

# ALGUES DE LA RÉGION DU LAC TCHAD

## I - CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DU MILIEU

A. ILLIS\* et P. COMPÈRE\*\*

\* Hydrobiologiste de l'O.R.S.T.O.M. Centre de N'djaména (Tchad), B. P. 65

\*\* Jardin Botanique National de Belgique. Domaine de Bouchout. B-1360. Meise (Belgique)

### ABSTRACT

*A botanical study of lake Chad and its neighbourhood has been made by a team of the Jardin Botanique National de Belgique together with the Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer of Paris. The most important mission has been made during January and February 1968. The different biotopes of the lake, particularly in the eastern part, were studied. The deltas of the Chari, El Beid and Yobé rivers were also studied.*

*Lake Chad extends between 12°20' of latitude north and 13° and 15°30' of longitude east; during this study the lake area oscillated between 20 000 and 24 000 km<sup>2</sup>. Various biotopes are included: free-waters, archipelago, « îlots-bancs » and swamps. The area is divided between four states: Camerouns, Nigeria, Niger, Chad.*

*The climate is subdesertic with a long dry season alternating with a rainy season of about four months. The yearly average rainfall is about 330 mm on the lake. The water level undergoes variations in connection with the water supplies of the main tributary, the river Chari, and interannual variations may modify widely the area.*

*The lake is shallow with an average depth of about 3,5 meters at the time of this study. Water temperatures show two maxima, the first in June, the second in September; a slight minimum appears in August during the rainy season and a second, more important, in January. The yearly average temperature is 27 °C.*

*Transparency exceeded one meter only in the terminal creeks of the archipelago and in zones where submerged vegetation was abundant. Conductivity varied from 60 micromhos by centimeter in the delta of Chari to 800 micromhos in the northern part of the lake; the isohalines curves are concentric to the delta. The measured pH ranged from 7,2 to 9,1.*

*Water chemistry is characterized by CO<sub>3</sub>H dominant, SO<sub>4</sub> and Cl being in very low quantity. Four types of water are delimited in the lake by their cationic composition.*

*The bottom is only composed of loose substratum: mud, clay, sand; vegetal detritus are often very abundant.*

### ZUSAMMENFASSUNG

*Der Tschadsee und seine Umgebung wurde von Forschern des Jardin Botanique National de Belgique und des Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (Paris) auf botanischem Gebiet erforscht. Die umfassendste Expedition fand im Januar und Februar 1968 statt. Die verschiedenen Biotopen des Sees, besonders des östlichen Teils wurden erforscht. Die Mündungen des Chari, El Béid und Yobé wurden ebenfalls erforscht.*

*Der Tschadsee erstreckt sich zwischen 12,20 bis 14,20 nördlichen Breiten-graden und 13 bis 15,30 östlichen Längengraden. Seine Oberfläche schwankt zur Zeit dieser Forschung zwischen 20 000 und 24 000 km<sup>2</sup>. Verschiedenartige Biotopen sind vorhanden: freie Wässer, Archipelle, « îlots-bancs » und untergetauchte Vegetation.*

*Das Klima in dieser Gegend ist semi-arid subtropisch: eine lange trockene Jahreszeit wechselt mit einer vier Monate langen Regenzeit ab. Das jährliche Durchschnittsmass an Regen beträgt circa 330 mm für den See. Die*

Schwankungen des Wasserstandes entsprechen einerseits den Wasserverhältnissen des wichtigsten Nebenflusses, des Chari, andererseits können mehrjährige Schwankungen die Oberfläche ansehnlich beeinflussen.

Der See ist untief, in Durchschnitt etwa 3,5 m. Die Wassertemperatur weist zwei Höchstwerte auf, den ersten im Juni, den zweiten im September; Mindestwert wird zunächst im August, während der Regenzeit und während einer zweiten, längeren Zeitspanne, im Januar erreicht. Die mittlere Temperatur beträgt 27 °C.

Die Lichtdurchlässigkeit geht nur in den Einbuchtungen des Archipels und in den zonen mit reichhaltiger versunkener Vegetation, über einen Meter hinaus. Die Leitfähigkeit schwankt zwischen 60 micromhos/cm an der Charimündung und 800 µmhos/cm im nördlichen Teil. Die Isohalinkurven sind der Mündung gegenüber konzentrisch.

Die gemessenen pH-Werte betragen 7,2 bis 9,1.

Unter den chemischen Komponenten herrscht  $CO_3H$  vor,  $SO_4$  und  $Cl$  sind in sehr geringem Masse vorhanden. Den Verhältnissen der Kationen untereinander entsprechend, kann man vier Wassertypen unterscheiden.

Der Wasserboden enthält nur lockere Substrate wie Schlamm, Ton und Sand; Pflanzenabfälle sind fast immer reichlich vorhanden.

## PLAN

### Préambule

## 1. INTRODUCTION

- 1.1 Description générale
- 1.2 Itinéraires et points de récolte

## 2. CARACTÉRISTIQUES DU MILIEU AQUATIQUE

- 2.1 Hydrologie
  - 2.1.1 Variations saisonnières du niveau du lac
  - 2.1.2 Variations interannuelles
  - 2.1.3 Apports et régime des affluents
    - 2.1.3.1 Le Chari
    - 2.1.3.2 Les autres affluents
- 2.2 Profondeur
- 2.3 Température de l'eau
- 2.4 Transparence
- 2.5 Conductibilité électrique
  - 2.5.1 Aperçu général
  - 2.5.2 Conductibilités mesurées au cours des échantillonnages
  - 2.5.3 Conductibilité des affluents
- 2.6 pH
- 2.7 Teneur en oxygène dissous
- 2.8 Alcalinité
- 2.9 Principaux ions, silicates et fer
  - 2.9.1 Lac Tchad
  - 2.9.2 Affluents
- 2.10 Nature du fond

## 3. BIBLIOGRAPHIE

### PRÉAMBULE

Le Jardin Botanique National de Belgique et l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer ont effectué en commun une étude d'ensemble sur la flore de la région du lac Tchad. Ce travail s'insère parmi les études plus larges que l'O.R.S.T.O.M. a entreprises depuis plusieurs années sur le bassin tchadien, dans les domaines de la botanique, de la climatologie, de la géologie, de l'hydrobiologie et de la pédologie.

Une mission botanique a été effectuée au Lac Tchad et ses environs immédiats du 27 décembre 1967 au 10 mars 1968. Elle comprenait MM. LÉONARD et COMPÈRE du Jardin Botanique National de Belgique, ILTIS et MALEY du Centre

O.R.S.T.O.M. de N'Djaména. Elle avait pour but de dresser un inventaire taxinomique le plus complet possible des algues et des végétaux aquatiques, semi-aquatiques et ripicoles et de recenser les associations végétales existantes. Grâce à l'infrastructure déjà en place en ce qui concerne l'hydrobiologie, le Centre O.R.S.T.O.M. de N'Djaména fut à même de fournir la plus grande partie des moyens nécessaires sur place : embarcations, véhicules, matériels divers.

Cette mission avait été précédée par de nombreuses sorties effectuées sur le lac par l'équipe des hydrobiologistes de l'O.R.S.T.O.M., particulièrement en 1964-65 en vue d'une étude préliminaire sur le plancton du bas Chari et de la partie est du Lac Tchad (GRAS, ILTIS et LÉVÊQUE-DUWAT 1967). En décembre 1964, une première mission franco-belge (LÉO-

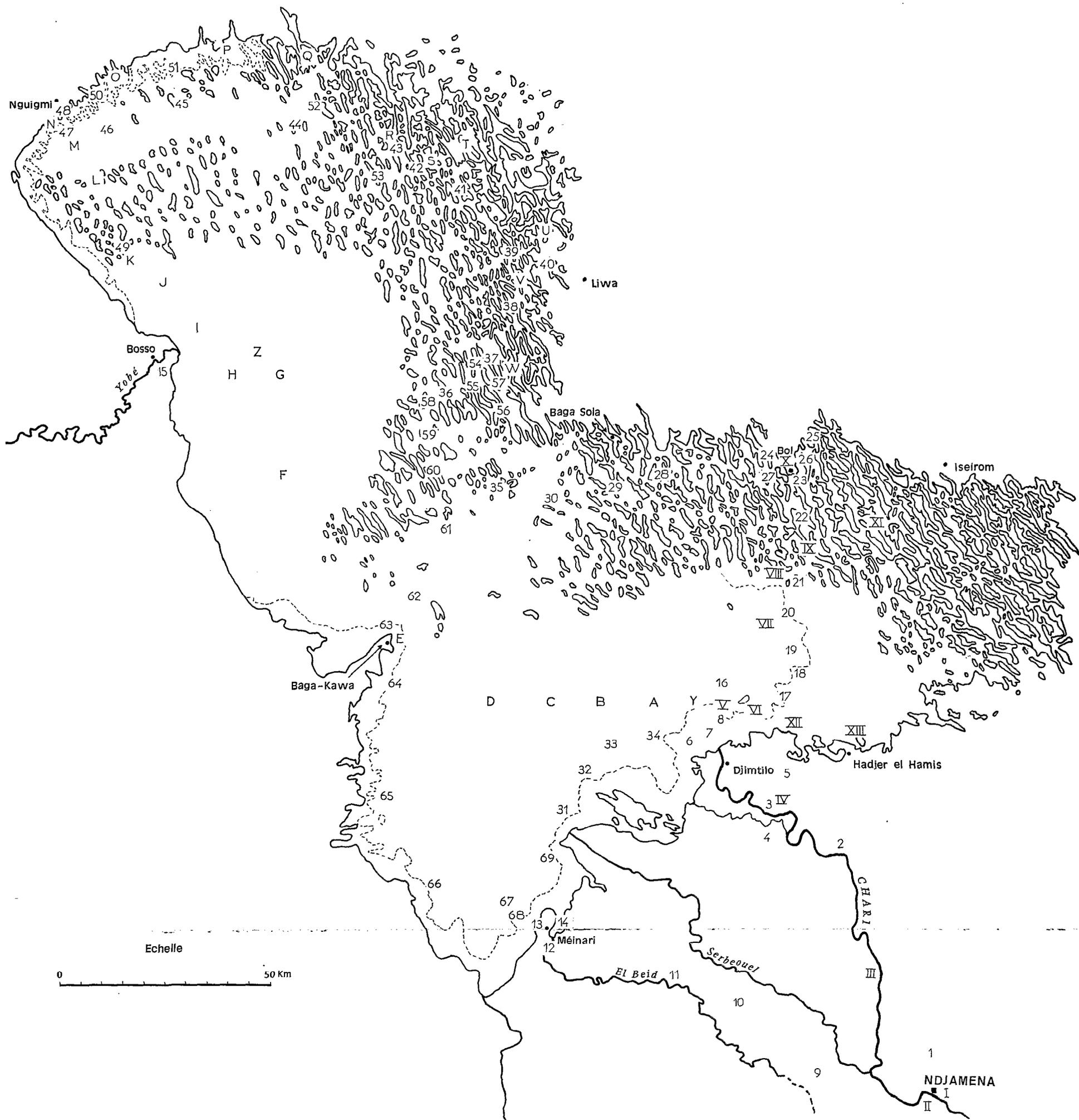


Fig. 1. — Carte d'ensemble du lac Tchad et localisation des points de récolte.

NARD du Jardin Botanique, GRAS et ILTIS de l'O.R.S.T.O.M.) était effectuée (LÉONARD 1966) aboutissant à la publication de deux mémoires sur les algues du Tchad (LÉONARD et COMPÈRE 1967, COMPÈRE 1967). Après un aperçu sur la végétation du lac Tchad (LÉONARD 1969) et un atlas de pollens (MALÉY 1970), la publication des résultats de ces missions se poursuit maintenant dans les *Cahiers O.R.S.T.O.M., série Hydrobiologie*, avec l'étude sur les algues effectuée par P. COMPÈRE. Cette première note est destinée à définir les caractéristiques générales du milieu à l'époque où ont été effectuées récoltes et observations. Ces données forment un ensemble d'éléments destinés à la connaissance de l'écologie des espèces et des associations végétales. La description générale et les caractéristiques du milieu aquatique ont été rédigées par A. ILTIS tandis que la liste des échantillons d'algues récoltés a été établie par le second co-auteur.

## 1. INTRODUCTION

### 1.1. Description générale

Nous ne retracerons pas ici une description détaillée de la configuration du lac Tchad, celle-ci ainsi que la délimitation des grandes zones écologiques qui le composent ayant paru en 1972 dans les *Cahiers O.R.S.T.O.M., série Hydrobiologie*. Nous ne rappellerons donc que les principaux traits de ce type de milieu en précisant les caractéristiques spéciales correspondant à la période où la plupart des échantillons ont été prélevés.

Au moment où cette étude a été effectuée, la superficie du lac est d'environ 20 000 km<sup>2</sup>. Une partie de la nappe d'eau est occupée par la végétation aquatique et semi-aquatique et les eaux libres ne constituent que 70 % de la surface totale. Deux mille à deux mille cinq cents kilomètres carrés de dunes de sable émergées formant des îlots encombrent de plus les zones nord et est (fig. 1).

Le lac a, en gros, la forme d'un triangle dont les côtés mesurent respectivement 230, 270 et 140 kilomètres environ. Les côtes sont basses et sableuses et le plus souvent envahies par une végétation herbacée semi-aquatique dense, d'où un tracé la plupart du temps diffus. Dans sa partie sud, la côte est marécageuse, mal tracée; d'importants herbiers immergés mêlés à des « îlots-bancs », îles végétales fixées sur des hauts fonds, empêchent l'approche des embarcations importantes. En son centre débouche le Chari dont le delta proprement dit commence en aval de Djimtilo; celui-ci est couvert de prairies aquatiques où les courants ont ouvert des chenaux sinueux. La côte ouest, de Wulgo à quelques kilomètres au nord de Baga Kawa, est marécageuse

et bordée d'îlots végétaux. Plus au nord, jusqu'au delta de la Yobé (1), elle devient franche, formée d'un cordon dunaire avec des plages de sable, le plus souvent encombrées de souches d'arbres morts. Au nord de la Yobé, la côte ouest reprend son aspect marécageux jusqu'à Nguigmi.

Le relief des régions situées au nord et au nord-est du lac régit la configuration des rives sur toute cette partie. Il s'agit d'un réseau dunaire fossile orienté sud-est nord-ouest, perpendiculairement à l'axe des vents dominants. Les lignes de dunes s'avancent dans les eaux du lac formant des centaines d'îles et de presqu'îles dont l'ensemble constitue la zone appelée *l'archipel*. Dans la partie est du lac, l'altitude des ondulations décroît du nord-ouest au sud-est et, lorsqu'on s'avance vers le sud, seuls émergent les sommets des dunes. Le réseau dunaire se prolonge immergé vers le centre du lac, les dépressions étant comblées par des alluvions récentes; à l'approche du delta, ces dernières recouvrent entièrement les dunes. Les îles et presqu'îles de l'archipel sont ceinturées par une frange végétale (*Phragmites*, *Typha*, *Cyperus papyrus*) pouvant atteindre plusieurs mètres de large et trois à quatre mètres de haut; cette barrière est traversée en de rares endroits par d'étroits passages permettant aux embarcations locales de toucher terre. Des îlots de végétaux flottants, appelés localement « kirta », circulent au gré des vents dans les chenaux, modifiant l'aspect des îles et barrant les passes.

La zone de l'archipel est séparée des eaux libres par une frange de quelques kilomètres de large d'îlots-bancs fixés sur les hauts fonds formés par les dunes immergées. Dans la partie sud, sur le côté est du lac, les îles de l'archipel et les marécages de la côte sud se rejoignent en un ensemble très diffus où seules circulent les pirogues locales.

Le lac est divisé en deux parties principales par une zone d'îlots végétaux occupant approximativement un axe allant de Baga Kawa au Nigéria à Kaya sur la rive nord-est. C'est le reste de ce qui est décrit sous le nom de « Grande Barrière » dans les Documents Scientifiques de la mission TILHO (1906-1909). C'était à cette époque une forêt d'« ambadjs » (*Aeschynomene elaphroxyton*) croissant en eau peu profonde, suffisamment dense pour empêcher le passage des eaux du sud du lac vers la partie nord, à peu près asséchée alors. Cette forêt a entièrement disparu lors de la crue de 1955-56 et le passage des embarcations se fait aisément à cet endroit au niveau de 1968. Outre l'archipel, la partie nord comprend une vaste zone d'eaux libres de 80 kilomètres de long sur environ 40 à 50 kilomètres de

(1) Ce cours d'eau est très souvent indiqué sur les cartes sous le nom de Komadougou Yobé ou même Komadougou; en fait, le terme « Komadougou » signifie simplement « rivière » en langue locale.

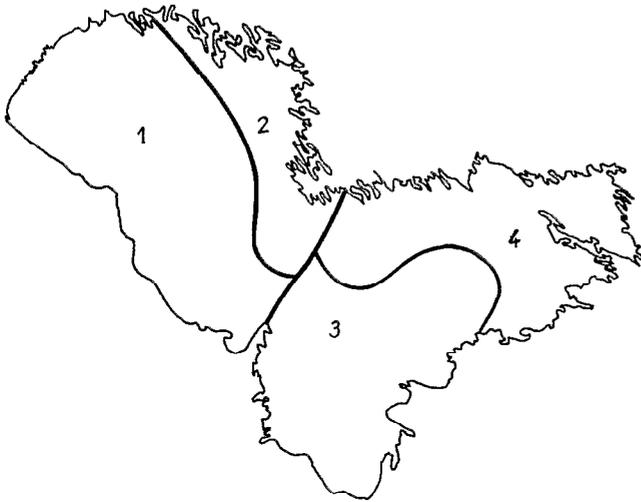


Fig. 2. — Grandes zones phytoplanctoniques du lac.

large. Au nord de ces eaux libres, on rencontre d'abord, sur une quinzaine de kilomètres, une zone d'îlots-bancs assez espacés, puis une petite zone d'eaux libres de quelques kilomètres de largeur avant d'atteindre la bordure végétale de la côte nord.

La partie est du lac comprend une vaste zone d'eau libre qui reçoit d'une part le Chari et dans sa partie méridionale l'El Beid. L'archipel borde la côte nord sur une trentaine de kilomètres de large. Des îlots-bancs et d'importants marécages occupent l'extrême est et les abords de la côte sud, à l'est du delta du Chari.

Au point de vue phytoplanctonique, le lac a été divisé en quatre grandes zones écologiques (*in* Grandes zones écologiques du lac Tchad, 1972) (fig. 2) :

— La première 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. Cette zone est caractérisée par la dominance durant de longues périodes de *Closterium aciculare*; les espèces les plus abondantes ensuite étant *Pediastrum clathratum* et *Botryococcus braunii*.

— La deuxième zone 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. Les espèces dominantes sont soit des *Microcystis*, soit *Anabaena flos-aquae*. *Closterium aciculare*,

*Pediastrum clathratum*, *Botryococcus braunii* sont les espèces les plus abondantes.

— La zone 3 comprend les eaux libres du sud et de l'est du delta. Les espèces dominantes sont *Melosira granulata* et *Anabaena flos-aquae*. *Surirella pseudospinifera* est assez abondant.

— La zone 4 enfin comprend l'archipel sud-est et est depuis la région de Baga Sola jusqu'à l'extrémité orientale du lac. Le phytoplancton est caractérisé par l'abondance des Cyanophycées *Microcystis* et *Anabaena*. 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.

## 1.2. Itinéraires et points de récolte (fig. 1)

Les récoltes effectuées ont couvert toutes les zones écologiques et tous les biotopes existant dans le lac. Un certain nombre d'échantillons ont été récoltés en 1966 au cours d'une étude préliminaire sur les variations saisonnières du plancton dans le bas Chari et la partie est du lac Tchad (GRAS *et al.* 1967). Une autre série d'échantillons était prélevée l'année suivante au cours d'une tournée dans la partie nord du lac et au sud, dans les parties nigérianes et camerounaises du lac (ILTIS et ROCHE 1967).

En 1968, différents points d'eau et mares autour de N'Djaména ont été prospectés puis les cours inférieurs du Chari et de l'El Beid ont été parcourus avec une embarcation légère. Durant le mois de février, une tournée effectuée en pinasse a permis de visiter les biotopes de l'ensemble du lac. Deux mares natronées, l'une à Haykoulou, l'autre vers Nguigmi ont de plus été prospectées. Au cours d'une brève escale faite à la station du Service Fédéral des Pêches à Malamfatori (Nigéria) une reconnaissance a été effectuée le long du cours inférieur de la Yobé.

Les récoltes sont étalées sur différents mois des années 1965 à 1968. On peut ainsi distinguer en ce qui concerne la chronologie des récoltes :

— Décembre 1965 et janvier 1966. Récoltes ILTIS dans la partie est du lac.

— Mars et avril 1967. Récoltes ILTIS dans les parties sud et nord du lac.

— Janvier à mars 1968. Récoltes COMPÈRE sur l'ensemble du lac et en un certain nombre de points des affluents. Elles constituent par leur nombre et la variété des biotopes prospectés la partie principale des prélèvements.

— Janvier à mars 1968. Récoltes ROBINSON dans les eaux libres de la partie nord du lac.

On trouvera ci-dessous la liste et la localisation

des biotopes où des échantillons de plancton ont été prélevés.

A. *Récoltes A. ILTIS, décembre 1965-janvier 1966*  
(plancton au filet)

Bassin du Chari :

- I : Dans le Chari à N'Djaména (Tchad) ; 12°07' N-15°02' E.  
 II : Dans le Chari à Kousseri (Cameroun) ; 12°07' N-15°02' E.  
 III : Dans le Chari à Goulfey (Cameroun) ; 12°23' N-14°54' E.  
 IV : Dans le Chari à Mani (Tchad) ; 12°43' N-14°41' E.  
 V : Dans le Chari au Delta (Tchad) ; 12°56' N-14°34' E.

Lac Tchad, partie sud-est :

- VI : Ile Tarara (Tchad) ; 12°58' N-14°38' E.  
 VII : Eaux libres du SE (Tchad) ; 13°05' N-14°44' E.  
 VIII : Îlots-bancs au sud de Bol (Tchad) ; 13°13' N-14°43' E.  
 IX : Entre les îles de Digia et Kadoulou (Tchad) ; 13°18' N-14°45' E.  
 X : Bol (Tchad) ; 13°27' N-14°43' E.  
 XI : Makilala (Tchad) ; 13°20' N-14°54' E.  
 XII : Adjilélé (Tchad) ; 12°54' N-14°44' E.  
 XIII : Hadjer el Hamis (Tchad) ; 12°51' N-14°49' E.

B. *Récoltes A. ILTIS, mars-avril 1967* (plancton au filet)

Lac Tchad, partie sud-est :

- A. Au nord de la branche ouest du delta du Chari (Cameroun) 12°58' N-14°25' E.  
 B. Eaux libres du sud-est (Cameroun) 12°58' N-14°17' E.  
 C. Eaux libres du sud-est (Cameroun) 12°58' N-14°11' E.  
 Y. Au nord de la branche centrale du delta du Chari (Tchad) 12°58' N-14°32' E.

Lac Tchad, partie sud :

- D. Eaux libres du sud (Nigéria) 12°58' N-14°03' E.  
 E. Baga Kawa (Nigéria) 13°06' N-13°50' E.

Lac Tchad, partie nord :

- F. Eaux libres du nord (Nigéria) 13°28' N-13°38' E.  
 G. Eaux libres du nord (Nigéria) 13°36' N-13°38' E.  
 H. Eaux libres du nord (Nigéria) 13°36' N-13°32' E.  
 I. Eaux libres du nord, vers Bosso (Niger) 13°46' N-13°23' E.  
 J. Eaux libres du nord (Niger) 13°52' N-13°17' E.  
 K. Limite des eaux libres du nord, vers l'île Tchinguo (Niger) 13°57' N-13°13' E.  
 L. Îlots-bancs du nord-ouest (Niger) 14°04' N-13°11' E.  
 M. Entrée de la passe de Nguigmi (Niger) 14°11' N-13°09' E.  
 N. Fond de l'anse de Nguigmi (Niger) 14°13' N-13°07' E.  
 O. Anse de Mandara (Niger) 14°17' N-13°15' E.  
 P. Vers Diakimé (Niger) 14°23' N-13°28' E.  
 Q. Anse de Kasakia (Tchad) 14°23' N-13°36' E.  
 R. Entre Kindjiri et Kamkouroum (Tchad) 14°10' N-13°51' E.  
 S. Au sud de Woliro (Tchad) 14°05' N-13°57' E.  
 T. Archipel, à l'est de Kiskawa (Tchad) 14°15' N-14°00' E.  
 U. Entre Djougou et Kobia (Tchad) 13°58' N-14°11' E.  
 V. Vers Nguérizoa (Tchad) 13°53' N-14°06' E.  
 W. Kéri Kawa (Tchad) 13°39' N-14°10' E.

C. *Récoltes P. COMPÈRE, janvier-mars 1968*

Bassin du Chari :

- N'Djaména, route de Djermaya (Tchad) 12°09' N-15°01' E.  
 — 3762 : Mare en voie d'assèchement, algues filamenteuses.  
 — 3763 : Mare en voie d'assèchement, gazon de *Nitella* sur le fond.
- Douguia (Tchad) 12°38' N-14°49' E.  
 — 3846 : Mare à *Azolla* et *Juncus*, expression d'*Azolla* ; pH 8,4.  
 — 3847 : Mare à *Nitella* en gazon sous les *Azolla* ; pH 8,4.  
 — 3874 : Banc de sable dans le Chari, enduit verdâtre sur le sable.
- Mani (Tchad) 12°43' N-14°41' E.  
 — 3870 : Petit bras du Chari, filaments verts sur le fond.  
 — 3871 : Petite mare sur un banc de sable du Chari, filaments verts flottants.
- Rivière Taf-Taf, défluent du Chari (Cameroun) 12°41' N-14°40' E.  
 — 3872 : Plancton récolté au milieu de la rivière.  
 — 3873 : Plancton récolté dans un groupement à graminées, près de la berge.
- Hadjer Bigli (Tchad) 12°47' N-14°41' E.  
 — 3866 : Creux rempli d'eau dans le rocher, expression de *Pistia*.  
 — 3867 : Creux rempli d'eau dans le rocher, expression de *Wolffia*.  
 — 3868 : Rivière Irebi, eau stagnante, filaments vert jaunâtre.  
 — 3869 : Rivière Irebi, eau stagnante, masses gélatineuses brunâtres.

Delta du Chari :

- Branche ouest du delta (Cameroun) 12°53' N-14°28' E.  
 — 3850 : Mare à *Vossia*, filaments verts sur le fond.  
 — 3851 : Bordure à *Vossia*, algues fixées aux tiges de *Vossia*.  
 — 3852 : Banc de sable, croûtes vertes et brunes.  
 — 3853 : Banc de sable, filaments et enduit vert.  
 — 3854 : Trou d'eau sur un banc de vase, filaments verts.  
 — 3855 : Banc de vase, enduit vert foncé à bleuâtre.  
 — 3856 : Banc de vase submergé, filaments verts accrochés aux plantes.  
 — 3957 : Plancton au filet, près de la rive gauche.  
 — 3964 : Plancton au filet, au milieu du bras.
- Branche centrale du delta (Tchad) 12°54' N-14°31' E.  
 — 3858 : Plancton au filet, près de la rive droite ; pH 7,1.  
 — 3859 : Gpt à *Lemna*, *Ceratophyllum* et *Azolla*, expression et filaments verts ; pH 7,2.  
 — 3860 : Gpt à *Potamogeton* et *Pistia*, filaments vert jaune.
- Branche nord-est du delta (Tchad) 12°54' N-14°33' E.  
 — 3848 : Bordure à *Vossia*, filaments jaunâtres et vert glauque ; pH 7,4.  
 — 3849 : Plancton au filet, près de la rive.  
 — 3861 : Plancton au filet à la limite de la bordure à *Vossia* ; pH 7,1.  
 — 3862 : Bordure à *Vossia*, filaments verts, flottants.  
 — 3863 : Mare à *Leersia hexandra*, filaments jaunâtres.

- 3864 : Gpt à *Potamogeton*, filaments verts et petites boules verdâtres.
- 3865 : Herbier à *Potamogeton*, expression de plantes aquatiques ; pH 8,2, transp. 90 cm.

## Bassin de l'El Béid :

9. Entre Maltam et Afadé (Cameroun) 12°12' N-14°44' E.
    - 3840 : Mare à *Azolla africana*, expression d'*Azolla*.
    - 3841 : Trou d'eau près d'une mare à *Azolla*, filaments vert brunâtre.
    - 3842 : Mare à *Marsilea*, filaments verts.
    - 3843 : Mare à *Marsilea*, filaments jaunes.
    - 3844 : Mare à *Marsilea*, gazon de Characées sur le fond.
    - 3845 : Mare à *Marsilea*, masses globuleuses brunâtres flottantes.
  10. Gortchonou, entre Maltam et Fotokol (Cameroun) 12°17' N-14°36' E.
    - 3820 : Mare à *Pistia stratiotes*, filaments verts, flottants ; pH 7,6-8.
  11. Bodo, entre Maltam et Fotokol (Cameroun) 12°21' N-14°28' E.
    - 3821 : Bords marécageux de l'El Béid, algues vertes en flocons dans l'eau.
    - 3837 : Mare à *Nymphaea*, masses gélatineuses brunâtres flottantes.
    - 3838 : Mare à *Nymphaea*, filaments verts dans l'eau et sur le sol.
    - 3839 : Petite mare communiquant avec l'El Béid, filaments verts.
  12. Wulgo (Nigéria) 12°29' N-14°11' E.
    - 3822 : Gpt à *Pistia* et *Ludwigia*, dans une anse calme de l'El Béid, expression de plantes aquatiques ; pH 7,5.
    - 3826 : Gpt à *Pistia*, *Ludwigia* et *Neptunia* dans l'El Béid, filaments verts, en voile mince.
    - 3827 : Gpt à *Nymphaea* et *Utricularia*, dans l'El Béid, filaments verts, fins, gluants.
    - 3828 : Dans l'El Béid, plancton au filet.
    - 3834 : Dans l'El Béid, filaments verts flottants.
    - 3834 : Mare près de l'El Béid, gaines vertes gluantes autour des plantes aquatiques.
    - 3836 : Dans l'El Béid (côté Cameroun), plancton au filet ; pH 7,5.
  13. Delta de l'El Béid (Nigéria) 12°31' N-14°12' E.
    - 3823 : Gpt flottant à *Ludwigia*, gros filaments verts.
    - 3824 : Bordure à *Vossia*, filaments verts accrochés aux tiges de *Vossia*.
    - 3825 : Mare à *Ipomoea*, *Ceratopteris*, *Azolla*, filaments verts.
  14. Anse fermée à l'est de Meinari (Cameroun) 12°29' N-14°12' E.
    - 3829 : Gpt à *Neptunia prostrata*, expression de *Neptunia* ; pH 7,1.
    - 3830 : Prairie inondée à *Echinochloa stagnina* et *Utricularia*, expression d'*Utricularia*.
    - 3831 : Petite nymphe dans la prairie à *Echinochloa*, expression de plantes aquatiques.
    - 3832 : Typhaie au contact de la prairie à *Echinochloa*, enduit vert gluant et filaments sur les feuilles immergées de *Typha*.
    - 3833 : Plancton au filet dans l'eau libre ; pH 7,6.
- Bassin de la Yobé :
15. Mamouri, delta de la rivière Yobé (Nigéria) 13°43' N-13°22' E.
    - 3917 : Gpt à *Nymphaea lotus*, expression de plantes aquatiques.
    - 3918 : Gpt à *Azolla africana*, expression d'*Azolla*.
- Lac Tchad, partie sud-est :
16. 10 km au nord du Delta du Chari (Tchad) 12°58' W-14°38' E.
    - 3875 : Plancton au filet ; pH 8,2, transparence 86 cm.
    - 3876 : Gpt à *Ludwigia* au bord d'un flot-banc, filaments verts.
    - 3877 : Gpt à *Vossia* au bord d'un flot-banc, filaments verts.
  17. En face de la passe vers Hadjer El Hamis (Tchad) 12°57' N-14°41' E.
    - 3878 : Herbier à *Potamogeton schweinfurthii*, expression de plantes aquatiques.
    - 3879 : Petite plage de *Najas pectinata* parmi les potamots, expression de *Najas*.
    - 3880 : Plancton au filet, près des herbiers ; pH 7,5.
  18. Au sud du « point remarquable » à la limite des flots-bancs (Tchad) 13°01' N-14°43' E.
    - 3881 : Plancton au filet près d'un flot-banc à *Vossia* ; pH 7,3-7,5, transparence 1 m.
    - 3882 : Petite mare à l'intérieur d'un flot-banc, plancton au filet ; transparence 1,50 m.
    - 3883 : Petit Gpt à *Ludwigia*, filaments verts.
    - 3884 : Petit Gpt à *Azolla*, expression d'*Azolla*.
    - 3885 : Plancton au filet.
  19. Vers l'île Atikimé, au NNE du « point remarquable » (Tchad) 13°06' N-14°45' E.
    - 3886 : Plancton au filet.
  20. Flot-banc au SW de l'île Maria (Tchad) 13°12' N-14°43' E.
    - 3887 : Plancton au filet ; transparence 45 cm.
  21. Ilots-bancs au sud de l'archipel, avant la passe de Bol (Tchad) 13°15' N-14°45' E.
    - 3888 : Enduit vert foncé sur les racines et rhizomes de plantes aquatiques.
    - 3889 : Plancton au filet près de l'flot-banc ; pH 7,3, transparence 48 cm.
  22. Passe de Bol, entre Kaya et Korémirom (Tchad) 13°23' N-14°45' E.
    - 3890 : Plancton au filet.
    - 3891 : Plancton au filet.
  23. Bol (Tchad) 13°27' N-14°43' E.
    - 3806 : Gpt à *Ceratophyllum*, expression de plantes aquatiques ; pH 6,8.
    - 3807 : Gpt à *Cyperus nudicaulis*, algues filamenteuses ; pH 6,8-7.
    - 3808 : Gpt à *Scirpus cubensis*, expression de plantes aquatiques.
    - 3811 : Kirta à *Cyperus mundtii*, filaments verts sur les rhizomes.
    - 3812 : Kirta à *Vossia cuspidata*, filaments verts sur les *Vossia*.
    - 3813 : Kirta à *Cyperus papyrus*, filaments verts sur les tiges et les rhizomes.
    - 3814 : Herbier à *Potamogeton schweinfurthii*, expression de plantes aquatiques.

24. Anse vers Matafo au NNW de Bol (Tchad) 13°30' N-14°40' E.  
— 3809: Gpt à *Lemna* et *Ceratophyllum*; expression de *Ceratophyllum*; pH 6,7.  
— 3810: Gpt à *Ceratophyllum*, expression de *Ceratophyllum*.
25. Moun Dagami, au nord de Bol (Tchad) 13°30' N-14°44' E.  
— 3815: Gpt à *Cyperus nudicaulis* au fond d'une anse, filaments verts.  
— 3817: Gpt à *Cyperus nudicaulis*, enduit gluant et filaments sur les tiges et les feuilles.  
— 3818: Gpt à *Lemna* et *Spirodela* dans les *Phragmites*, expression de plantes aquatiques.  
— 3819: Gpt à *Phragmites*, filaments verts sur les plantes immergées.
26. Polder de Bol-Bérim, 3<sup>e</sup> barrage (Tchad) 13°29' N-14°43' E.  
— 3780: Gpt perturbé à *Lemna paucicostata*, expression de plantes aquatiques.  
— 3816: Gpt à *Paspalidium geminatum*, amas de filaments jaunâtres.
27. Ile Toumra, à l'ouest de Bol (Tchad) 13°27' N-14°40' E.  
— 3892: Plancton au filet, près du bord à *Vossia*.
28. Tinguerné, au SE de Baga Sola (Tchad) 13°26' N-14°27' E.  
— 3893: Plancton au filet.
29. Kika, au SSE de Baga Sola (Tchad) 13°24' N-14°23' E.  
— 3894: Herbier à *Potamogeton* et *Vallisneria*, expression de plantes aquatiques.  
— 3895: Gpt à *Ludwigia*, *Cyperus mundtii* et *Lemna*, filaments verts.  
— 3896: Gpt à *Ceratophyllum*, filaments vert jaunâtre.  
— 3897: Plancton au filet à proximité de l'île.
30. Au nord de Boul, en face des eaux libres (Tchad) 13°25' N-14°13' E.  
— 3898: Plancton au filet, très dense.
31. Ilots-bancs près de Hilé Alifa (Cameroun) 12°43' N-14°13' E.  
— 3960: Plancton au filet, peu dense.
32. Ilots-bancs près de Karéna (Cameroun) 12°46' N-14°17' E.  
— 3961: Plancton au filet.
33. Eaux libres, 10 km à l'ouest de la branche ouest du delta du Chari (Cameroun) 12°53' N-14°17' E.  
— 3962: Plancton au filet.
34. Eaux libres à l'embouchure de la branche ouest du delta du Chari (Cameroun) 12°54' N-14°26' E.  
— 3963: Plancton au filet.
- Lac Tchad, partie nord :
35. Ilot-banc Fodio, au début de la Grande Barrière (Tchad) 13°24' N-14°06' E.  
— 3899: Plancton au filet.  
— 3900: Plancton au filet, peu dense.
36. Sortie nord de la Grande Barrière vers Tchoubou Ali (Tchad) 13°36' N-13°55' E.  
— 3901: Plancton au filet, peu dense; pH 8,4, transparence 82 cm.  
— 3902: Plancton au filet, près d'un ilot-banc à *Typha* et *Phragmites*.
37. Nguérémirom (Tchad) 13°44' N-14°04' E.  
— 3903: Plancton au filet; pH 8,3, transparence 105 cm.  
— 3904: Herbier à *Potamogeton*, grosses boules vertes sur les feuilles des potamots.
38. Au SE de Kadoulou (Tchad) 13°47' N-14°07' E.  
— 3905: Plancton au filet.
39. Au fond d'une anse de Nguérisoa (Tchad) 13°56' N-14°05' E.  
— 3906: Plancton au filet, peu dense; pH 8,4, transparence 147 cm.
40. Kare Katia, anse du lac (Tchad) 13°54' N-14°11' E.  
— 3793: Gpt à *Myriophyllum* et *Ceratophyllum*, expression de plantes aquatiques; pH 7,6-8.  
— 3794: Gpt à *Myriophyllum* et *Ceratophyllum*, fourreaux brun verdâtre sur les tiges de *Myriophyllum*.  
— 3795: Nymphaie, plancton au filet; pH 7,5-7,7.  
— 3796: Nymphaie, expression de plantes aquatiques.  
— 3797: Gpt à *Potamogeton* et *Nymphaea*, expression de potamots; pH 7,6.  
— 3798: Gpt flottant à *Ludwigia* et *Ipomoea*, expression de plantes aquatiques.  
— 3799: Gpt à *Utricularia* spp., expression d'*Utricularia*; pH 7,5, transparence 1 m.  
— 3800: Eau libre, au milieu de l'anse, plancton au filet.  
— 3801: Bordure à *Phragmites*, filaments verts mêlés aux Utriculaires.  
— 3802: Gpt à *Cyperus imbricatus*, plancton au filet.  
— 3803: Gpt à *Spirodela polyrrhiza*, plancton au filet.
41. Ile Kamdom (Tchad) 14°05' N-14°00' E.  
— 3907: Gpt immergé à *Potamogeton* et *Vallisneria*, plancton au filet.  
— 3908: Près de l'île, eau libre, plancton au filet.
42. Pointe de Kamkourom (Tchad) 14°10' N-13°51' E.  
— 3909: Plancton au filet; pH 8,7, transparence 103 cm.
43. Ile Kaiva (Tchad) 14°15' N-13°44' E.  
— 3910: Plancton au filet entre un herbier à *Potamogeton* et la bordure à *Cyperus papyrus* de la rive.
44. Frontière Tchad-Niger, au sud de Wadri 14°13' N-13°31' E.  
— 3911: Herbier à *Potamogeton*, expression de *Potamogeton*.  
— 3912: Plancton au filet, peu dense; transparence 92 cm.
45. A 17 km au sud de Maliari (Niger) 14°14' N-13°21' E.  
— 3913: Plancton au filet, très peu dense; pH 8,9, transparence 102 cm.
46. A la limite des eaux libres, vers Nguigmi (Niger) 14°13' N-13°16' E.  
— 3914: Plancton au filet.
47. Anse de Nguigmi (Niger) 14°13' N-13°07' E.  
— 3923: Plancton au filet.
48. Mare natronée, entre Nguigmi et la rive du lac (Niger), 14°15' N-13°07' E.  
— 3920: Plancton, eau rougeâtre.  
— 3921: Enduit verdâtre sur la vase exondée.  
— 3922: Enduit verdâtre sur la vase exondée et dans l'eau.
49. Ile Tchingoa, à la limite des eaux libres (Niger) 13°58' N-13°14' E.  
— 3915: Gpt à *Potamogeton schweinfurthii*, grosses boules brunâtres accrochées aux potamots.

- 3916 : Gpt à *Potamogeton*, expression de plantes aquatiques.
- 3919 : Plancton au filet ; pH 9,1, transparence 80 cm.
50. Anse au sud de Kotou (Niger) 14°16' N-13°12' E.
- 3924 : Gpt à *Najas pectinata*, expression de plantes aquatiques.
- 3925 : Gpt à *Potamogeton*, expression de plantes aquatiques.
- 3926 : Plancton au filet, en surface au-dessus d'une prairie à *Najas pectinata* couverte de 30-90 cm d'eau ; pH 8,6 ; transparence 93 cm.
51. Ilots-bancs au sud de Maliari (Niger) 14°18' N-13°23' E.
- 3927 : Plancton au filet, au-dessus d'une prairie à *Najas pectinata* couverte de 50-100 cm d'eau.
52. Ile Telia, pointe SE (Tchad) 14°15' N-13°40' E.
- 3928 : Gpt à *Najas* et *Potamogeton*, expression de plantes aquatiques.
- 3929 : Plancton au filet.
53. Ile Bourboursa (Tchad) 14°06' N-13°49' E.
- 3930 : Grande nymphe avec *Najas* et *Potamogeton*, expression de plantes aquatiques.
54. Ilot au sud de l'île Kairoum (Tchad) 13°46' N-14°03' E.
- 3931 : Plancton au filet.
55. Ile Liguidiria, à l'ouest de Kaya (Tchad) 13°43' N-14°01' E.
- 3932 : Plancton au filet ; pH 8,2.
56. Étang Haykoulou, dans l'île Kindin, mare natronée (Tchad) 13°37' N-14°05' E.
- 3933 : Écume jaunâtre accumulée près du bord.
- 3934 : Plancton récolté au flacon.
- 3935 : Vase rougeâtre du fond.
57. Anse à l'ouest de l'île Kindin (Tchad) 13°38' N-14°05' E.
- 3936 : Gpt à *Cyperus*, *Leersia* et *Vossia*, filaments vert jaunâtre, très ténus.
- 3937 : Plancton au filet ; transparence 2 m.
58. Ile Tchoubou Ali (Tchad) 13°36' N-13°55' E.
- 3938 : Plancton au filet.
59. Ile Njéléa (Tchad) 13°32' N-13°55' E.
- 3939 : Gpt à *Ceratophyllum*, expression de plantes aquatiques.
- 3940 : Gpt flottant à *Ipomoea*, filaments vert sale et boules verdâtres.
- 3941 : Plancton au filet.
60. Ile Kaalom (Tchad) 13°27' N-13°57' E.
- 3942 : Plancton au filet, assez dense ; pH 8,3.
- 3943 : Gpt à *Ludwigia* et *Ipomoea*, algues filamenteuses.
- 3944 : Gpt à *Ceratophyllum*, expression de plantes aquatiques.
- 3945 : Filaments vert sale, dans le fond d'une petite anse.
61. Ilots-bancs de la Grande Barrière, au NNE de Baga Kawa (Nigéria) 13°17' N-13°52' E.
- 3946 : Plancton au filet.
62. Eaux libres, à 7 km au NNE de Baga Kawa (Nigéria) 13°12' N-13°50' E.
- 3947 : Plancton au filet.
63. Rade de Baga Kawa, à 1 km du village (Nigéria) 13°07' N-13°49' E.
- 3948 : Plancton au filet ; pH 8, transparence 18 cm.
- Lac Tchad, partie sud :
64. Limite des eaux libres du sud, au SSE de Baga Kawa (Nigéria) 13°01' N-13°50' E.
- 3949 : Plancton au filet.
65. Limite des eaux libres du sud à hauteur de Malloum (Nigéria) 12°45' N-13°50' E.
- 3950 : Plancton au filet.
66. Limite des eaux libres du sud, au nord de Galoria (Nigéria) 12°35' N-13°55' E.
- 3951 : Fleur d'eau vert bleu, dense, en trainées, plancton au filet ; pH 7,6, transparence 35 cm.
- 3952 : Gpt à *Pistia*, expression de plantes aquatiques.
- 3953 : Bordure à *Vossia*, filaments verts visqueux, sur les feuilles et les tiges.
- 3954 : Gpt à *Ceratophyllum*, filaments vert jaunâtre.
67. Passe de Wulgo, à quelques km du port (Nigéria) 12°35' N-14°09' E.
- 3955 : Plancton au filet ; pH 8,4, transparence 38 cm.
68. Anse de Wulgo (Nigéria) 12°32' N-14°10' E.
- 3956 : Nymphe avec *Utricularia* et *Ceratophyllum*, filaments verts accrochés aux plantes aquatiques.
- 3957 : Gpt à *Ceratophyllum* et *Azolla*, expression de plantes aquatiques.
69. Ilots-bancs au NW de Sagmé (Cameroun) 12°36' N-14°13' E.
- 3958 : Plancton au filet.
- 3959 : Gpt à *Ludwigia* et *Pistia*, expression de plantes aquatiques.

D. Récoltes A. ROBINSON, janvier-mars 1968 (plancton au filet)

Lac Tchad, partie nord :

Z. Eaux libres du nord, au SW de l'île Binger (Nigéria) 13°39' N-13°34' E.

## 2. CARACTÉRISTIQUES DU MILIEU AQUATIQUE

### 2.1. Hydrologie

#### 2.1.1. VARIATIONS SAISONNIÈRES DU NIVEAU DU LAC.

Au cours d'une année, le niveau du lac Tchad est sujet à des variations dues aux précipitations sur le lac lui-même et aux apports des tributaires d'une part, à l'évaporation et aux infiltrations d'autre part. Il y a hausse du niveau de juillet à fin décembre ou début janvier, puis baisse des eaux jusqu'en juillet qui correspond au minimum. Pour l'année hydrologique 1967-68 où la plus grande partie des récoltes a été effectuée, le niveau lu à l'échelle de Bol a varié de 3,65 mètres le 10 juillet 1967 à 4,35 mètres le 30 décembre 1967, soit une amplitude de crue de 0,70 m. L'altitude du zéro de l'échelle de Bol est de 277,87 mètres (cote de nivel-

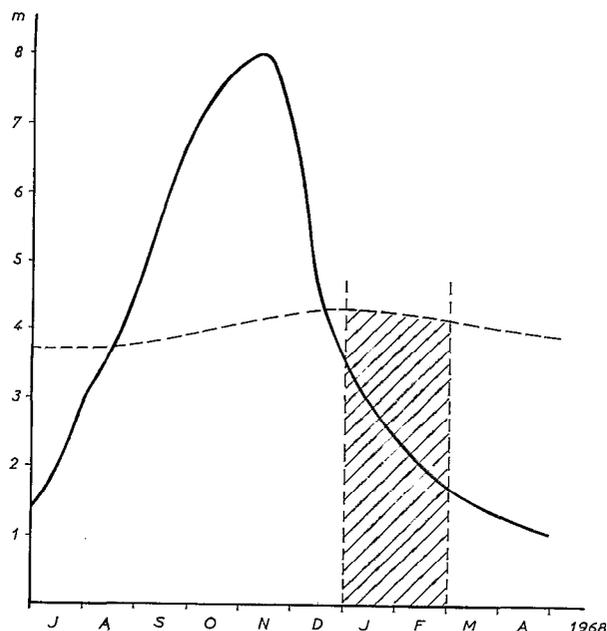


Fig. 3. — Variations de la hauteur des eaux du Chari à N'Djaména (en trait plein) et du lac à Bol (en tireté) de juillet 1967 à fin avril 1968. La partie hachurée correspond à la période où la plus grande partie des récoltes ont été effectuées.

lement I. G. N. 1956). La courbe de la figure 3 représente la crue du lac de juillet 1967 à fin avril 1968. Durant les mois de janvier et février 1968 pendant lesquels se sont déroulées dans le cadre de cette étude les principales sorties sur le lac, le niveau a décliné à l'échelle de Bol, avec des oscillations normales, de 4,33 mètres à 4,15 mètres. La plupart des récoltes et des observations ont donc été effectuées en période de hautes eaux, au début de la phase de décrue.

### 2.1.2. VARIATIONS INTERANNUELLES.

Les pertes par infiltrations étant faibles, c'est l'évaporation qui joue le rôle principal dans le bilan des pertes du lac. Celle-ci, mesurée dans un bac Colorado enterré, est de 3,3 mètres par an en moyenne à Bol. Cette valeur subissant des fluctuations assez faibles d'une année à l'autre, l'amplitude de la crue du lac et la valeur des maximums et des minimums varient suivant l'hydraulicité des périodes observées; d'où les transgressions et les régressions qui marquent l'histoire du lac Tchad. La plus grande transgression est celle qui aboutit à la fin du tertiaire à la mer paléo-tchadienne qui s'étendait sur une partie du Sahara actuel, du Nigéria et de la république du Tchad.

Parmi les configurations prises par le lac Tchad au cours des cent dernières années, TILHO (1928) distingue trois formes :

— un « Petit Tchad » observé par exemple de 1912 à 1915 dans lequel la partie nord du lac est à peu près asséchée; il ne subsiste que quelques mares dans cette zone. La profondeur est de 1 mètre à 1,50 mètre avec des maximums de 3 à 4 mètres. Le lac n'est « qu'un immense marécage avec de rares miroirs d'eaux libres entourés de forêts d'ambadjs » (TILHO, *ibid.*).

— un « Tchad normal » qui est approximativement la configuration du lac en 1967-68, les eaux arrivant jusqu'à proximité de Nguigmi.

— enfin un « Grand Tchad » observé, par exemple, par NACHTIGAL en 1870, où Nguigmi est submergé; le Bahr El Ghazal se remplit sur plus de deux cents kilomètres et les zones d'eaux libres débarrassées de tous îlots végétaux ont une superficie considérable. (Cette dernière configuration paraît en fait exceptionnelle).

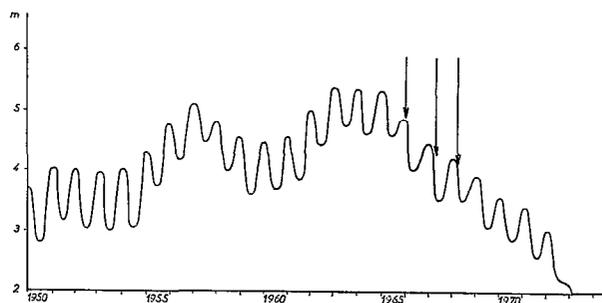


Fig. 4. — Variations interannuelles du niveau moyen du lac à l'échelle limnimétrique de Bol de 1950 à 1973. Les trois flèches indiquent les périodes où les prélèvements phytoplanktoniques ont été faits.

Une hausse sensible de niveau s'est produite en 1961-62, suivie de quelques années à hydraulicité faible ou moyenne; celles-ci se traduisent par un léger abaissement du niveau moyen du lac jusqu'à son stade en 1967-68. Depuis cette date, le niveau du lac n'a cessé de décroître avant de s'assécher partiellement en 1973 (fig. 4).

### 2.1.3. APPORTS ET RÉGIME DES AFFLUENTS.

Les principaux affluents du lac sont par ordre d'importance : le Chari, l'El Béd, la Yobé et le Yedseram. Sur un total d'apports fluviaux d'environ 40 milliards de mètres cubes par an, le Chari fournit environ 95 %, l'El Béd 4 %, la Yobé et le Yedseram moins de 1 % (BOUCHARDEAU et LEFÈVRE, 1957).

### 2.1.3.1. *Le Chari.*

La réunion de trois rivières, prenant naissance dans le massif des Bongos au nord de la République Centrafricaine forme dans son cours supérieur le Chari. Le long du cours inférieur qui nous intéresse seul ici, ce fleuve reçoit à hauteur de N'Djaména le Logone. C'est aussi là que commence le delta au sens large; sur la rive droite se détache le Bahr Linia, sur la rive gauche le Serbéouel et le Taf-Taf; ces défluent rejoignent le lac par un cours parfois diffus et sinueux; leur embouchure est en général obstruée par la végétation. A partir de N'Djaména, le Chari coule avec de nombreux méandres vers le lac, 165 kilomètres en aval. La pente est faible, de l'ordre de quelques mètres et la vitesse du courant est de deux kilomètres à l'heure environ durant l'étiage (débit mensuel moyen : 185 m<sup>3</sup>/sec. en mai); elle double au moment des hautes eaux. Au point de vue hydrologique, le Chari est un fleuve à régime tropical caractérisé par une crue annuelle très importante et un étiage prolongé. Toutefois l'alimentation méridionale du Chari et du Logone et la présence de vastes zones d'inondations de part et d'autre du lit mineur entraînent un relatif étalement de la crue et atténuent les variations brutales de débit. La crue provoquée par d'abondantes pluies sur le haut bassin, débute en juin et atteint son maximum à N'Djaména durant la première décennie de novembre. Son amplitude est là très importante, de l'ordre de huit mètres pour la hauteur des eaux et 3 200 m<sup>3</sup>/sec. environ pour le débit moyen mensuel. Elle se propage avec un certain retard et à Djimtilo, 150 km en aval, le maximum de la crue se produit trois semaines plus tard. En décembre et janvier, la décrue est rapide; en 1968 où la plus grande partie des échantillons ont été prélevés, les récoltes et les observations ont donc été effectuées en période de fin de décrue à un niveau du fleuve se rapprochant de celui des basses eaux. Durant la période considérée (janvier et février 1968), le niveau du Chari (fig. 3) a varié de 2,42 m à 1,62 m à l'échelle de N'Djaména (débit mensuel moyen : 787 m<sup>3</sup>/sec. en janvier et 437 m<sup>3</sup>/sec. en février) et de 4,70 m à 4,32 m à celle de Djimtilo.

Dans son cours inférieur, le fleuve serpente aux basses eaux entre les bancs de sable qui encombrant le lit mineur. Les rives sont élevées, avec un bourrelet souvent assez marqué qu'accompagne parfois un peuplement forestier assez dense. Aux hautes eaux, grâce à l'absence de relief, d'importantes superficies sont envahies par les eaux de part et d'autre du lit principal. Dans ces zones inondées, au moment de la décrue, des mares subsistent, séparées du cours principal.

A l'approche du delta, la profondeur du fleuve est plus importante et à partir de Mani, les bancs de

sable n'existent pour ainsi dire plus, même durant l'étiage.

### 2.1.3.2. *Les autres affluents.*

L'El Béid est une rivière de 150 à 200 kilomètres dont la plus grande partie du cours forme la frontière entre le Nigéria et le Cameroun. Il draine une zone de marécages (les « yaérés ») et reçoit les apports de plusieurs petits cours du Nord-Cameroun. Son régime est aussi influencé par des déversements de la zone d'inondation du Logone et du Chari. A son delta dans la partie sud du lac, il se subdivise en une multitude de petits canaux serpentant entre les papyrus et qui se rétrécissent à mesure que l'on va vers le nord. Ces chenaux n'atteignent bientôt plus que la largeur d'une pirogue puis disparaissent ensuite, les eaux s'enfonçant sous une immense barrière de papyrus qui obture complètement le débouché de cette rivière. Ses apports sont estimés à 2 milliards de m<sup>3</sup>/an. Le débit mensuel est à peu près nul en avril, mai, juin; les hautes eaux se situent en octobre, novembre, décembre et janvier.

La Yobé est le seul affluent de la partie nord du lac. Longue de mille kilomètres environ, coulant d'ouest en est, son cours inférieur sert de frontière entre le Nigéria et la République du Niger. C'est une rivière à écoulement temporaire qui coule durant cinq mois environ, d'août à janvier. Le cours est très sinueux; le lit mineur est en général sableux avec des berges franches. En aval de Bosso, le lit est encombré par la végétation. Les apports annuels de la Yobé au lac sont estimés par TILHO à 500 millions de mètres cubes.

Le Yedseram est un cours d'eau situé entièrement au Nigéria. Il débouche dans la partie sud du lac. Ses apports sont estimés à cent millions de mètres cubes par an (TOUCHEBEUF DE LUSSIGNY, 1969).

## 2.2. **Profondeur**

La profondeur du lac Tchad est faible, elle était estimée d'après des mesures faites entre 1965 et 1970 à 3,85 mètres en moyenne (CARMOUZE et DUPONT 1970) pour une cote du plan d'eau correspondant à 282 mètres au-dessus du niveau de la mer. Pour la période 1967-68 qui nous intéresse, la moyenne des profondeurs mesurées dans les eaux libres de la partie est voisine de 3,50 mètres; dans les îlots-bancs qui la bordent, elle est de 2,80 mètres. Dans les herbiers de la partie sud, elle oscille autour de 1,90 mètre. C'est dans l'archipel qu'ont été trouvées les valeurs les plus fortes avec 8 à 10 mètres au milieu des chenaux formés par le réseau dunaire immergé.

Dans les autres parties du lac, une profondeur moyenne inférieure à 3 mètres a été mesurée dans la partie sud. Les eaux libres du nord sont plus profondes que celles de la partie est; on y rencontre des hauteurs d'eau supérieures à 6 mètres dans toute la partie centrale et de l'ordre de 4 à 6 mètres pour le pourtour. Dans l'archipel, la profondeur des chenaux est de l'ordre de 4 à 5 mètres.

Rappelons que les rives sont dans l'ensemble basses et, dans les parties est et sud, très marécageuses; sur ces côtés, des zones profondes de quelques dizaines de centimètres bordent le lac sur de grandes étendues.

### 2.3. Température de l'eau

Les températures de l'eau en surface présentent deux maximums, l'un en juin, l'autre en septembre. Un minimum se produit en août pendant la saison des pluies; un deuxième, plus important, se situe en janvier. La moyenne annuelle est de l'ordre de 27°C (Grandes zones écologiques du lac Tchad 1972). La plupart des récoltes ont donc été effectuées durant la saison où les eaux sont à leur température minimale, soit en moyenne 19°C environ.

Dans la journée, la température de l'eau s'élève à partir de neuf heures et atteint son maximum vers quinze heures; les températures minimales sont atteintes en fin de nuit, l'amplitude des variations étant en janvier-février de 3 à 4°C. La température de surface de l'eau est certains jours de la saison chaude supérieure de 3°C à celle du fond, toutefois cette stratification thermique ne persiste pas durant la nuit et l'on a affaire à un lac polymictique.

### 2.4. Transparence

La transparence a été mesurée à l'aide d'un disque de Secchi de trente centimètres de diamètre (fig. 5).

Elle est conditionnée par deux facteurs : les matières en suspension et le plancton, ce dernier étant d'autant moins important que la turbidité due aux matières en suspension est forte. Dans le lac Tchad, cette dernière est importante; la profondeur étant faible, le vent, par l'agitation du milieu qu'il provoque, remet en suspension les sédiments déposés sur le fond. De plus, le Chari, surtout durant la première phase de sa crue, apporte une quantité importante de matériaux en suspension qui envahissent une partie du lac avant de se déposer.

Les éléments qui interviennent dans les fluctuations de la turbidité du lac Tchad sont donc les suivants :

— la force du vent : au-delà d'une certaine force, l'ensemble de la couche d'eau est agitée par les vagues sur toute son épaisseur et les sédiments du fond, remis en suspension, rendent les eaux du lac très limoneuses, surtout dans les zones où les dépôts sont argileux. Durant la saison des pluies, les vents de sud-ouest soufflent avec force par longues périodes, la turbidité des eaux libres de la zone est atteint son maximum. Le disque de Secchi disparaît à moins de 20 cm de profondeur. En saison sèche, l'harmattan souffle de nord-est; le plus souvent, il se lève avec le jour et se calme vers 12 ou 13 heures. La transparence est là aussi fonction de son intensité.

— l'emprise du vent sur le milieu : les zones d'eaux libres et leurs alentours sont beaucoup moins clairs que les chenaux de l'archipel, étroits, et abrités du vent par les îlots et les presqu'îles.

— la nature et la quantité des sédiments du fond : la partie est du lac où se sédimente la majeure partie des apports du Chari a la turbidité la plus forte. Les eaux libres du nord, à force de vent égale, restent relativement transparentes, la nature du fond étant différente et les apports en sédiments du Chari étant plus faibles. De plus, les quantités totales déposées sont moins importantes parce que limitées aux périodes où le lac s'étend jusqu'à Nguigmi.

— la proximité du delta du Chari : les eaux de crue de ce dernier, très chargées en matières en suspension (la transparence du fleuve à Mani est d'une quinzaine de centimètres durant les mois de juillet-août) envahissent presque toute la partie est du lac.

— l'importance quantitative du plancton : en saison chaude, des développements massifs de phytoplancton (fleurs d'eau à *Melosira*, à *Microcystis*, à *Anabaena*) se produisent, accroissant la turbidité.

— la présence de végétation immergée favorable au développement du périphyton : les transparences les plus fortes ont été trouvées dans les anses terminales de l'archipel entourées de végétation aquatique ou dans les zones d'herbiers immergés.

À partir des valeurs mesurées en février 1968 sur le lac, les transparences moyennes par biotope exprimées en centimètres ont été calculées (tabl. I).

Des valeurs trouvées en février 1965 et en mars 1967 sont données à titre de comparaison, de même que la transparence moyenne annuelle calculée à partir de mesures effectuées chaque mois en 1964-65. On peut classer par ordre de turbidité décroissante les grands biotopes du lac comme suit : les eaux libres des parties sud et est, les îlots-bancs bordant ces zones, les eaux libres du nord, l'archipel, les



TABLEAU I  
Transparence en différents biotopes du lac

Lieu	Février 1965	Mars 1967	Février 1968	Moyenne annuelle (1964-1965)
Zone marécageuse à l'est du delta.....	153	—	103	141
Eaux libres de la partie est.....	69	—	38	59
Eaux libres du sud.....	—	31	34	—
Eaux libres de la partie nord.....	—	58	79	—
Ilots-bancs de la partie est.....	91	—	48	53
Archipel.....	109	97	113	89
Anses terminales de l'archipel.....	163	199	—	139

pour un lac sans émissaire apparent; la conductibilité ramenée à 25 °C est de l'ordre de 60 à 70 micromhos au débouché du Chari et atteint 800 micromhos dans la partie septentrionale du lac. Dans le fond de certaines anses qui pénètrent assez profondément à l'intérieur des terres, dans la partie nord-est de l'archipel, elle peut atteindre 1 500 micromhos. Elle augmente progressivement à mesure que l'on s'éloigne du delta du Chari avec une brusque discontinuité au niveau de l'emplacement de la Grande Barrière. On peut considérer que, pour l'ensemble du lac, les courbes d'isoconductibilité sont en gros concentriques au delta.

A partir des connaissances actuelles, on peut attribuer pour 1967-1968 les conductibilités suivantes aux biotopes principaux du lac :

— Partie est du lac :

Eaux libres face au delta du Chari.	55 à 70	micromhos
Eaux libres du sud du lac.....	75 à 150	—
Ilots-bancs.....	60 à 100	—
Zone marécageuse à l'est du delta du Chari.....	55 à 100	—
Archipel au nord du delta du Chari	90 à 135	—
Archipel au nord-est du delta du Chari.....	140 à 400	—

— Partie nord du lac :

Eaux libres.....	250 à 500	micromhos
Zone nord (ilots-bancs et petite zone d'eaux libres vers Nguigmi)....	500 à 800	—
Archipel.....	400 à 1000	—
Anses terminales de la partie nord-est de l'archipel.....	1000 à 1500	—

### 2.5.2. CONDUCTIBILITÉS MESURÉES AU COURS DES ÉCHANTILLONNAGES.

En janvier-février 1968, les mesures ont été effectuées à bord à l'aide d'un conductimètre Philips P.R. 9500, immédiatement après la récolte des échantillons (fig. 6). La conductibilité était de

55 à 68 micromhos dans les eaux libres de l'est du lac et de 80 à 130 micromhos dans l'archipel. Sur l'ensemble des parties est et sud du lac, la conductibilité ne dépasse 150 micromhos que dans l'extrême est et l'extrême sud du lac. On remarquera l'augmentation brusque de la concentration en sel dans la zone où existait la Grande Barrière; la conductibilité passe à cet endroit de 130 à 400 micromhos en l'espace de dix kilomètres. Dans la partie nord du lac, la teneur en sel augmente régulièrement à mesure que l'on va vers le nord; la plus forte conductibilité trouvée (795 micromhos) a été mesurée dans les ilots-bancs qui bordent la côte septentrionale.

Ces données sont complétées par celles de CARMOUZE (1968) qui a effectué en avril 1968 un certain nombre de mesures et tracé les courbes isohalines correspondantes (fig. 7). La carte établie donne une représentation de la conductibilité pour l'ensemble du lac à une période très voisine de celle où a été effectuée la principale mission botanique et complète ainsi les données recueillies au cours de cette dernière.

### 2.5.3. CONDUCTIBILITÉ DES AFFLUENTS.

La conductibilité du Chari durant l'année 1967-68 varie de 35 à 75 micromhos autour d'une moyenne de 48,1 micromhos, soit une amplitude des variations de 40 micromhos. Les valeurs minimales se situent en août durant la première partie de la crue annuelle. Les valeurs maximales se situent durant les mois d'étiage, soit février, mars, avril, mai. Durant les mois de janvier-février 1968 qui nous intéressent ici, la conductibilité du Chari est de l'ordre de 60 à 70 micromhos.

Dans l'El Béid avant son delta, une conductibilité de 127 micromhos a été mesurée le 22 janvier 1968 dans le cours de la rivière, soit environ le double de celle du Chari à la même époque. Dans une zone

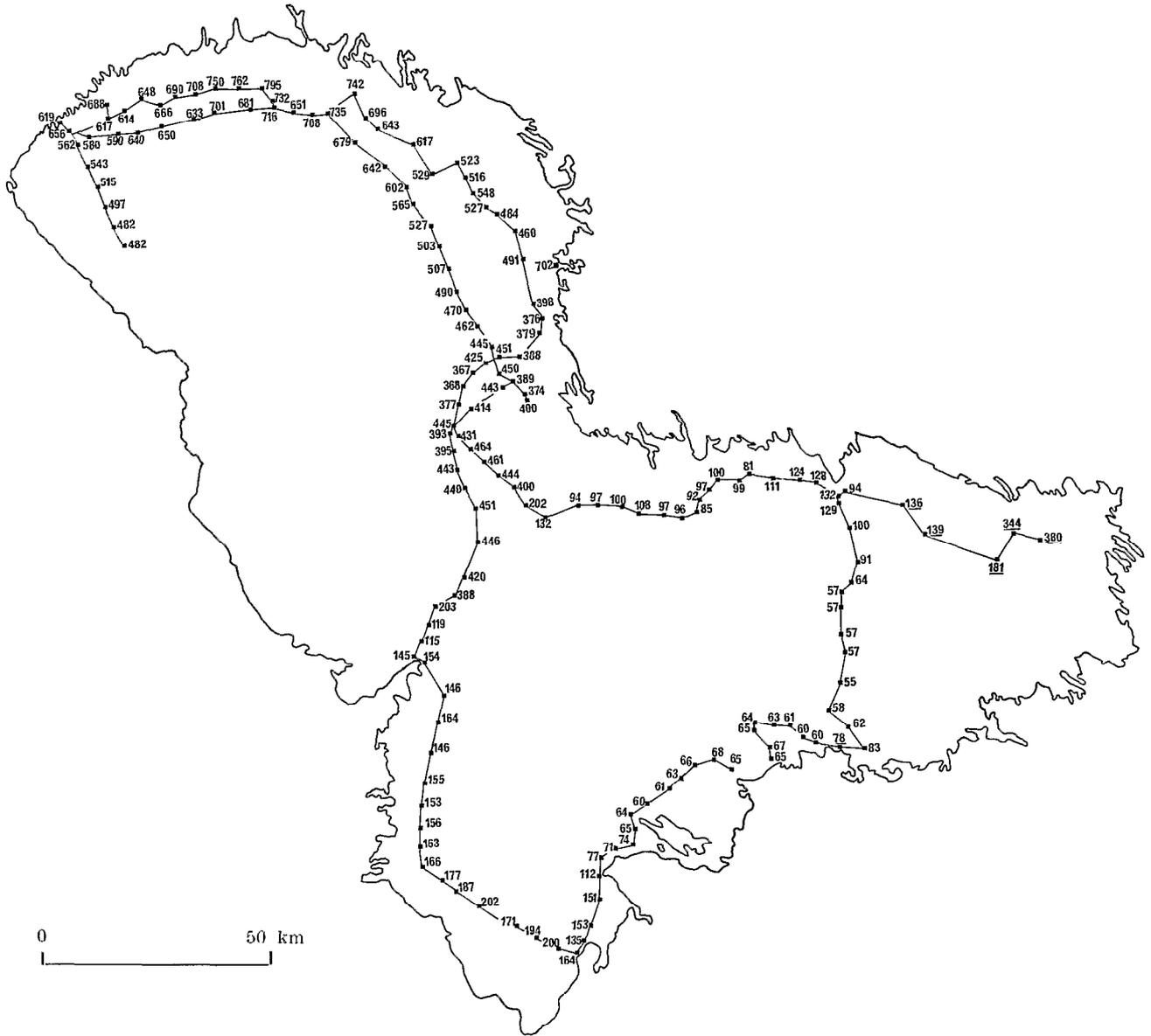


Fig. 6. — Conductibilités électriques à 25°C mesurées le long de l'itinéraire parcouru en janvier et février 1968.

fermée par la végétation à proximité du delta, la conductibilité était de 185 micromhos.

## 2.6. pH

La méthode colorimétrique (comparateur Hellige) a été utilisée pour les mesures de pH.

Les eaux du lac sont alcalines, les pH mesurés durant la mission 1968 varient entre 7,2 et 9,1. Les valeurs les plus fortes ont été trouvées dans la partie nord du lac où la teneur en sels est la plus élevée (fig. 8 et tabl. II).

D'après les mesures effectuées en 1964 et en 1965 dans la région de Bol, les variations horaires du pH sont faibles. On a ainsi observé une amplitude maximale de 0,5 unité durant 24 h, les valeurs trouvées ayant varié de 7,35 à 7,70, de 7,50 à 8,00, de 7,70 à 8,20 et de 7,40 à 7,70. Le maximum se situe aux environs de 16 h et le minimum vers 6 h.

Dans le Chari, le pH est neutre ou le plus souvent légèrement alcalin; d'après des mesures faites durant une étude précédente (GRAS *et al.*, *ibid.*), il varie entre 6,9 et 7,7 avec une moyenne de 7,28.

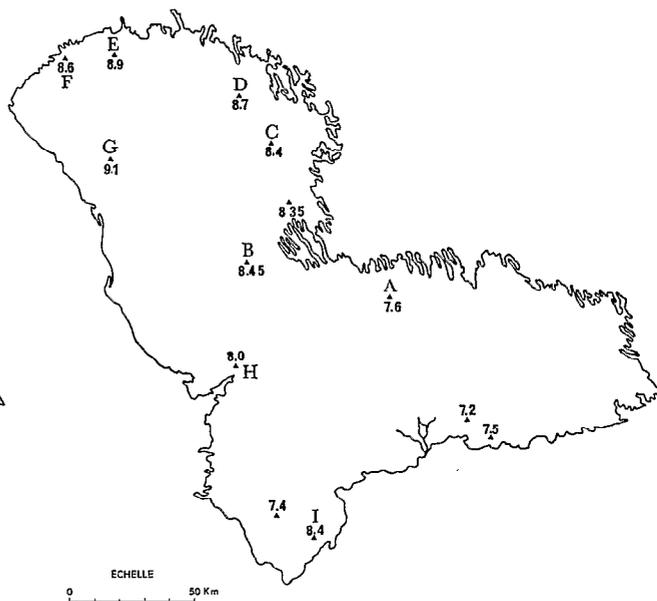
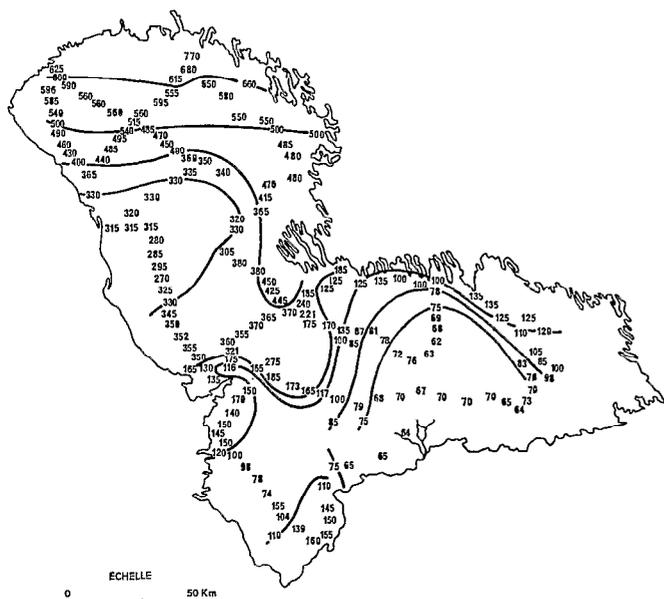


Fig. 7. — Carte de la conductibilité du lac Tchad en avril 1968 (CARMOUZE, 1968).

Fig. 8. — pH mesurés en février 1968 et localisation des points de prélèvement pour analyse chimique.

TABLEAU II

Valeurs moyennes du pH dans le lac Tchad

Lieu	N° de prélèvement	Date	Heure	pH
<i>Partie sud du lac</i>				
Ilots-bancs au sud de Tarara.....	16	9/2/68	9 h 00	7,20
Zone marécageuse à l'est du delta.....	17	9/2/68	11 h 30	7,50
Archipel au sud de Baga Sola.....	A. 29	13/2/68	9 h 10	7,60
Baga Kawa.....	H. 63	26/2/68	17 h 40	8,00
Ilots-bancs au nord-ouest de Wulgo.....	66	27/2/68	18 h 45	7,40
Ilots-bancs à l'ouest de Wulgo.....	I. 68	28/2/68	11 h 15	8,40
<i>Partie nord du lac</i>				
Nord des ilots-bancs de la Grande Barrière.....	B. 58	14/2/68	11 h 20	8,45,
Archipel à l'ouest de Kaya.....	37	15/2/68	8 h 00	8,35
Archipel au nord-ouest de Liwa.....	C. 41	15/2/68	13 h 00	8,40
Archipel au nord-ouest de Liwa.....	D. 43	16/2/68	11 h 15	8,70
Ilots-bancs extrême nord du lac.....	E. 51	17/2/68	11 h 00	8,90
Nord des eaux libres.....	F. 50	20/2/68	15 h 10	9,10
Ilots-bancs un peu à l'est de Nguigmi.....	G. 49	22/2/68	17 h 40	8,60

2.7. Teneur en oxygène dissous

Les seuls renseignements connus pour le lac Tchad sont les quelques profils de température et d'oxygène dissous en fonction de la profondeur, déterminés durant le second trimestre de 1968 par LEMOALLE (1968) dans la région de Bol. Les mesures ont été effectuées à l'aide d'une thermistance et d'une cellule à oxygène de type Mackereth;

les résultats sont donnés en pourcentage de saturation (fig. 9). D'après ces résultats, l'eau du lac en surface dans la région étudiée est légèrement sur-saturée en oxygène durant la plus grande partie de la journée. A 2 mètres de profondeur, la teneur en oxygène diffère peu de la teneur en surface sauf durant les jours très calmes. Ainsi le 4 mai, jour exceptionnellement calme, la teneur en oxygène en surface passe de 6,5 mg/l à 7 h 00 à 8,90 à

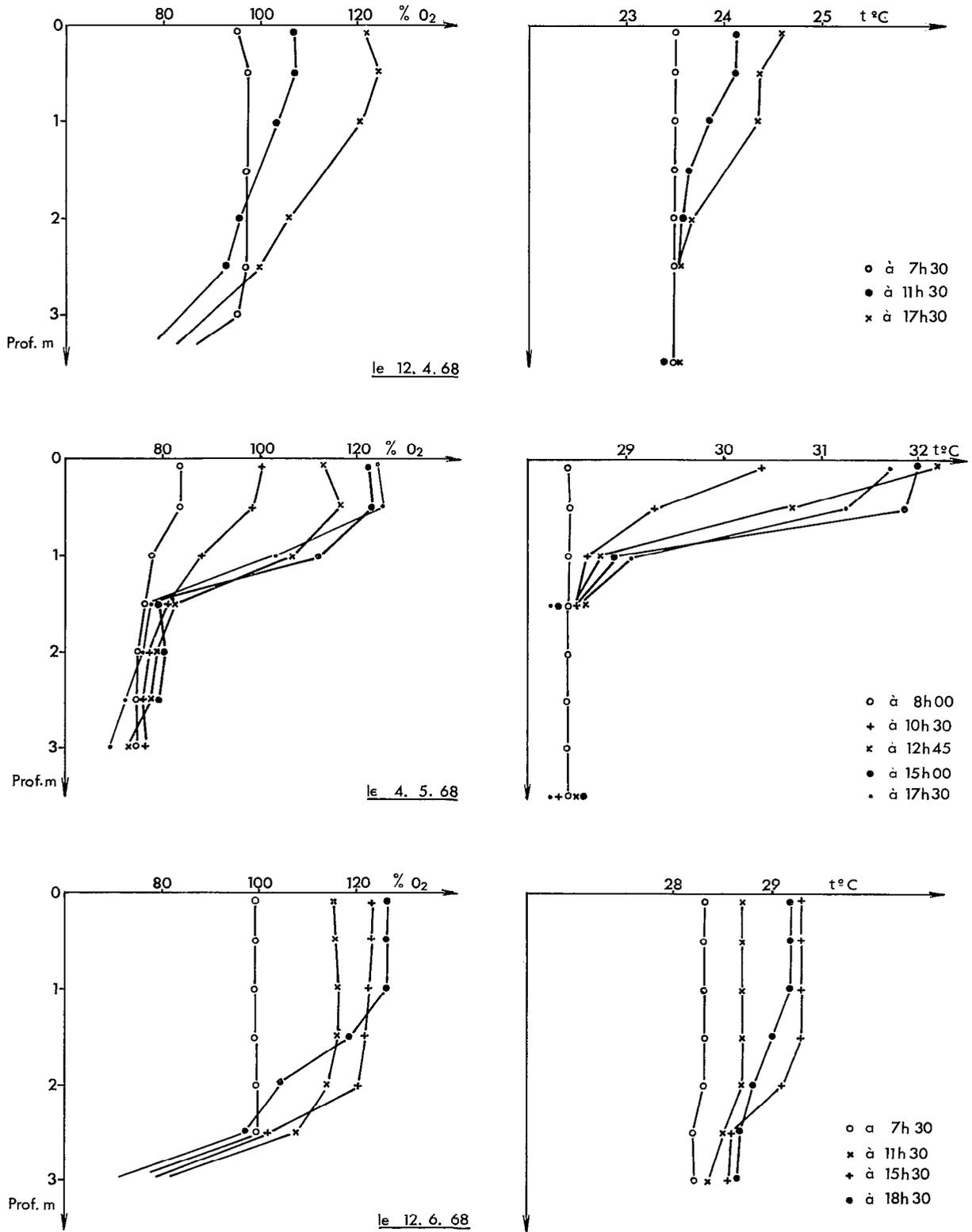


Fig. 9. — Profils de température et de teneur en oxygène dissous dans le lac à proximité de Bol (LEMOALLE, 1969).

17 h 00; elle commence à décroître à 19 h 00 après une période de stabilité.

**2.8. Alcalinité**

L'alcalinité a été mesurée par virage d'un indicateur coloré. Les résultats sont donnés en milliéquivalents d'ions hydrogène par litre. Dans le lac Tchad, une étude préliminaire effectuée dans la partie est en 1965 (GRAS *et al.*, *ibid.*) a montré que les variations de l'alcalinité suivaient celles de la conductibilité. Les observations de CARMOUZE (1968) sur les caractéristiques chimiques de l'ensemble du lac ont montré que jusqu'à 650 micromhos la relation entre la conductibilité et l'alcalinité pouvait se traduire par l'équation  $C = 95,5 A - 2,0 A^2$  où C est la conductibilité en micromhos à 25° C et A l'alcalinité totale en milliéquivalents par litre.

Les valeurs suivantes ont été obtenues sur des échantillons prélevés en février 1968 (tabl. III) :

TABLEAU III

Alcalinité de l'eau en différents points du lac  
(Voir localisation des points sur la figure 8)

Lieu	N° de prélèvement	Alcalinité
<i>Parties est et sud du lac</i>		
Archipel au sud de Baga Sola.....	A. 29	0,95
Baga Kawa.....	H. 63	1,40
Ilots-bancs à l'ouest de Wulgo.....	I. 68	1,60
<i>Partie nord du lac</i>		
Nord des ilots-bancs de la Grande Barrière.....	B. 58	4,75
Archipel au nord-ouest de Liwa.....	C. 41	5,40
Archipel au nord-ouest de Liwa.....	D. 43	6,55
Ilots-bancs extrême nord du lac.....	E. 51	6,45
Ilots-bancs à l'est de Nguigmi.....	F. 50	6,50
Nord des eaux libres.....	G. 49	6,50

Ces données sont complétées par celles de la carte de la figure 10 (CARMOUZE, *ibid.*). Celle-ci indique l'alcalinité pour l'ensemble du lac telle qu'elle a été mesurée dans le courant d'avril 1968 soit à une période relativement très proche de celle où ont été effectués la plupart des échantillonnages botaniques.

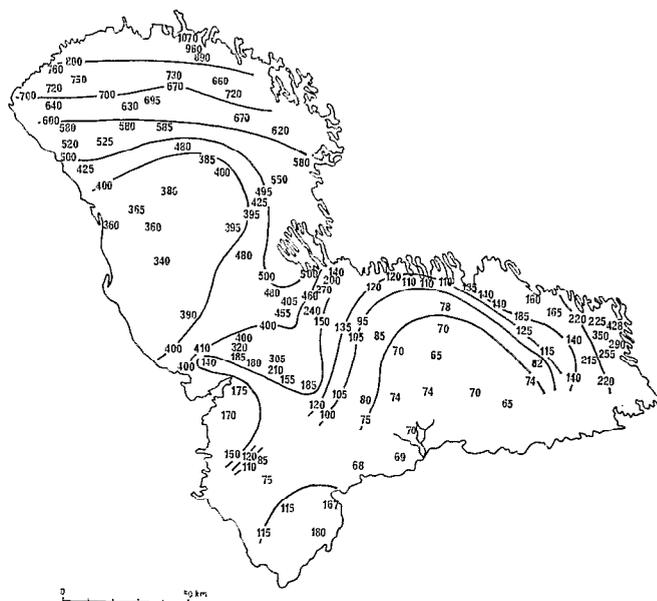


Fig. 10. — Carte de l'alcalinité du lac exprimée en  $meq/l \times 100$  en avril 1968 (CARMOUZE, 1968).

**2.9. Principaux ions, silicates et fer**

**2.9.1. LAC TCHAD.**

Des dosages ont été effectués (1) sur des échantillons d'eau récoltés à différents points (fig. 8) durant la mission de février 1968 sur l'ensemble du lac.

Les cartes de répartition des différents éléments chimiques (fig. 11, 12, 13 et 14) établies par CARMOUZE (1968) d'après des mesures effectuées en avril 1968 complètent ces quelques données et permettent un meilleur aperçu de la physionomie du lac. La comparaison des résultats trouvés en février avec ceux obtenus en avril fait apparaître dans la région directement à l'est de Nguigmi, des teneurs en Mg, Na et K plus faibles en février qu'en avril. Pour le reste du lac, les valeurs trouvées en février concordent sensiblement avec celles du mois d'avril.

Dans ses conclusions, CARMOUZE divise les eaux du lac à la saison sèche en quatre masses d'eau (fig. 15) distinctes au point de vue chimique. Si l'on admet que les cations sont équilibrés par les carbonates (hypothèse qui n'est plus rigoureuse pour les eaux de conductibilité supérieure à 300 micromhos), les pourcentages des ions dans chacune de ces masses d'eau sont les suivants :

(1) Nous remercions MM. CARMOUZE et LEMOALLE, chimistes au Centre O.R.S.T.O.M. de N'Djaména, qui ont effectué ces dosages.

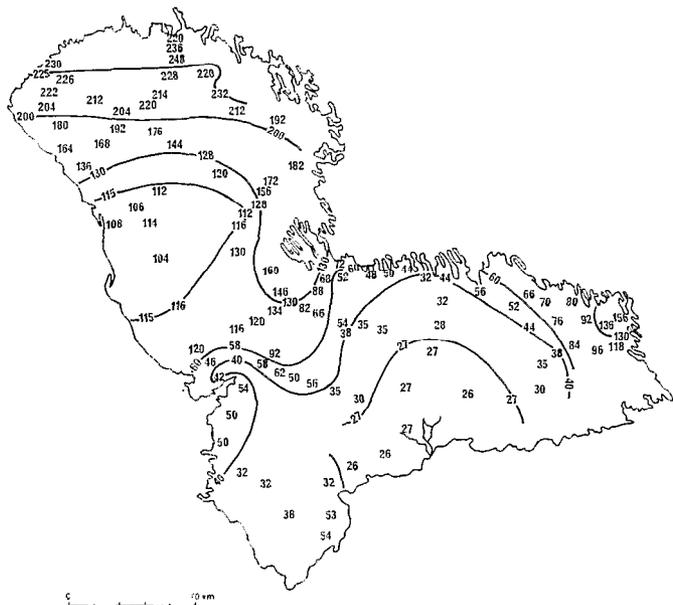


Fig. 11. — Carte de distribution des ions Ca exprimés en  $\text{mg/l} \times 100$  en avril 1968 (CARMOUZE, 1968).

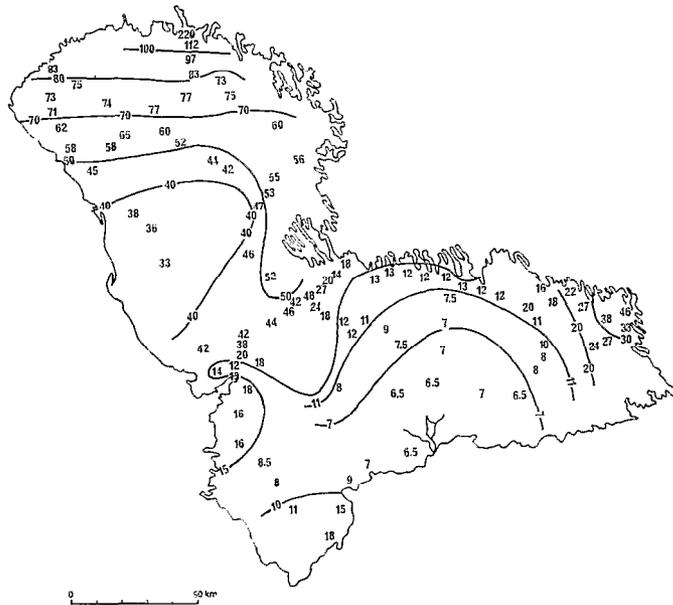


Fig. 13. — Carte de distribution des ions K exprimés en  $\text{mg/l} \times 100$  en avril 1968 (CARMOUZE, 1968).

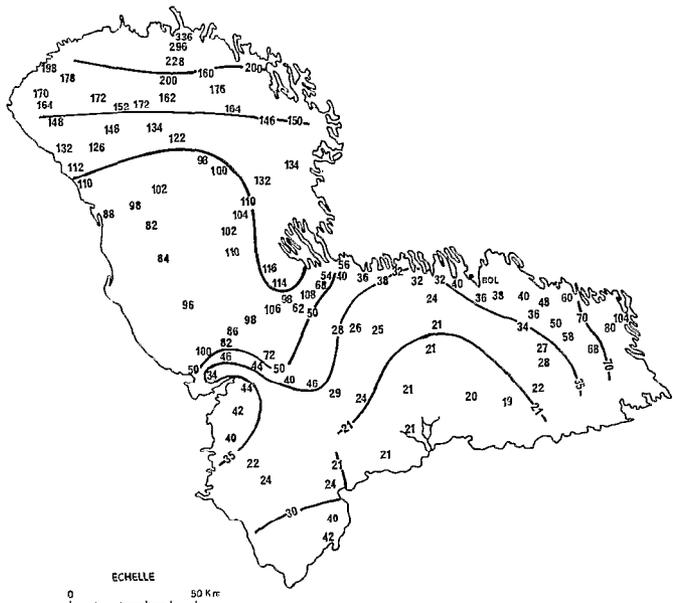


Fig. 12. — Carte de distribution des ions Mg exprimés en  $\text{mg/l} \times 100$  en avril 1968 (CARMOUZE, 1968).

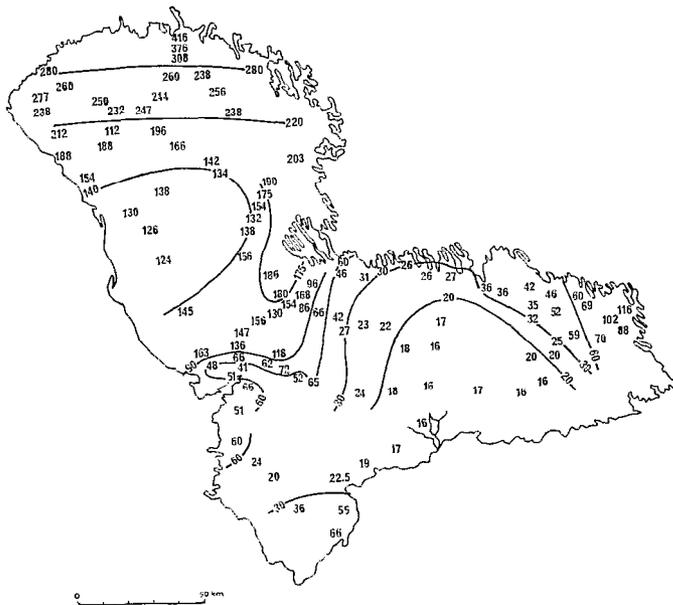


Fig. 14. — Carte de distribution des ions Na exprimés en  $\text{mg/l} \times 100$  en avril 1968 (CARMOUZE, 1968).

Éléments	Eau I	Eau II	Eau III	Eau IV
$\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$ ..	50,00 %	50,00 %	50,00 %	50,00 %
Ca.....	15,50 %	19,00 %	15,50 - 19,00 %	17,75 %
Mg.....	11,50 %	14,50 %	11,50 - 14,50 %	13,50 %
Na.....	17,75 %	11,50 %	17,70 - 11,50 %	13,50 %
K.....	5,25 %	5,00 %	5,25 - 5,00 %	5,25 %

A l'exception d'une étroite zone située au nord d'une ligne est-ouest passant sensiblement à hauteur de Nguigmi, les eaux de type I occupent toute la partie nord du lac. La partie centrale de la zone est est occupée par des eaux du type II. Par rapport à ce dernier, les eaux I sont, en proportions relatives, plus pauvres en calcium et magnésium et plus riches

TABLEAU IV

Teneurs en ions majeurs et en fer des eaux du lac aux différentes stations

Février 1968	Ca mé/l	Mg mé/l	K mé/l	Na mé/l	Fe ugr/l	N° de préle- vement
<i>Parties est et sud du lac</i>						
Archipel au sud de Baga Sola.....	0,40	0,25	0,10	0,37	910	29. A
Baga Kawa.....	0,55	0,28	0,17	0,69	1 050	63. H
Ilots-bancs à l'est de Wulgo.....	0,60	0,35	0,19	0,78	1 000	68. I
<i>Partie nord du lac</i>						
Nord des ilots-bancs de la Grande Barrière.....	1,60	1,35	0,57	2,00	20	58. B
Archipel au nord-ouest de Liwa.....	1,90	1,35	0,68	2,22	30	41. C
Archipel au nord-ouest de Liwa.....	2,40	1,77	0,92	2,84	50	43. D
Ilots-bancs extrême nord du lac.....	2,25	1,95	0,91	2,80	30	51. E
Ilots-bancs à l'est de Nguigmi.....	2,30	1,70	0,85	2,75	60	50. F
Nord des eaux libres.....	1,95	1,40	0,67	2,13	70	49. G

SO<sub>4</sub> et Cl n'ont été trouvés qu'à l'état de traces

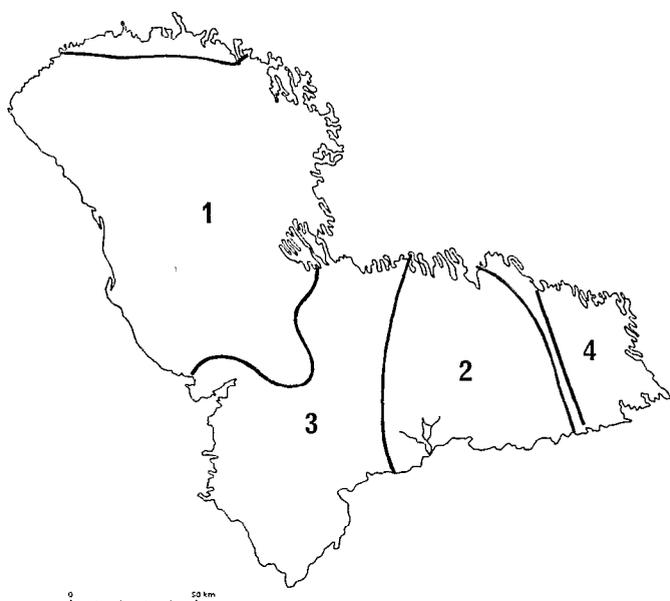
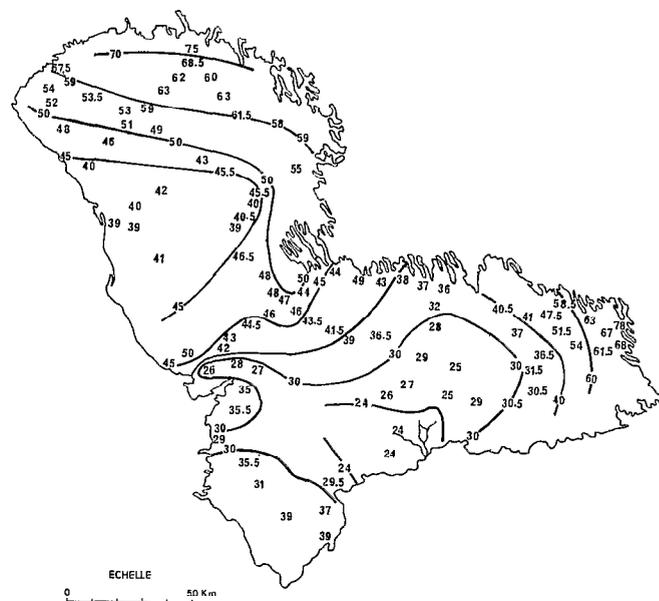


Fig. 15. — Limites des différentes masses d'eau du lac Tchad d'après leurs caractéristiques chimiques (d'après GARMOUZE, 1968).

Fig. 16. — Carte de distribution des silicates exprimés en mgr de SiO<sub>2</sub>/l en avril 1968 (GARMOUZE, 1968).

en sodium. Les eaux de l'extrême est du lac, à l'exception d'une bande étroite située au sud d'Iseirom sont de type IV. Entre les zones I et II, se trouve une masse d'eau (type III) hétérogène où les pourcentages des ions varient entre ceux des eaux I et II.

Dans la partie la plus septentrionale, au nord d'une ligne est-ouest passant par Nguigmi, et dans l'extrême nord-est de la zone est, existent des eaux

où le rapport des ions  $\frac{Ca}{Mg}$ , de l'ordre de 1,30 pour l'ensemble du lac, est sensiblement différent. Il est plus élevé dans l'extrémité des bras de l'archipel est, et plus faible dans l'extrême nord où il y a très probablement précipitation du calcium.

Les silicates sont présents dans les eaux du lac à une concentration relativement élevée et ne peuvent de ce fait être ici un facteur limitant dans

le développement du phytoplancton. Les eaux de l'extrême est sont aussi riches en silicates que celles de la partie nord (fig. 16).

Le fer est plus abondant dans les parties est et sud du lac que dans la partie nord.

### 2.9.2. AFFLUENTS.

Des données sur l'hydrochimie du Chari et de ses affluents ont été fournies par ROCHE (1967 et 1969). D'après les observations faites à hauteur de N'Djaména, les eaux du Chari se caractérisent par une forte proportion de bicarbonates (74 à 76 % du poids total des ions); les chlorures et les sulfates sont en très faible quantité (moins de 0,05 mé/l) et n'ont pu être dosés avec les méthodes utilisées.

Pour les cations, les teneurs en calcium et en magnésium varient pour le premier entre 3 et 8 mg/l (0,15 à 0,40 mé/l soit 9 à 14 % du poids total des ions), pour le second entre 1 et 4 mg/l (0,10 à 0,30 mé/l soit 3 à 6 % du poids total des ions); le rapport Ca/Mg est compris entre 0,50 et 0,85, il est le plus souvent égal à 0,70. Les teneurs en sodium et en potassium varient pour le premier entre 1,2 et 3,9 mg/l (0,05 à 0,17 mé/l) et pour le second entre 0,8 et 3,5 mg/l (0,02 à 0,09 mé/l).

Pour l'El Béid, l'analyse de deux échantillons d'eau prélevés à la fin de janvier 1968, l'un dans le cours de la rivière à son delta, l'autre dans une mare adjacente, a donné les résultats suivants :

	CO <sub>3</sub> H mé/l	Ca mé/l	Mg mé/l	K mé/l	Na mé/l	SiO <sub>2</sub> mgr/l
El Béid.....	1,40	0,84	0,14	0,12	0,40	28,0
Mare.....	2,40	1,20	0,90	0,20	0,30	28,5

La représentation graphique de KUFFERATH (1951) a été employée pour figurer la composition chimique des différentes eaux rencontrées (fig. 17). Dans la classification de cet auteur, l'ensemble de ces eaux peut être rangé dans le type tétraionique (Potassium et Sodium comptant pour un seul ion alcalin) polycarbonaté.

### 2.10. Nature du fond

Le fond du lac ne comporte que des substrats meubles : vase, argile et sable. Les débris végétaux sont présents dans la plupart des cas, surtout en bordure des îles de l'archipel, des îlots-bancs et près des côtes; ils forment alors une tourbe de couleur brune dont l'épaisseur peut atteindre plusieurs centimètres.

Les eaux libres des parties sud et est présentent une majorité de fonds argilo-vaseux qui correspondent aux dépressions d'un système dunaire noyées par une argile bleue compacte. En certains endroits, les sommets dunaire ne sont pas encore recouverts

par des sédiments lacustres et le fond est alors sableux. Aux approches du delta du Chari, les fonds sont sableux ou sablo-limoneux. Les eaux libres du nord présentent un fond sableux recouvert d'une mince couche d'argile granuleuse; les mollusques y sont très abondants.

Dans les îlots-bancs, le fond est en général vaseux

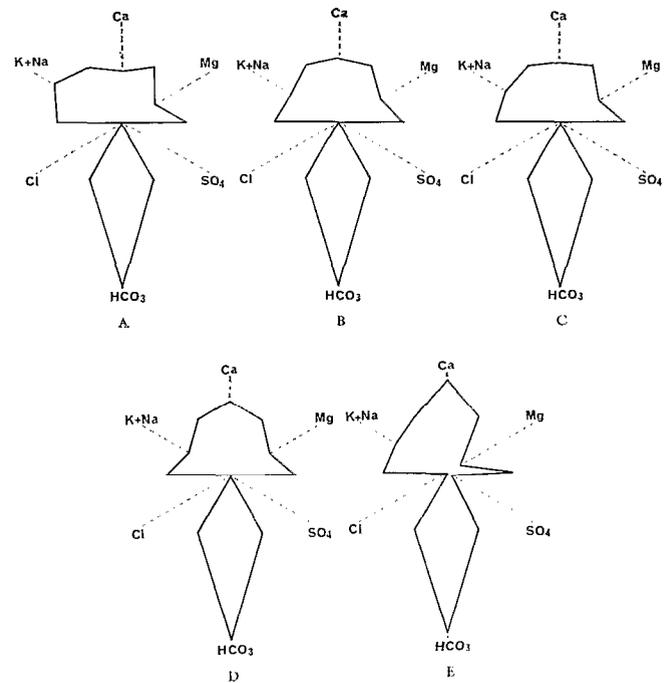


Fig. 17. — Composition chimique des différents types d'eau rencontrés (représentation graphique de KUFFERATH, 1951). A. Lac Tchad type I (avril 1968); B. Lac Tchad type II (avril 1968); C. Lac Tchad type IV (avril 1968); D. Bas Chari (moyenne de 7 dosages effectués entre janvier 1966 et mars 1967); E. El Béid à son delta (janvier 1968).

avec d'abondants débris végétaux et quelquefois des granules d'argile.

Dans l'archipel, la variété des fonds est importante et on rencontre plusieurs types « depuis le sable presque pur, le sable vaseux, le sable mêlé à des granules d'argile ou à des débris végétaux en passant par les fonds vaseux plus ou moins mêlés d'argile, jusqu'aux fonds tourbeux presque essentiellement formés de débris végétaux avec un peu de vase » (LÉVÊQUE, 1967).

Dans certaines anses terminales de l'archipel de la zone nord où la concentration des eaux est forte, les débris végétaux du fond sont recouverts de dépôts carbonatés.

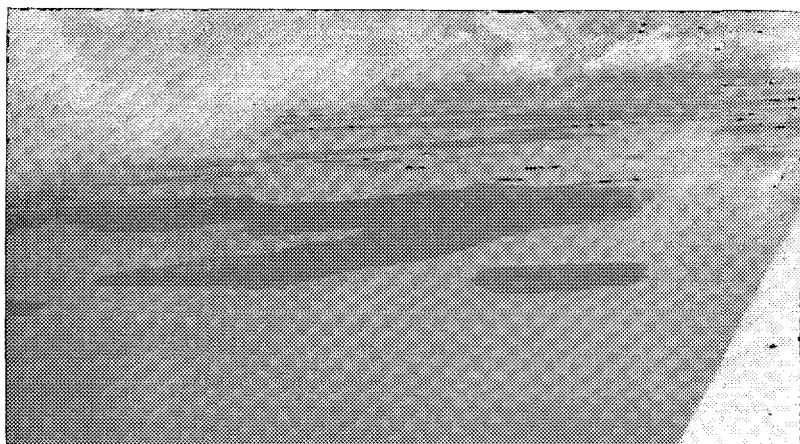
Dans les herbiers et les zones marécageuses, le fond est composé d'une couche vaseuse avec une très importante quantité de débris végétaux, l'ensemble reposant sur un substrat sableux ou argilo-sableux.

Manuscrit reçu au S.C.D. le 1<sup>er</sup> juillet 1974.

## BIBLIOGRAPHIE

- Annuaire hydrologique. Année 1958, 1961. — O.R.S.T.O.M., Paris, 560 p.
- BILLON (B.), 1965. — La prévision des crues du lac Tchad. O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy, 41 p. *multigr.*
- BILLON (B.), BOULIN (E.), 1962. — Navigation entre Fort-Lamy et les cuvettes lacustres. O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy, 57 p. *multigr.*
- BLACHE (J.), 1964. — Les poissons du bassin du Tchad et du bassin adjacent du Mayo-Kebbi. *Mém. O.R.S.T.O.M.*, 4, 483 p., 147 fig., bibliogr.
- BOUCHARDEAU (A.), 1958. — Le lac Tchad. In Annuaire hydrologique de la France d'Outre-Mer, 1956. O.R.S.T.O.M., Paris, 12 fig. : 9-26.
- BOUCHARDEAU (A.), LEFÈVRE (R.), 1957. — Monographie du lac Tchad. Éd. provisoire, O.R.S.T.O.M., Paris, 112 p. *multigr.*
- CARMOUZE (J. P.), 1968. — Ions majeurs, phosphates et silicates dans le lac Tchad en avril 1968. O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy, 21 p. *multigr.*, 16 tabl., bibliogr.
- 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.*, 3, 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.*, 2, 1 : 61-65.
- CARMOUZE (J. P.), 1971. — Circulation générale des eaux dans le lac Tchad. *Cah. O.R.S.T.O.M.*, sér. *Hydrobiol.*, 5, 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.*
- COMPÈRE (P.), 1967. — Algues du Sahara et de la région du lac Tchad. *Bull. Jard. Bot. Nat. Belg.*, 37 : 109-288, 20 pl., bibliogr.
- DAGET (J.), 1967. — Introduction à l'étude hydrobiologique du lac Tchad. *C.r. Soc. Biogéogr.*, 380 : 6-10.
- DEJOUX (C.), 1968. — Le lac Tchad et les chironomides de sa partie est. *Ann. Zool. Fenn.*, 5 : 27-32, 4 fig., bibliogr.
- Documents scientifiques de la mission TILHO (1906-1909-1910-1911-1914). — Émile Larose, Paris, 3 vol. 412+631+484 p.
- Données climatologiques concernant la région de Bol durant les années 1963, 1964 et 1965. O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy, 16 p. *multigr.*
- DUPONT (B.), 1967. — Étude sédimentologique du lac Tchad. Premiers résultats. O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy, 112 p. *multigr.*, 33 fig.; bibliogr.
- 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.*, 2, 1 : 9-42.
- DUSSART (B.), 1966. — Limnologie. Gauthier-Villars, Paris, 678 p.
- Grandes zones écologiques du lac Tchad, 1972. — *Cah. O.R.S.T.O.M.*, sér. *Hydrobiol.*, 6, 2 : 103-169.
- 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.*, 1 : 1-4, 25-100, 15 fig., 4 pl., bibliogr.
- GUICHARD (E.), 1957. — Eaux du lac Tchad et des mares permanentes au nord d'Ira. O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy, 26 p. *multigr.*
- HEPPER (F. N.), 1970. — Plant life on sandbanks and papyrus swamps. *Geographical magazine*, mai 1970 : 577-582.
- HOPSON (A. J.), 1964. — Annual report (1963). Federal Fisheries Service, Lake Chad Research Station, Malamfatori, Lagos. 34 p.
- HUTCHINSON (G. E.), 1957. — A treatise on Limnology. Vol. 1 John Wiley and Sons, New York, 1015 p.
- ILTIS (A.), ROCHE (M. A.), 1967. — Compte rendu de mission sur le lac Tchad. O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy, 8 p. *multigr.*
- KUPFERATH (J.), 1951. — Représentation graphique et classification chimique rationnelle en types des eaux naturelles. *Bull. Inst. Roy. Sc. Nat., Belg.*, 27, 43-44-45, 22 p.
- LEMOALLE (J.), 1969. — Premières données sur la production primaire dans la région de Bol (avril-octobre 1968). *Cah. O.R.S.T.O.M.*, sér. *Hydrobiol.*, 3, 1 : 107-119.
- LÉONARD (J.), 1966. — The 1964-1965 Belgian Trans-Saharan Expedition. *Nature*, 209 : 126-128.
- LÉONARD (J.), 1969. — Aperçu sur la végétation du lac Tchad. Supplément au Premier chapitre de la Monographie Hydrologique du lac Tchad de TOUCHEBEUF DE LUSSIGNY. O.R.S.T.O.M., Paris, Service Hydrologique, 11 p. *multigr.*
- LÉONARD (J.), COMPÈRE (P.), 1967. — *Spirulina platensis* (Gom.) Geitl., algue bleue de grande valeur alimentaire par sa richesse en protéines. *Bull. Jard. Bot. Nat. Belg.*, 37, 1, suppl. 23 p.
- LÉVÊQUE (C.), 1967. — Mollusques aquatiques de la zone est du lac Tchad. *Bull. I.F.A.N.*, 29, sér. A, 4 : 1494-1533, 15 fig., bibliogr.
- MALEY (J.), 1970. — Atlas de pollens du Tchad. *Bull. Jard. Bot. Nat. Belg.*, 40, 1 : 29-48.
- ROCHE (M. A.), 1967. — Première estimation des apports en sels du lac Tchad par le Chari. O.R.S.T.O.M., Fort-Lamy, 50 p. *multigr.*, bibliogr.

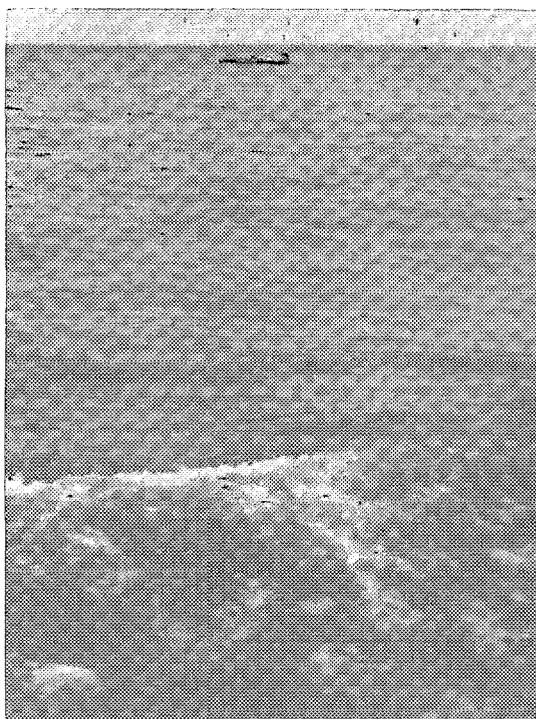
- ROCHE (M. A.), 1969. — Salinité des eaux in Monographie Hydrologique du lac Tchad de TOUCHEBEUF DE LUSSIGNY. O.R.S.T.O.M., Service Hydrologique : 127-169, *multigr.*, bibliogr.
- ROCHE (M. A.), 1969. — Évolution dans l'espace et dans le temps de la conductivité électrique des eaux du lac Tchad d'après les résultats de 1908, 1957, 1962 à mars 1968. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrol.*, 6, 1 : 35-74.
- TALLING (J. F.), TALLING (I. B.), 1965. — The Chemical Composition of Afrikan Lake Waters. *Int. Rev. ges. Hydrobiol.*, 50, 3 : 421-463, 6 fig., bibliogr.
- TILHO (J.), 1928. — Variations et disparition possible du Tchad. *Ann. Geogr. Fr.*, 37 : 238-260.
- 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.
- TOUCHEBEUF DE LUSSIGNY (P.), 1969. — Monographie Hydrologique du lac Tchad. O.R.S.T.O.M., Service hydrologique, Paris, 169 p. *multigr.*
- TOUCHEBEUF DE LUSSIGNY (P.), 1969. — Monographie Hydrologique du lac Tchad. tome annexe. O.R.S.T.O.M. Paris, Service hydrologique, 72 p. *multigr.*
- WARD (H. B.), WHIPPLE (G. C.), 1945. — Fresh-water biology. John Wiley, New York, 1111 p., 1547 fig.



1. Vue aérienne des flots-bancs.



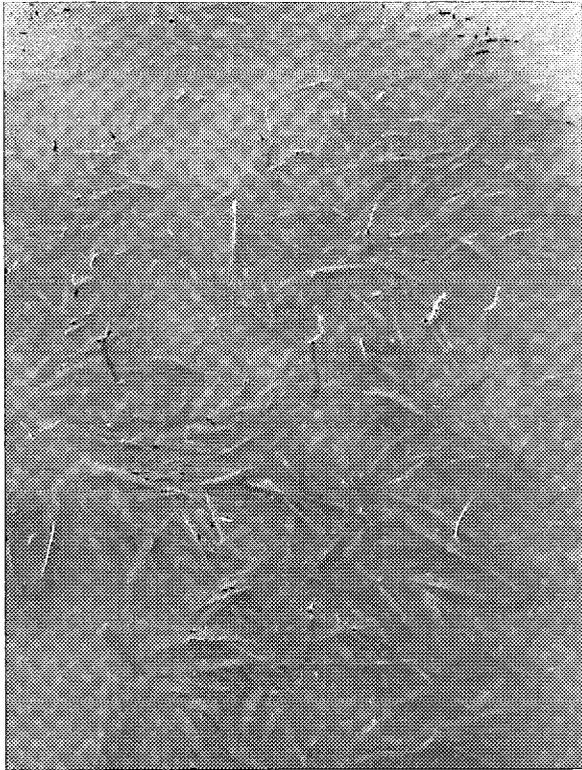
2. Vue aérienne de l'archipel.



3. Les eaux libres.



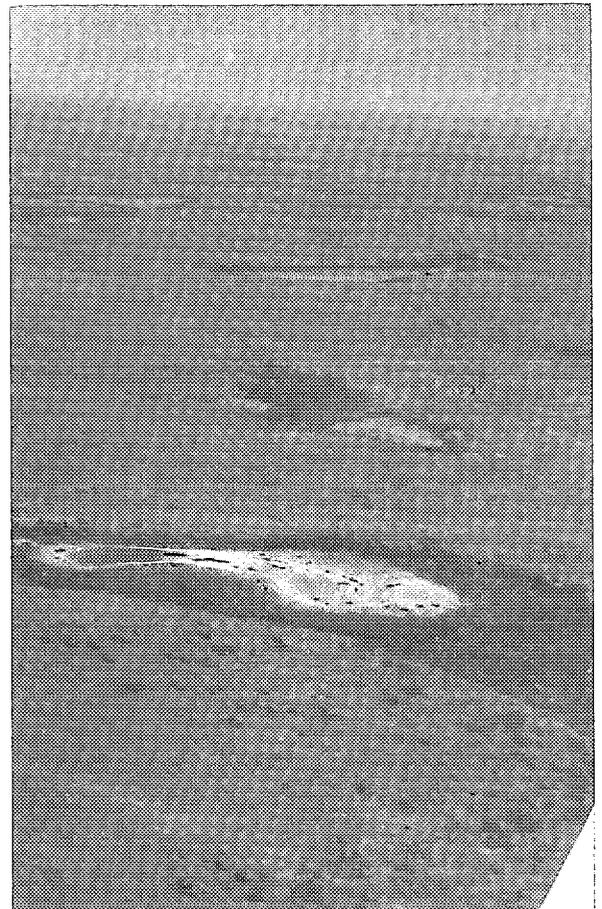
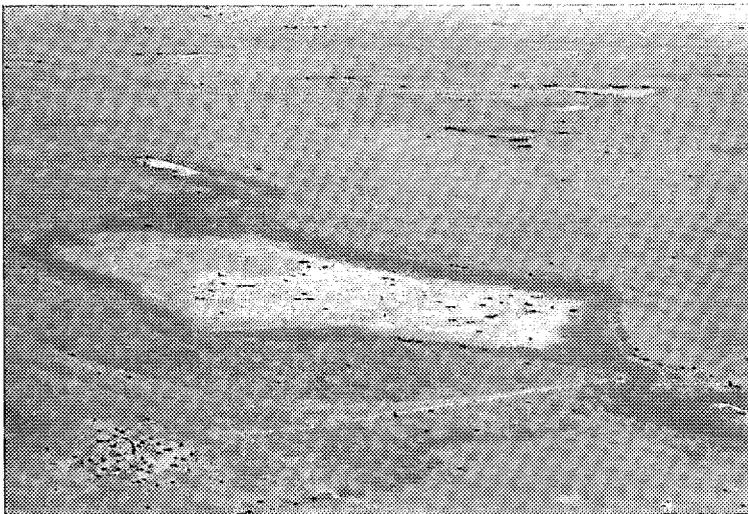
4. Kirta dérivant dans l'archipel.



5. Herbier à Potamogeton.



6. Embarcation de papyrus.



7 et 8. Vues aériennes des mares natronées temporaires en bordure du lac.