 34. — Évolution interannuelle de la biomasse de zooplancton (sauf nauplies et rotifères) en fonction de la profondeur.

variations saisonnières possibles, la densité est restée stable dans toute cette région depuis 1964 : elle était de 340 mg en 1964-1965 pour 5 stations, de 360 mg à

l'île de Mélia en mars-avril 1968, de 290 mg/m³ (régions g et h) en moyenne en février-mars 1971. Donc en sept ans, pour une baisse du niveau du lac de l'ordre de 2 mètres, la biomasse est passée de 14 kg/ha à 7,5 kg/ha.

Il y a certainement eu une diminution parallèle du stock des espèces de poissons zooplanctophages, indépendamment du remplacement probable de certaines de ces espèces par d'autres, mieux adaptées aux conditions actuelles.

Dans la mesure où ce phénomène de stabilité pluriannuelle de la densité caractérise également la cuvette nord, il revêt une grande importance, en modifiant en fonction du niveau du lac la répartition du stock de zooplancton entre ces deux zones. En effet, si nous prenons à titre d'exemple la densité moyenne observée en 1971 dans la cuvette nord (240 mg/m³), les valeurs des biomasses y étaient identiques en 1964-1965 pour une cote du lac de 283 m : 14 kg/ha (valeur observée dans l'Archipel de la cuvette sud, valeur calculée dans la cuvette nord). Rappelons que les valeurs de biomasse dans ces deux zones étaient en février-mars 1971 de 7,5 kg dans l'Archipel est et sud-est et de 11,5 kg dans la cuvette nord.

3. Mollusques.

L'évolution des peuplements de mollusques benthiques a pu être suivie depuis 4 à 5 ans dans la zone de Bol (Archipel sud-est) et dans certains autres biotopes du lac.

3.1. ARCHIPEL SUD-EST.

La zone de Bol, d'étendue restreinte, peut être considérée comme représentative des peuplements en

mollusques benthiques de l'Archipel sud-est. Une première étude des peuplements en fonction de la nature des fonds a été réalisée en janvier 1967 (DUPONT et LÉVÊQUE, 1968) et des observations complémentaires ont été faites en janvier 1970 (LÉVÊQUE, 1972 ; DEJOUX, LAUZANNE et LÉVÊQUE, 1972) et février 1972. En outre, la dynamique des populations a été suivie durant deux ans et demi dans trois stations de cette région (LÉVÊQUE, 1972). Les peuplements moyens par relevé (0,54 m²) et par type de fond, calculés pour 1967, 1970, et 1972, mettent en évidence une évolution importante entre 1967 et 1970 (tableau XXIV).

Sur le plan qualitatif, les *Cleopatra* qui étaient l'espèce dominante des peuplements des vases en 1967, ont été supplantés par les *Melania* en 1970, et cette dernière espèce est toujours dominante en 1972. L'évolution de la structure du peuplement de la vase, a pu être suivie par des relevés périodiques effectués entre 1968 et 1970 dans une station située sur ce type de fond (LÉVÊQUE, 1972). Cette évolution est probablement à mettre en relation avec la baisse concomitante du niveau du lac. La diminution de la profondeur entraîne en effet une agitation plus importante au niveau du fond et la remise en suspension partielle du sédiment superficiel dont la teneur en eau augmente. A la limite, il peut exister une couche de boue très fluide à l'interface eau-sédiment. Les *Melania*, dont la coquille allongée présente de nombreuses aspérités serait, dans certaines limites tout au moins, mieux adaptés que les *Cleopatra* de forme globuleuse pour vivre dans des sédiments assez fluides et pour s'y développer en l'absence de toute concurrence. Cette hypothèse permettrait d'expliquer le remplacement des *Cleopatra* par les *Melania* entre 1967 et 1970 sur les fonds de vase. La structure des peuplements de la tourbe a pu

TABLEAU XXIV

Densité moyenne de chaque espèce de mollusques benthiques par relevé (0,54 m²) et par type de fond dans la zone de Bol (Archipel sud-est) en 1967, 1970 et 1972

Type de fond	Vase			Tourbe			Argile granulaire			Argile molle			
	année	1967	1970	1971	1967	1970	1971	1967	1970	1972	1967	1970	1972
genres													
<i>Melania</i>	0,3	10,0	1,0	2,4	3,5	1,8	0,5	0,6	0,2	1,0	0,2	0	
<i>Cleopatra</i>	3,6	1,7	0	18,8	13,4	3,2	18,6	120,1	0,8	60,8	26,0	0	
<i>Bellamya</i>	0,6	0,3	0,1	2,6	0,1	0,2	7,4	1,4	0,3	1,6	0,4	0	
<i>Corbicula</i>	0,3	0,5	0,1	0,2	0,2	1,8	31,2	0,3	0,9	33,2	2,9	0,2	
<i>Caelatura</i>	0	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	2,0	1,7	1,7	5,5	0,9	0,1	
<i>Byssanodonta</i>	0,1	0	0	0	0	0	48,6	6,1	0	8,4	0	0	
<i>Pisidium</i>	0	0	0	0	0	0,3	1,5	0	0	2,9	0	0	

changé de 1967 à 1972. Par contre, sur l'argile granulaire, les *Byssanodonta* et à un moindre degré les *Corbicula* étaient numériquement dominants en 1967, alors qu'en 1970 leur effectif a diminué et que *Cleopatra* est l'espèce principale des peuplements.

Sur le plan quantitatif il y a une diminution spectaculaire de la densité de toutes les espèces sur tous les fonds en 1972. Bien qu'on ne puisse actuellement le démontrer avec certitude, il est vraisemblable que ce phénomène est à mettre lui aussi en relation avec la baisse du lac. On observe d'ailleurs depuis 1967 une diminution progressive de la densité de beaucoup d'espèces et en particulier des Lamelli-branches *Corbicula* et *Caelatura* sur les fonds d'argile. Mais c'est également le cas pour les Prosobranches *Bellamya* et *Cleopatra* (à l'exception des fonds d'argile granulaire pour ces derniers). Les petits Lamelli-branches, *Pisidium* et *Byssanodonta*, abondants sur les fonds d'argile en 1967, avaient quant à eux déjà pratiquement disparu en 1970.

3.2. ENSEMBLE DU LAC.

Deux missions ont été effectuées sur le lac en avril 1968 et mars-avril 1970, au cours desquelles les principaux biotopes ont été prospectés. A deux ans d'intervalle, les peuplements avaient généralement peu changé (LÉVÊQUE, 1972). On a cependant noté en 1970 une forte augmentation de la densité des *Bellamya* dans les Eaux Libres du nord par rapport à 1968. En outre, le remplacement des *Cleopatra* par les *Melania* sur les fonds de vase, constaté dans la région de Bol n'était pas limité à cette zone mais affectait une grande partie de l'Archipel et des Îlots-Bancs du sud-est en 1970.

Quelques résultats fragmentaires seulement ont pu être obtenus en avril 1972 en raison des difficultés de navigation, et ils concernent des biotopes de la cuvette sud, le pseudo-sable et l'argile bleue qui appartiennent tous deux aux Eaux Libres du sud-est. En comparant les relevés moyens de 1968, 1970 et 1972, on constate que le peuplement du pseudo-sable a peu évolué en quatre ans, tant du point de vue structure que du point de vue densité (tableau XXV). Pour l'argile bleue, la structure du peuplement est restée la même de 1968 à 1972 avec une dominance des *Cleopatra* mais on note cependant une forte diminution de la densité en 1972 par rapport à 1968 et 1970. La diminution des effectifs en 1972 dans ce biotope est à rapprocher de celle observée dans l'archipel sud-est qui lui est contigu.

TABLEAU XXV

Densité moyenne des différentes espèces par relevé (0,54 m²) sur les fonds de pseudo-sable et d'argile bleue des Eaux Libres du sud-est en 1968, 1970 et 1972

biotope	pseudo-sable			argile bleue		
	année					
genres	1968	1970	1972	1968	1970	1972
<i>Melania</i>	97,5	68,0	75,2	10,0	18,8	0,7
<i>Cleopatra</i>	55,4	41,2	42,0	35,0	34,4	6,0
<i>Bellamya</i>	0,2	0,3	0	0,1	0,5	0
<i>Corbicula</i>	42,9	39,5	29,2	1,9	6,0	0,7
<i>Caelatura</i>	0,6	1,2	0,8	0,9	1,6	0,3

3.3. CONCLUSIONS.

La baisse du lac, de manière directe ou indirecte, a vraisemblablement une forte influence sur l'évolution des peuplements en mollusques benthiques. Plus la profondeur est faible, et plus l'influence des vagues se fait sentir au niveau des fonds. Les substrats meubles tels que la vase sont les plus affectés. L'agitation des eaux entraîne en effet une remise en suspension du substrat qui ne peut plus sédimenter normalement. Il en résulte de profonds bouleversements dans les peuplements. L'influence de la baisse du niveau est cependant moins sensible sur les fonds de sable ou de pseudo-sable. Ceux-ci sont en effet du point de vue granulométrique constitués par des particules plus lourdes et plus grosses et leur teneur en éléments fins (argile ou limons) est généralement faible. Il en résulte que la couche superficielle du sédiment est moins remaniée que dans le cas de la vase par exemple, et que les peuplements conservent une certaine stabilité.

Un programme à long terme, actuellement en cours de réalisation, devrait permettre grâce à des observations périodiques dans des biotopes bien connus, de mieux comprendre l'influence des variations du niveau du lac sur la dynamique des peuplements en mollusques benthiques.

4. Poissons.

Les modifications constatées sont de deux ordres : variation de la densité de certaines espèces d'une part, et variation de l'ensemble des captures d'autre part. Parmi les observations faites de 1963 à 1971, deux exemples peuvent être donnés.

4.1. PÊCHERIE DU NORD DU LAC.

Des observations ont été faites dans les eaux libres, 8 km à l'est de Malamfatori (station 12, fig. 31) depuis 1963 (tabl. XXVI et fig. 35) (HOPSON, 1964, 1967, 1968 ; TOBOR, 1969, 1970). Les prises par unité d'effort indiquées concernent des filets à grandes mailles, généralement FM 90 et 95.

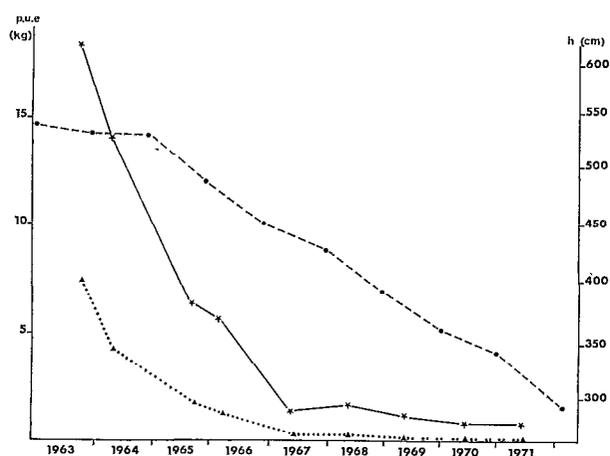


Fig. 35. — Poissons : prises moyennes par unité d'effort (kg) du FM 90 dans les Eaux Libres du nord de 1963 à 1971. p.u.e. totale, trait plein ; p.u.e. en *Labeo coubie*, pointillé. La hauteur du plan d'eau (tirets) est donnée par rapport à l'échelle de Bol (h, cm).

On peut penser que l'effort de pêche a commencé à se développer réellement peu de temps avant les premières pêches expérimentales. Celles-ci se sont donc exercées aux dépens de stocks pratiquement vierges en 1963 et 1964 et les prises par unité d'effort sont très élevées pour ces périodes. Elles sont déjà très inférieures en 1965 et 1966 et atteignent 1,36 kg en 1967. Depuis, les valeurs moyennes annuelles restent de l'ordre de 1 kg/100 m²/nuit pour ce type de filet. On a donc très nettement (fig. 35) deux phénomènes successifs : baisse rapide jusqu'en 1966, stabilité relative depuis 1967, avec peut-être une nouvelle baisse depuis 1970. Il est tout à fait normal que les rendements unitaires diminuent dans une pêcherie en expansion où l'effort total de pêche augmente très vite. Mais il est plus surprenant de constater que cette diminution conduit à des rendements inférieurs de dix fois à ceux du début. On peut avancer sans trop de risques l'hypothèse que la cuvette nord, dans son ensemble, est surexploitée, tout au moins en ce qui concerne les gammes de taille des principales espèces susceptibles d'être pêchées dans les filets de 90 à 100 mm. Des observations récentes montrent d'ailleurs que les mailles employées dans les pêcheries locales ont tendance à être de plus en plus petites.

Toutes les espèces importantes ont bien entendu été affectées par la baisse des rendements, mais les proportions relatives des principales espèces capturées se sont également modifiées. Le cas des *Labeo coubie* est particulièrement significatif. Cette espèce

TABLEAU XXVI

Prise par unité d'effort (p.u.e.) totale et p.u.e. de *Labeo coubie* au FM 90 et 95 dans les Eaux Libres du nord (stations 12 et 13)

Année	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971
<i>Labeo coubie</i> p.u.e.....	7,35	4,27	1,72	1,20	0,10	0,09	0,04	0,01	0,01
Totale.....	18,30	14,02	6,20	5,53	1,36	1,67	1,24	0,66	0,7
% de <i>Labeo coubie</i>	40,2	30,4	27,7	21,7	7,4	5,4	3,2	1,5	1,4
Nombre de nuits de pêche..	47	12	82	104	183	1000	1000	1000	1000

dominait dans les pêches de 1963 en même temps que les *Lates niloticus*, alors qu'elle ne joue plus qu'un rôle négligeable depuis 1967 (tabl. XXVI et fig. 35) (les % pour 1968 et 1969 sont en fait surestimés car il s'agit des valeurs pour deux espèces réunies : *Labeo senegalensis* et *L. coubie*). Il ne semble pas cependant que la baisse du niveau du lac puisse être invoquée pour expliquer la diminution des *L. coubie* dans les pêches. En effet, la baisse des

p.u.e. commence très tôt chez cette espèce, alors que le niveau du plan d'eau ne s'est pas sensiblement modifié. Il s'agit donc ici d'un stock limité aux Eaux Libres du nord, de faible importance, et qui a été soumis à une surexploitation telle qu'il a pratiquement disparu. On peut d'ailleurs remarquer que cette espèce était caractéristique du nord du lac puisqu'elle n'est jamais importante dans les pêches effectuées au sud et à l'est.

4.2. ALESTES BAREMOZE DE L'ARCHIPEL SUD-EST.

Les adultes de cette espèce sont capturés dans des filets maillants à maille de 30 mm en moyenne. La comparaison des valeurs saisonnières pour les *A. baremoze* de l'Archipel sud-est (station 1) montre que les prises par unité d'effort et donc les densités de ces poissons accusent une baisse sensible entre 1966 et 1968 (fig. 36). Les résultats du C.T.F.T. en 1965 concernent la station 2 et les deux espèces d'*Alestes* : *A. baremoze* et *A. dentex*. Il est donc difficile de les relier à ceux de la station 1. Néanmoins, ils confirment cette évolution puisque les prises par unité d'effort sont supérieures à 15 kg en saison fraîche. Les observations ultérieures réalisées aux stations 1,29 et 30, et surtout à Lafia, station située à 20 km S.-S.E. de la station montrent que les adultes d'*A. baremoze* sont devenus rares en 1971 et 1972 dans l'Archipel est et sud-est. Par contre les jeunes restent très communs.

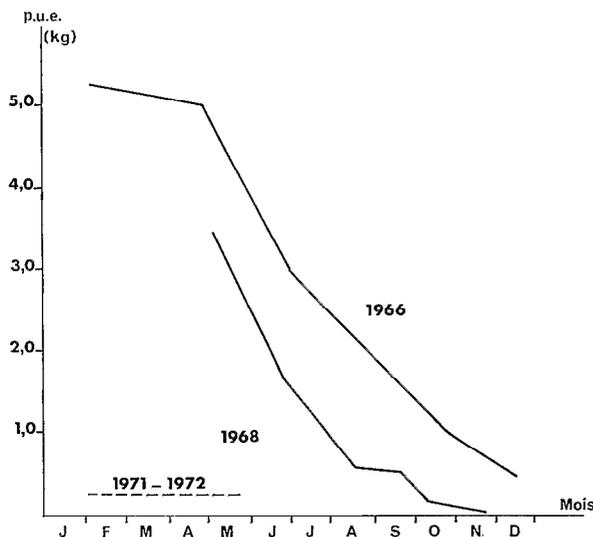


Fig. 36. — Poissons : prises par unité d'effort (kg) d'*Alestes baremoze* dans l'Archipel sud-est (st. 1, FM 30). Les tirets indiquent le niveau approximatif des p.u.e. en 1971 et 1972.

Les *A. baremoze* sont des migrateurs qui se reproduisent essentiellement dans les fleuves en amont de Fort-Lamy. C'est pendant cette migration anadrome qu'ils font l'objet d'une pêche intensive dans les biefs inférieurs des fleuves qu'ils rejoignent après avoir quitté l'archipel du lac. Or la raréfaction des

adultes de l'Archipel sud-est ne s'accompagne pas d'une baisse spectaculaire des rendements dans les pêcheries du fleuve (LOUBENS et FRANC, 1972) où la prise moyenne par unité d'effort (une heure de pêche pour 100 m² de filet dérivant) a été de 10,11 kg en juillet 1971 et 15,83 kg en août. Par ailleurs, une prospection rapide effectuée dans l'archipel nord-est a montré que les densités d'*A. baremoze* adultes étaient très fortes dans ces zones : prise par unité d'effort (100 m² de filet FM 30 dormant pendant une nuit) variant entre 5 et 10 kg suivant les stations, soit des valeurs du même ordre de grandeur que celles trouvées en 1965 et 1966 dans l'Archipel sud-est.

Contrairement au cas des *Labeo coubie*, on ne peut donc invoquer ici l'effort de pêche comme facteur de disparition des *A. baremoze* adultes dans l'Archipel sud-est. Il semble par contre vraisemblable que la baisse du lac ait entraîné un changement du comportement de ces poissons. Deux hypothèses peuvent être avancées : le stock de zooplancton disponible dans l'Archipel sud-est a nettement diminué proportionnellement au volume du lac (cf. III.2) et cette baisse est probablement moins sensible dans le nord ; par ailleurs la recherche des profondeurs plus élevées paraît vraisemblable pour les grands adultes, alors que les faibles profondeurs de l'Archipel sud-est généraient moins les jeunes. La première hypothèse paraît moins valable car elle ne rendrait pas compte de l'abondance des jeunes et jeunes adultes dans l'Archipel sud-est alors que les *A. baremoze* sont zooplanctophages dès leur plus jeune âge (LAUZANNE, 1971).

Ces deux exemples montrent que la zonation schématique établie pour les poissons peut être rapidement modifiée soit par l'intervention humaine dont la prédation intensive peut être décisive, soit par des variations de l'environnement comme la baisse du lac qui entraîne une diminution des profondeurs plus sensible au sud qu'au nord et une décroissance du volume d'eau qui retentit directement sur la production du lac Tchad. Il faut enfin signaler qu'il y a très probablement des remplacements d'espèces qui s'effectuent suivant des modalités encore inconnues. Par exemple, BLACHE (1964) signale que *Distichodus brevipinnis* était toujours plus fréquent que *D. rostratus*, lors de ses observations effectuées en 1954-1955, alors que dans les pêches réalisées depuis 1965, les individus de cette dernière espèce sont très communs dans tous les milieux et ceux de *D. brevipinnis* assez rares. Plus net encore est le cas des *Xenomystus nigri*, poissons de petite taille pour lesquels on ne peut guère invoquer une pêche intensive. En 1955, ils étaient très communs dans l'El Beïd où on ne les a jamais retrouvés depuis malgré des observations répétées (DURAND, 1970, 1971).

IV. ZONATION GÉNÉRALE

A partir des zonations établies pour chacun des groupes étudiés, on peut chercher à dégager les caractères généraux d'une zonation des organismes aquatiques du lac Tchad. A l'intérieur des zonations, nous essayons de dégager les traits généraux et les facteurs spécifiques en tenant compte de ce que l'on sait des relations trophiques.

Plusieurs remarques préliminaires s'imposent. Tout d'abord, les critères retenus pour séparer les principales régions du lac ne sont pas identiques d'un groupe à l'autre. Des différences qualitatives sont quelquefois invoquées (notion d'espèce caractéristique), dans d'autres cas au contraire, seules les variations quantitatives permettent de distinguer certaines zones (cas du zooplancton). Enfin, la zonation de certains groupes peut faire intervenir à la fois les points de vue qualitatif et quantitatif, c'est le cas du benthos, et, plus particulièrement, des mollusques. Une telle hétérogénéité méthodologique interdit de faire des comparaisons systématiques, on peut tout au plus faire le point des résultats concernant les biomasses des organismes de certains groupes. Il faut noter par ailleurs que la cartographie des résultats peut introduire à tort l'idée d'une certaine stabilité du schéma intra-annuel. Il n'en est rien, en fait, dans bien des cas. C'est ainsi que l'intensité des variations saisonnières sert de critère de définition des grandes zones zooplanctoniques (elles ont probablement aussi un rôle dans le cas du phytoplancton de la cuvette sud); que vers et insectes aquatiques présentent un cycle annuel très net, avec biomasses minimales en juillet; que les poissons enfin effectuent des mouvements annuels complexes, soit lacustres, soit fluvio-lacustres (1). De telles variations montrent que les zonations proposées correspondent généralement à des situations moyennes n'ayant pas d'équivalent instantané exact.

Enfin, le terme de facteur est utilisé de façon répétée: bien entendu, il n'est pas employé au sens causal. Il correspond à une relation observée entre, par exemple, les variations constatées d'un paramètre physico-chimique du milieu et celles de la densité de

tel ou tel type d'organismes. Par commodité, on parle encore de facteur pour désigner un phénomène (par exemple la crue) ou une caractéristique (par exemple le paysage) recouvrant un ensemble de facteurs qui n'ont pu être séparés. C'est ainsi que le paysage, invoqué plus loin, correspond par lui-même à plusieurs facteurs: abri, transparence, nourriture, nature des fonds, etc. De même, la crue du Chari représente des variations des apports en eau, mais aussi en débit solide, un courant accru... La baisse interannuelle du plan d'eau introduit des variations de plusieurs ordres: diminution de la profondeur, augmentation de la turbidité, diminution du volume disponible, accentuation des différences entre cuvettes nord et sud.

Les zonations proposées ne coïncident pas entièrement puisqu'elles ont été établies pour des groupes aussi différents que les macrophytes, le plancton, le benthos ou les poissons (2). Néanmoins elles correspondent, à un niveau assez général, puisque l'on trouve dans tous les cas l'opposition entre cuvettes nord et sud, de part et d'autre de la Grande Barrière. A un moindre degré, on peut souvent opposer les paysages: eaux libres d'une part, archipel et îlots-bancs d'autre part. Enfin, certaines distinctions n'intéressent qu'un ou quelques groupes particuliers, leur répartition étant alors manifestement sous la dépendance de facteurs précis tels que la conductivité ou la nature des fonds. Avant de conclure, on essaiera de voir si l'ichtyoprédation apparaît, à notre niveau actuel de connaissances, comme un facteur de répartition.

1. Opposition entre cuvettes nord et sud.

Ces deux ensembles s'opposent essentiellement à deux points de vue.

MORPHOLOGIE.

Les deux cuvettes sont très plates mais la cuvette nord est nettement plus profonde que la cuvette sud. A la cote 282, la profondeur moyenne dans la cuvette sud peut être estimée à 3,0 m alors qu'elle est d'environ 5,0 m dans la cuvette nord. Le lac se trouvait en janvier 1972 en-dessous de la cote 281 ce qui accuse encore les différences relatives de

(1) Pour nombre d'espèces telle *Alestes baremoze*, ayant des migrations anadromes de reproduction, les variations des peuplements ichtyologiques devraient inclure, en toute rigueur, les biefs inférieurs des fleuves.

(2) Pour cette raison, il n'est pas possible de présenter un schéma unique synthétisant la répartition de l'ensemble des organismes.

profondeur. C'est essentiellement par ses conséquences indirectes que cette différence se fait sentir : les vents sont fréquents et l'agitation des eaux entraîne la mise en suspension de la fraction fine du sédiment. Ce phénomène est beaucoup plus sensible dans la cuvette sud que dans la cuvette nord où la transparence est, par conséquent, plus élevée en moyenne.

PHYSICO-CHIMIE.

La cuvette sud reçoit directement l'essentiel des apports fluviaux. La cuvette nord, par contre, est alimentée, si l'on excepte l'apport médiocre de la Yobé (0,5 % du total), par l'intermédiaire de la cuvette sud, au niveau de la Grande Barrière. Ceci a deux conséquences essentielles :

(a) les conditions physico-chimiques de milieu différent notablement :

- La conductivité moyenne est plus élevée au nord, où elle est toujours supérieure à 200 μ mhos et peut dépasser 1 000 μ mhos. Dans la cuvette sud, elle est généralement inférieure à 200 μ mhos.
- Les eaux sont à dominante cationique calcique au sud alors qu'elles sont sodiques au nord.
- Le pH est moins élevé dans la cuvette sud (7 à 8) que dans le nord du lac (9 environ).

(b) A l'échelle annuelle, la cuvette sud est beaucoup plus instable, tout particulièrement dans les Eaux Libres du sud-est qui reçoivent le flot de crue du Chari. Les peuplements en subissent les conséquences et les variations saisonnières y sont très importantes. En schématisant à l'extrême, on peut dire que la cuvette nord s'identifie mieux au milieu lacustre proprement dit car son éloignement du système fluvial et son volume d'eau supérieur amortissent énormément l'impact de la crue. La stabilité supérieure du milieu au nord est d'ailleurs soulignée par les valeurs du coefficient de renouvellement annuel des eaux (tabl. I) : 40 % pour la cuvette nord, 85 % pour la cuvette sud. Cette dernière, quant à elle, oscille suivant les saisons entre une stabilité relative (étiage) et des changements rapides (crue) pendant lesquels elle constitue un milieu intermédiaire, dans une certaine mesure, entre fleuve et lac.

Bien entendu, de multiples corrections et additions peuvent être apportées à ce schéma. C'est ainsi que l'on aurait pu citer parmi les facteurs de différenciation des deux cuvettes la nature des fonds qui n'est pas strictement homologues au nord et au sud,

en particulier les fonds de pseudo-sable ne se trouvent qu'au sud, dans les Eaux Libres du sud et du sud-est pour la plus grande part. De même, on peut trouver un indice de différenciation climatique entre le nord et le sud du lac à partir de la pluviométrie : l'isohyète 500 mm est voisine du delta alors qu'aux confins de l'Archipel nord-est les précipitations annuelles ne sont plus que de l'ordre de 200 mm. Par ailleurs, les deux cuvettes sont loin de former deux ensembles homogènes : dans la cuvette sud par exemple, l'archipel constitue un milieu plus stable que les eaux libres. D'autre part, l'Archipel est (fig. 2) est assez proche du sud de l'Archipel nord-est d'après ses caractéristiques physiques et chimiques (moindre circulation des eaux, conductivité élevée).

Sur le plan biologique, les différences qualitatives observées entre les deux cuvettes peuvent se schématiser ainsi :

- *Phytoplankton*. Deux espèces semblent caractéristiques de la cuvette nord : *Closterium aciculare*, dominante dans les Eaux Libres et les Flots-Bancs du nord, abondante dans l'Archipel nord-est ; *Botryococcus braunii*, abondante dans l'ensemble de la cuvette. Ces espèces ne se retrouvent pas ou peu dans la cuvette sud où par contre des Diatomées, *Melosira granulata* et *Surirella pseudospinifera*, abondent.
- *Macrophytes*. Les *Cyperus papyrus* et les *Vossia cuspidata*, abondants dans l'est et le sud du lac, disparaissent presque complètement au nord de la Grande Barrière. Dans la cuvette nord, les *Phragmites australis* sont nettement dominants.
- *Mollusques*. *Bellamyia unicolor*, rare au sud et à l'est, est pondéralement dominant dans le nord.
- *Insectes*. *Cryptochironomus stilifer*, espèce caractéristique de la cuvette nord est absente au sud.
- *Poissons*. Malgré le peu d'observations effectuées, on peut penser que certaines espèces sont absentes ou très rares dans la cuvette nord, tout au moins dans sa moitié septentrionale : *Hydrocyon brevis*, *Synodontis membranaceus*, *Schilbe mystus* et la plupart des Mormyridae. Ainsi que nous l'avons vu précédemment (II. 4.3.) la richesse des peuplements ichthyologiques, en nombre d'espèces, est beaucoup plus élevée au sud qu'au nord (1).

(1) On entend par richesse des peuplements, le nombre d'espèces capturées, quels que soient les effectifs spécifiques.

On retrouve des caractéristiques analogues dans le cas des insectes aquatiques et il est possible que le phénomène soit plus général (cas du phytoplancton).

La présence d'espèces caractéristiques de l'une ou l'autre des cuvettes n'est pas le seul critère qui permette de les distinguer. En effet, il existe également de très nettes différences au point de vue quantitatif.

En ce qui concerne le benthos, on a vu (II.3) que la biomasse est généralement plus importante dans la cuvette nord (y compris la Grande Barrière et à l'exclusion de la zone la plus septentrionale); c'est le cas, en particulier, des insectes des écotopes benthique et sub-benthique ainsi que de l'ensemble des mollusques benthiques. Le phytoplancton est nettement moins dense dans la cuvette sud que dans la cuvette nord et la transparence étant plus grande dans cette dernière, il est probable que la production primaire y est plus importante que dans la cuvette sud.

Les densités de zooplancton par contre, à la fois plus fortes (archipel) et plus faibles (eaux libres) dans la cuvette sud ne permettent pas de faire la même distinction.

Néanmoins des variations saisonnières reliées à la crue du Chari affectent profondément une partie des peuplements de la cuvette sud ce qui, allié aux différences bathymétriques, explique que les stocks zooplanctoniques soient plus importants dans le nord du lac.

En ce qui concerne les poissons, il n'existe pas de données directement comparables. On peut simplement remarquer que les premières valeurs de prises par unité d'effort dans la cuvette nord (HOPSON, 1964) sont particulièrement élevées (jusqu'à 18kg/100 m²/nuit) et qu'elles doivent correspondre à des stocks vierges dont on peut penser qu'ils n'avaient pas leur équivalent au sud.

2. Opposition entre paysages.

Deux types de paysages se rencontrent, au nord comme au sud : archipel (îles et îlots-bancs) d'une part, eaux libres d'autre part. Cette division géographique se retrouve plus ou moins dans les zonations proposées pour certains groupes.

C'est ainsi que dans le cas du phytoplancton, les *Microcystis* spp. semblent dominants dans les zones d'îles, plus rares en eaux libres. Pour le zooplancton, le paysage n'intervient que dans la cuvette sud. En ce qui concerne le benthos, les zonations des vers et celle des insectes de l'écotope sub-benthique suivent assez bien les frontières entre paysages. C'est aussi

le cas des Mollusques et des Chironomides dans la cuvette sud, contrairement à la cuvette nord. Dans le cas des poissons, la distinction est particulièrement nette puisque certaines espèces (*Alestes baremoze*, *A. dentex*) sont inféodées aux milieux d'îles et d'îlots-bancs alors que d'autres sont plutôt pêchées dans les eaux libres (*Schilbe mystus*, *Synodontis clarias*). Rappelons enfin, pour mémoire, que les macrophytes sont absentes des eaux libres et que leur présence dans l'archipel et les îlots-bancs a évidemment des conséquences primordiales : faune et flore épiphytes, nature des fonds (milieux tourbeux), etc.

Il n'est pas possible de définir dans chaque cas les facteurs précis, recouverts par le terme « paysage » intervenant pour la répartition de tel ou tel type d'organismes. On peut néanmoins remarquer que le paysage joue un rôle équivalent dans les cuvettes nord et sud pour certains groupes : c'est le cas des vers, des insectes de l'écotope sub-benthique, des poissons. Par contre, pour le zooplancton, les Chironomides, et les mollusques la zonation ne correspond plus au paysage dans la cuvette nord. Ceci confirme les différences déjà soulignées précédemment (IV.1) : dans la cuvette nord, les peuplements ne subissent pas l'impact direct de la crue et les facteurs liés au paysage sont probablement reliés à des différences d'abri, de nourriture disponible, etc. ; dans la cuvette sud au contraire, le facteur paysage apparaît pour tous les groupes car son rôle est relié aux variations saisonnières des apports du Chari.

3. Rôle de certains facteurs particuliers.

Parmi les facteurs jouant un rôle dans la zonation, deux peuvent être plus particulièrement retenus : la conductivité et la nature des fonds.

3.1. CONDUCTIVITÉ.

On a pu montrer l'existence dans la cuvette nord d'un seuil de conductivité limitant l'extension de certaines espèces vers l'extrême nord du lac. C'est ainsi que les *Alluroïdidae* disparaissent au-delà de 400 µmhos environ et les mollusques vers 550 µmhos. De même, au-dessus d'un seuil de 400 µmhos environ on ne rencontre pratiquement plus de Mormyridae. Pour des conductivités plus élevées (1 000 µmhos) on voit par contre apparaître des *Cyperus laevigatus* (macrophyte) et des *Brachionus plicatilis* (Rotifère), espèces caractéristiques des mares natronées du Kanem. Bien qu'on possède relativement peu d'informations à ce sujet, il semble que cette influence soit également décelable dans l'Archipel est où la conductivité peut atteindre 600 µmhos (raréfaction des Mormyridae par exemple).

3.2. NATURE DES FONDS.

Le sédiment, soit par sa structure physique, soit par l'influence des facteurs qui prévalent à son niveau et qui conditionnent son existence, représente un milieu plus ou moins favorable au développement des organismes benthiques. Ainsi, les *Alluroïdidae* sont absents sur les fonds de vase, et l'on ne récolte pas de vers sur les fonds de tourbe. Chez les mollusques, la nature des fonds est un élément déterminant de la structure des peuplements (DUPONT et LÉVÊQUE, 1968) et les *Corbicula*, par exemple, ont une préférence marquée pour le sable et le pseudo-sable. Pour ces différents groupes, la répartition des espèces dépend donc non seulement de facteurs généraux mais également de la nature du substrat.

4. Relations trophiques.

En dehors des facteurs physiques et chimiques du milieu, les facteurs biotiques jouent certainement un rôle fondamental dans la répartition des espèces. Les relations alimentaires entre différents niveaux trophiques peuvent permettre d'aborder ce problème. Dans le cas du lac Tchad, GRAS, ILLIS et SAINT-JEAN (1972) ont montré que les entomostracés planctoniques ingèrent essentiellement des algues planctoniques (parmi lesquelles les Cyanophycées dominent) et que les adultes de deux des principales espèces de Cyclopidés sont carnivores. On a vu (II.1.2. et II.2) que la structure spécifique des peuplements zooplanctoniques est homogène à l'échelle du lac alors que celle du phytoplancton ne l'est pas. On ne peut donc, dans l'état actuel de nos connaissances, relier la répartition générale des proies (algues phytoplanctoniques) et celle des prédateurs (Cladocères et Copépodes).

En dehors du zooplancton, les régimes alimentaires sont également assez bien connus chez les poissons. Dans l'archipel sud-est, les contenus stomacaux des 17 espèces les plus importantes ont été étudiés (LAUZANNE, 1971) (1). Quatre principaux groupes de consommateurs ont été mis en évidence : les détritivores (*Tilapia galilaea*, *Labeo senegalensis*, *Cilharinus cilharus*) ; les carnivores primaires zooplanctophages (*Alestes baremoze* et *A. Dentex*, *Synodontis membranaceus* et *S. batensoda*) ; les carnivores primaires se nourrissant d'invertébrés benthiques (*Heterotis niloticus*, *Hyperopisus bebe*, *Synodontis schall*) ; les carnivores terminaux principalement ichtyophages (eux-mêmes divisés en prédateurs

stricts : *Hydrocyon forskalii* et *H. brevis*, *Lates niloticus* et prédateurs à tendance saprophage : *Bagrus bayad*, *Eutropius niloticus* et *Schilbe mystus*). Les carnivores primaires zooplanctophages sont les plus abondants dans cette région, 44 % des captures totales, les carnivores primaires benthiques n'en représentant que 5 %. Cette abondance des zooplanctophages dans l'archipel sud-est semble particulière au lac Tchad ; dans le lac Volta par exemple, on ne retrouve pas ce groupe de consommateurs et les *A. baremoze* y ont un régime très différent (LAWSON *et al.*, 1969).

Ce schéma n'est évidemment pas applicable à l'ensemble du lac. Dans les autres régions, d'une part des filets maillants ont été utilisés, et il est beaucoup plus difficile d'établir l'importance relative des principales espèces, d'autre part les régimes alimentaires ne sont pas nécessairement identiques à ceux rencontrés dans l'Archipel sud-est et les quelques observations effectuées ne permettent pas une étude comparative poussée. On peut cependant faire quelques remarques générales.

Les phytophages sont rares, mais il existe cependant quelques herbivores brouteurs de plantes supérieures tel *Distichodus rostratus*. Les phytoplanctophages filtreurs sont représentés essentiellement par les très jeunes alevins de nombreuses espèces. Toutefois, les *Anabaena* peuvent être consommées par les *Synodontis batensoda* lorsqu'elles se présentent sous forme d'agrégats de taille suffisante. Bien que le phytoplancton soit peu utilisé en pleine eau son rôle est important comme source de nourriture. Il forme un élément essentiel de la pellicule superficielle des fonds consommée par les détritivores qui représentent 17 % des captures. Il semble que la richesse de la pellicule superficielle en phytoplancton sédimenté plus ou moins dégradé soit une caractéristique des lacs plats. Le temps de sédimentation est court du fait de la faible profondeur et les phénomènes de dégradation habituels n'ont pas le temps de se produire. Dans le lac George par exemple, très peu profond et extrêmement riche en phytoplancton, 70 % environ de la biomasse piscicole utilise cette source de nourriture.

— D'autres espèces zooplanctophages peuvent être citées en particulier, *Micralestes acutidens* et *Alestes dageti*. *Pollimyrus isidori* est aussi dans ce cas, mais il semble être par ailleurs partiellement insectivore.

— Les oligochètes (*Tubificidae* et *Alluroïdidae*) ne sont pratiquement pas consommés. Seul *Mormyrus rume* en capture parfois.

(1) Chacune de ces espèces représente au moins 1 % du poids total des captures effectuées à l'aide d'une grande senne de rivage.

— Les mollusques ne semblent pas constituer une source de nourriture importante dans l'Archipel sud-est. *Hyperopisus bebe* et *Synodontis schall* en consomment, sans que cela constitue l'essentiel de leur régime. Trois autres espèces semblent plus volontiers malacophages, mais elles sont peu abondantes : *Synodontis clarias*, *Tetraodon fahaka* et *Chrysichthys auratus*. Dans les Eaux Libres du sud-est, les mollusques semblent avoir plus d'importance car ils constituent l'essentiel de la nourriture de cinq espèces : *Hyperopisus bebe*, *Synodontis schall*, *S. frontosus*, *S. clarias* et *Tetraodon fahaka*.

— En ce qui concerne les insectes aquatiques de l'Archipel sud-est, s'ils ne constituent jamais la nourriture exclusive d'une espèce, ils sont par contre rencontrés dans des estomacs d'espèces variées. Ils dominent en particulier dans les régimes alimentaires de Mormyridae : *Hyperopisus bebe*, *Mormyrus rume*, *Petrocephalus bane* (Hémiptères surtout), *Marcusenius cyprinoïdes* (dominance de Chironomides) et, secondairement, *Pollimyrus isidori*. D'autres espèces en consomment moins fréquemment : *Heterotis niloticus*, *Synodontis schall*, *Synodontis frontosus*, *Chrysichthys auratus*, *Auchenoglanis biscutatus*, *Synodontis clarias*. Dans les Eaux Libres du sud-est, les insectes aquatiques semblent moins importants. Ils ne figurent de façon notable que dans les contenus stomacaux de *Petrocephalus bane* (surtout *Micronecta scutellaris*) et *Pollimyrus isidori*.

— Les carnivores terminaux (25 % des captures) sont principalement ichtyophages. La prédation s'exerce sur différents groupes de proies suivant les espèces et les tailles qu'elles atteignent. C'est ainsi que dans l'Archipel sud-est *Lates niloticus* consomme essentiellement des *Labeo* et des *Tilapia* ; *Hydrocyon brevis* des proies moins grosses telles *Synodontis batensoda*, *Petrocephalus bane*, etc. ; *H. forskalii* des proies encore plus petites : *Micralestes*, *Barbus* et *Haplochromis* et, surtout, des crevettes. On peut noter que le régime de cette dernière espèce semble quelque peu différent dans les Eaux Libres du sud-est : *Micralestes* et *Pollimyrus* sont les proies dominantes et il y a très peu de crevettes.

Il est intéressant de voir si les régimes alimentaires décrits rapidement ci-dessus expliquent certains aspects des zonations élaborées précédemment.

Les prédateurs stricts ne semblent pas avoir de répartition particulière. On peut simplement remarquer que *Lates niloticus* est commun partout alors qu'*Hydrocyon brevis* est abondant dans la cuvette sud seulement. La prédation de ces espèces s'exerçant aux dépens de proies très variées, le régime alimentaire ne semble pas devoir expliquer cette différence de répartition.

Parmi les détritivores, *Tilapia galilaea* est ren-

contré dans les zones abritées, *Citharinus citharus* plutôt pêché dans les eaux libres. Là non plus on ne peut invoquer les relations trophiques pour rendre compte de leur répartition.

Parmi les carnivores primaires benthiques, les Mormyridae semblent disparaître à partir d'un certain seuil de conductivité. Or ces poissons sont pour la plupart des insectivores dans l'Archipel sud-est. Ces deux faits réunis peuvent peut-être expliquer partiellement la richesse de la zone centrale de la cuvette nord (est des Eaux Libres du nord et ouest de l'Archipel nord-est). En ce qui concerne les malacophages, certains sont rencontrés plus facilement dans les Eaux Libres du sud-est, ce qui correspond à une zone de plus grande densité en mollusques. Mais une espèce comme *Chrysichthys auratus* est absente des eaux libres.

Les carnivores primaires zooplanctonophages ont des répartitions variées : *Alestes dageti* est ubiquiste ; *Synodontis membranaceus* et *S. batensoda* sont surtout abondants dans la cuvette sud (plutôt dans les zones abritées pour la seconde, partout pour la première) ; *Pollimyrus isidori* disparaît au nord, comme d'autres Mormyridae, et est rencontré partout ailleurs ; *Alestes baremoze* et *A. dentex*, enfin, sont absents des eaux libres. Le cas d'*A. baremoze* est particulièrement significatif. En effet, si dans la cuvette sud la répartition du zooplancton (dense dans l'archipel et les îlots-bancs, pauvre partout ailleurs) correspond à celle des *A. baremoze*, il n'en est pas de même dans la cuvette nord, les *A. baremoze* sont toujours inféodés aux zones d'abri (archipel essentiellement) alors que la densité de zooplancton est forte aussi bien dans les zones d'eaux libres que dans les îlots-bancs.

Des observations ci-dessus on peut conclure, dans le cas du lac Tchad, que la recherche de la nourriture ne semble pas être un facteur déterminant de la répartition des poissons. Ceci est dû à la fois à la variété des sources d'alimentation et à la plasticité souvent grande de la plupart des régimes des prédateurs. Par contre, là où existent des stocks importants de prédateurs, il est possible qu'ils jouent un rôle de facteur limitant. Ce pourrait être en particulier le cas de certains invertébrés benthiques dont la densité dépendrait de celle des poissons prédateurs correspondants.

CONCLUSIONS

Les résultats obtenus pour chacun des grands groupes étudiés, montrent qu'il est possible de distinguer pour chacun d'eux des zones relativement

homogènes. Il n'est toutefois pas possible d'établir une zonation générale à partir de ces différents résultats, car les zonations trouvées pour chaque groupe ne sont pas identiques, ce qui ne peut surprendre si l'on considère la diversité des exigences écologiques des organismes en cause. Bien qu'on ait mis en évidence l'importance de facteurs, tels que la bathymétrie, le paysage, la nature des fonds, la conductivité, les différentes zones ont surtout été déterminées en fonction de la présence d'espèces ou de peuplements caractéristiques. L'élément le plus marquant, commun à tous les schémas de zonation est la relative indépendance des cuvettes nord et sud.

Les deux cuvettes sont nettement différentes d'un point de vue morphométrique et physico-chimique. La cuvette nord représente un milieu beaucoup plus stable que la cuvette sud qui est soumise directement à l'action de la crue du Chari. D'un point de vue biologique, la composition des peuplements est différente et les biomasses sont généralement plus élevées dans la cuvette nord. La faune de cette dernière présente moins d'espèces que celle de la cuvette sud. La transition n'est d'ailleurs pas brutale et on constate, pour les poissons en particulier, des gradients d'appauvrissement des peuplements depuis le delta du Chari jusqu'au nord et l'extrême est. Il est probable qu'après un assèchement, la recolonisation de la cuvette nord par les espèces de la cuvette sud soit plus ou moins rapide ; ceci explique en partie la moindre richesse faunistique de la cuvette nord. Dans le cas particulier des poissons cette recolonisation périodique de l'ensemble du lac par les espèces fluviales explique l'extrême rareté des espèces endémiques.

DAGET (1967) considérait le lac Tchad comme une expansion du système fluvial. En fait, on constate un appauvrissement en espèces rhéophiles et un développement plus important que dans le fleuve d'espèces d'eaux calmes (insectes, zooplancton et phytoplancton). Il y aurait donc lieu de penser à la lumière de ce qui précède, que seule la cuvette sud peut être considérée comme une expansion du système fluvial, par opposition à la cuvette nord qui constituerait le véritable milieu lacustre *sensu stricto*.

D'un volume directement en relation avec l'importance de la pluviométrie sur l'ensemble du bassin, le lac Tchad apparaît donc comme un milieu éminemment variable dont la surface peut, en quelques années, passer du simple au quadruple. C'est ainsi qu'une suite de crues déficitaires de son principal tributaire conduira à ce que TILHO en 1911 qualifiait de « petit Tchad ». La surface du lac se situe alors autour de 6 000 km² et la Grande Barrière, presque totalement exondée, sépare la cuvette sud de la cuvette nord. Cette dernière sous l'effet de l'évapo-

ration intense et d'un apport en eau extrêmement réduit s'assèche pratiquement, laissant subsister de petites mares d'eau saumâtre aux points les plus bas de la zone des îlots bancs et de l'archipel ainsi qu'une zone marécageuse au niveau de l'embouchure de la Yobé. Il est fort probable par ailleurs que dans la cuvette sud se produise un isolement, partiel ou même total, de l'Archipel sud-est qui est alors séparé des Eaux Libres par les Îlots-Bancs exondés.

Par opposition, « le grand lac » étend ses eaux sur environ 25 000 km². La Grande Barrière ne forme plus obstacle à la circulation des eaux et la communication ainsi élargie, diminue l'opposition existant entre les deux cuvettes. Par ailleurs, à partir d'un certain niveau, il se produit un véritable déversement des eaux du lac vers les pays bas du Tchad par l'intermédiaire du Bahr el Ghazal. L'écoulement partant du sud-est du lac actuel est dirigé vers le nord-est, en direction du Borkou. Il convient cependant de noter que des digues ayant maintenant été construites à l'entrée du Bahr el Ghazal, il faudrait que le plan d'eau atteigne un niveau supérieur à son niveau naturel de déversement pour qu'un écoulement soit possible.

La situation actuelle (1972) correspond enfin à ce que TILHO qualifiait de « moyen Tchad ». Les cuvettes nord et sud, sans être isolées, sont nettement séparées par la Grande Barrière qui freine les échanges entre les masses d'eau. La cuvette sud, peu profonde, subit chaque année l'influence directe de la crue alors que la cuvette nord n'en subit que le contre-coup atténué.

Ces grandes oscillations de niveau n'ont pas de périodicité bien définie à l'échelle des observations réalisées jusqu'à maintenant. Il n'y a pas obligatoirement symétrie entre la baisse du niveau et sa remontée. Le phénomène peut être rapide, la cuvette nord s'asséchant en quelques années, ou bien lent comme celui actuellement observé. Une extension très importante des macrophytes qui colonisent la surface des hauts fonds peut parfois, en formant obstacle à la circulation des eaux, accélérer la séparation des deux cuvettes.

Il apparaît finalement évident que d'aussi amples variations du milieu dans un laps de temps parfois très court vont avoir un rôle déterminant dans l'évolution des peuplements aquatiques, particulièrement pour les organismes dont les stocks sont étroitement liés au volume d'eau disponible. Cet aspect est très important en ce qui concerne l'évolution des pêcheries, pour lesquelles la détermination de la production totale grâce à des modèles comme celui de Schaefer n'est pas possible car elle suppose que l'écosystème soit stable et l'environnement identique pendant une période suffisamment longue. Si ces conditions avaient été réunies, des statistiques

de prises et d'effort portant sur plusieurs années auraient pu permettre de définir une production optimale équilibrée. Ce n'est pas le cas des pêcheries du lac Tchad et l'on peut penser que dans cette collection d'eaux plates, la production optimale équilibrée est directement reliée, dans certaines limites, au volume total d'eau colonisable par les peuplements ichthyologiques.

Si l'on examine la situation actuelle, on constate qu'elle est très complexe puisqu'elle combine changement de volume par diminution continue du niveau depuis 1962, et installation des pêcheries. Dans la cuvette nord du lac par exemple l'effort de pêche a augmenté spectaculairement depuis les années 1960, époque à laquelle certains stocks pouvaient être considérés comme vierges. Les rendements, alors très élevés, ont diminué rapidement et se sont stabilisés aux environs de 1 kg/100 m²/nuit de 1967 à 1969, après la très rapide baisse de 1963 à 1967. Depuis 1970, il semble que les valeurs de prise par unité d'effort aient encore diminué et il est probable que si la baisse de niveau continue, la production totale sera de plus en plus médiocre, pour devenir nulle à son terme ultime, après quelques temps passés à

pratiquer des pêches d'épuisement dans les quelques mares rémanentes...

Signalons enfin que, sur un plan pratique, la recherche des grandes zones écologiques a démontré, s'il en était besoin, que le lac est un milieu hétérogène. En conséquence, toute étude isolée, ponctuelle ou même régionale, ne peut avoir qu'un intérêt local et n'est pas extrapolable à l'ensemble du lac pour la majorité des groupes concernés. En raison du petit nombre de zones généralement retenu, quelques stations judicieusement réparties sur le lac devraient cependant pallier cet inconvénient et, tout en limitant le travail, permettre d'accéder à une vue plus générale et plus synthétique de l'écosystème. A l'échelle interannuelle, les variations climatiques imposent au lac Tchad des variations naturelles dont l'alternance peut ralentir ou empêcher l'eutrophisation naturelle du lac. Ceci contraste avec le cas de très nombreux lacs où l'eutrophisation est, de plus, accélérée par l'effet de pollutions diverses. Cette originalité du milieu impose des études à long terme afin que soient comprises les modalités et les causes de l'évolution du potentiel biologique.

Manuscrit reçu au S.C.D. le 30 août 1972.

BIBLIOGRAPHIE

- BILLON (B.) *et al.*, 1967. — Monographie hydrologique du Logone. 1^{re} à 6^e partie. *O.R.S.T.O.M., Paris*, multigr.
- BILLON (B.) *et al.*, 1969. — Monographie hydrologique du Chari. 1^{re} à 4^e partie. *O.R.S.T.O.M., Paris*, multigr.
- BLACHE (J.), 1964. — Les poissons du bassin du Tchad et du bassin adjacent du Mayo-Kebbi. *O.R.S.T.O.M., Paris*, 483 p.
- BOUCHARDEAU (A.), LEFÈVRE (R.), 1957. — Monographie du lac Tchad. *O.R.S.T.O.M., Paris*, 114 p.
- CARMOUZE (J.-P.), 1968. — Ions majeurs, phosphates et silicates dans le lac Tchad en avril 1968. *O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy*, 16 p., multigr.
- 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.
- CARMOUZE (J. P.), 1970. — Salures globales et spécifiques des eaux du lac Tchad. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Géol.*, II, 1 : 61-65.
- CARMOUZE (J. P.), 1971. — Circulation générale des eaux dans le lac Tchad. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, V, 3/4 : 191-212.
- CARMOUZE (J. P.), DUPONT (B.), 1970. — Nouvelles approximations sur la bathymétrie et la superficie du lac Tchad. *O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy*, 1 p., multigr.
- CARRÉ (P.), 1972. — Quelques aspects du régime des apports fluviaux de matériaux solides en suspension vers le lac Tchad. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrol.* (sous presse).
- COMPÈRE (P.), 1967. — Algues du Sahara et de la région du lac Tchad. *Bull. Jard. Bot. Nat. Belg.*, 37, 2 : 109-288.
- C.T.F.T., 1966. — Étude en vue du développement de la pêche sur le lac Tchad. *Rapp. C.T.F.T.*, 2 tomes, 151 p.
- DAGET (J.), 1967. — Introduction à l'étude hydrobiologique du lac Tchad. *C.R. Soc. Biogéogr.*, 380 : 6-10.
- DEJOUX (G.), 1968. — Le lac Tchad et les Chironomides de sa partie Est. *Ann. Zool. Fenn.*, 5 : 27-32.
- DEJOUX (G.), 1968. — Contribution à l'étude des insectes aquatiques du Tchad. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, II, 2 : 51-78.

- DEJOUX (C.), LAUZANNE (L.), LÉVÊQUE (C.), 1969. — Évolution qualitative et quantitative de la faune benthique dans la partie est du lac Tchad. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, III, 1 : 3-58.
- DEJOUX (C.), LAUZANNE (L.), LÉVÊQUE (C.), 1971. — Nature des fonds et répartition des organismes benthiques dans la région de Bol (Archipel est du lac Tchad). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, V, 3/4 : 213-223.
- DUPONT (B.), 1968. — Étude des formations sédimentaires du Kanem. Premiers résultats. *O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy*, 150 p., multigr.
- DUPONT (B.), 1968. — Étude sédimentologique du lac Tchad. Premiers résultats. *O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy*, 76 p., multigr.
- DUPONT (B.), 1970. — Distribution et nature des fonds du lac Tchad (nouvelles données). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Géol.*, II, 1 : 9-42.
- DUPONT (B.), LEMOALLE (J.), 1972. — Les oolithes et pseudo-oolithes ferrugineuses du lac Tchad. *C.R. somm. S.G.F.*, 4 : 309-310.
- DUPONT (B.), LÉVÊQUE (C.), 1968. — Biomasse en Mollusque et nature des fonds dans la zone est du lac Tchad. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, II, 2 : 113-126.
- DURAND (J. R.), 1970. — Les peuplements ichthyologiques de l'El Beïd. 1^{re} note : présentation du milieu et résultats généraux. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, IV, 1 : 3-26.
- DURAND (J. R.), 1970. — Les peuplements ichthyologiques de l'El Beïd. 2^e note. Variations inter et intraspécifiques. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, V, 2 : 147-159.
- DURAND (J. R.), LOUBENS (G.), 1971. — Étude de certains caractères méristiques chez les *Alestes baremoze* du bas-Chari et du lac Tchad. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, V, 2 : 113-136.
- DURAND (J. R.), FRANC (J.), LOUBENS (G.), 1972. — Résultats des pêches aux filets maillants et à la senne (1966-1970). *O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy*, 96 p., multigr.
- GRAS (R.), 1964. — Rapport sur la détermination sommaire des principaux biotopes du lac Tchad. *O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy*, 55 p., multigr.
- GRAS (R.), ILTIS (A.), LÉVÊQUE-DUWAT (S.), 1967. — Le plancton du Bas-Chari et de la partie est du lac Tchad. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, I, 1/4 : 25-96.
- GRAS (R.), ILTIS (A.), SAINT-JEAN (L.), 1971. — Biologie des crustacés du lac Tchad. II. Régime alimentaire des Entomostracés planctoniques. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, V, 3/4 : 285-296.
- GRAS (R.), SAINT-JEAN (L.), 1969. — Biologie des Crustacés du lac Tchad. I. Durées de développement embryonnaire et post-embryonnaire : premiers résultats. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, III, 3/4 : 43-60.
- HOPSON (A. J.), 1964. — Annual report (1963). *Federal fisheries service, Lake Chad research station, Malamfatori. Lagos*, 34 p.
- HOPSON (A. J.), 1968. — The Gillnet Fisheries of Lake Chad. *Federal fisheries Service, occasional paper n° 11, Lake Chad research station Malamfatori. Lagos*, 64 p.
- ILTIS (A.), RIOU-DUWAT (S.), 1971. — Variations saisonnières du peuplement en Rotifères des eaux natronées du Kanem (Tchad). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, V, 2 : 101-112.
- LAUZANNE (L.), 1969. — Étude quantitative de la nutrition des *Alestes baremoze* (Pisc. Charac.). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, III, 2 : 15-27.
- LAUZANNE (L.), 1970. — La sélection des proies chez *Alestes baremoze* (Pisc., Charac.). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, IV, 1 : 71-76.
- LAUZANNE (L.), 1972. — Étude qualitative de la nutrition des *Alestes baremoze* (Pisc., Charac.). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*,
- LAUZANNE (L.), 1972. — Régimes alimentaires des principales espèces de poissons de l'archipel oriental du lac Tchad. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*
- LAWSON (G. W.), PETR (T.), BISWAS (S.), BISWAS (E. R. I.), REYNOLDS (J. D.), 1969. — Hydrobiological work of the volta basin research projet 1963-1968. *Bull. I.F.A.N., sér. A*, 31, 3 : 965-1005.
- LEMOALLE (J.), 1969. — Premières données sur la production primaire dans la région de Bol (avril-octobre 1968) (lac Tchad). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, III, 1 : 107-120.
- LEMOALLE (J.). — L'énergie lumineuse et l'activité photosynthétique du phytoplancton dans le lac Tchad (en préparation).
- LÉONARD (J.), 1969. — Aperçu sur la végétation. In *Monographie Hydrologique du lac Tchad*, 11 p.
- LÉVÊQUE (C.), 1968. — Mollusques aquatiques de la zone Est du lac Tchad. *Bull. I.F.A.N., sér. A*, 29, 4 : 1494-1533.
- LÉVÊQUE (C.), 1972. — Mollusques benthiques du lac Tchad : écologie, étude des peuplements et estimation des biomasses. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, VI, 1 : 3-45.
- LÉVÊQUE (C.), GABORIT (M.), 1972. — Utilisation de l'analyse factorielle des correspondances pour l'étude des peuplements en mollusques benthiques du lac Tchad. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, VI, 1 : 47-66.
- LOUBENS (G.), 1969. — Étude de certains peuplements ichthyologiques par des pêches au poison. 1^{re} note. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, III, 2 : 45-73.
- LOUBENS (G.), 1970. — Étude de certains peuplements ichthyologiques par des pêches au poison. 2^e note. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, IV, 1 : 45-61.
- LOUBENS (G.), FRANC (J.), 1972. — Étude méthodologique pour la récolte de statistiques de pêche basée sur l'observation des pêcheries d'un hief du delta du Chari. *O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy*, 44 p., multigr.
- POURRIOT (R.), 1968. — Rotifères du lac Tchad. *Bull. I.F.A.N., sér. A*, 30, 2 : 471-496.
- POURRIOT (R.), ILTIS (A.), LÉVÊQUE-DUWAT (S.), 1967. — Le plancton des mares natronées du Tchad. *Ini. Rev. ges. Hydrobiol.*, 52, 4 : 535-543.
- ROBINSON (A. H.), ROBINSON (P. K.), 1971. — Seasonal distribution of Zooplankton in the northern basin of Lake Chad. *J. zool., Lond.*, 163 : 25-61.

- ROCHE (M. A.), 1967. — Premières estimations des apports en sel au lac Tchad par le Chari. *O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy*, 50 p., multigr.
- ROCHE (M. A.), 1969. — Évolution dans l'espace et dans le temps de la conductivité électrique des eaux du lac Tchad d'après les résultats de 1908, 1957, 1962 à mars 1968. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrol.*, VI, 1 : 35-74.
- ROCHE (M. A.), 1970. — Hydrogéologie des côtes du lac Tchad à No, Tchingam et Soro (Kanem). *O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy*, 32 p.
- ROCHE (M. A.), 1972. — Géographie et éléments numériques sur la superficie et la bathymétrie du lac Tchad. Document provisoire, dactyl., 7 p.
- SERVANT (M.), 1970. — Données stratigraphiques sur la quaternaire supérieur et récent au nord-est du lac Tchad. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Géol.*, II, 1 : 95-114.
- TOUCHEBŒUF DE LUSSIGNY (P.), 1969. — Monographie Hydrologique du lac Tchad. *O.R.S.T.O.M., Paris*, 169 p., multigr.
- TOBOR (J. G.), 1969. — Annual report. *Lake Chad Research Station, Malamfatori*, Federal fisheries service, *Lagos*, 30 p.
- TOBOR (J. G.), 1970. — Annual report. *Lake Chad Research Station, Malamfatori*, Federal fisheries service, *Lagos*.