

## LA SALURE GLOBALE ET LES SALURES SPÉCIFIQUES DES EAUX DU LAC TCHAD

par J.-P. CARMOUZE\*

### RÉSUMÉ

*La salure globale des eaux du Chari faiblement minéralisées (conductivité = 55-65  $\mu$  mhos), sous l'effet d'une évaporation intense, augmente progressivement dans le lac Tchad pour atteindre des valeurs qui sont respectivement à l'est et au nord du lac cinq et dix fois supérieures. La distribution spacio-temporelle de la salure globale de ces eaux en 1968, établie par des mesures de conductivité, a permis de décrire sommairement la dynamique des eaux au cours de cette période.*

*La composition saline relative de ces eaux (carbonates de Na, K, Ca et Mg) subit, indépendamment de la salure globale, des modifications dont les principales sont localisées au niveau de la « Grande Barrière » et dans l'archipel est du lac. Dans la première région, il y a enrichissement relatif du Na au détriment du Ca et à un degré moindre du Mg; dans la seconde région, il y a enrichissement relatif du sodium au détriment du magnésium. Une tentative d'interprétation de ces résultats est fournie.*

### SUMMARY

*The total salinity of the slightly mineralised Chari waters (conductivity=55-65  $\mu$  mhos), subjected to a high rate of evaporation, increases progressively in Lake Chad and reaches values in the East and North parts which are respectively 5 and 10 times higher. The space and time distribution of the total salinity of the waters in 1968, established by conductivity measurements, has made it possible to roughly describe the movement of the waters.*

*The proportion of salts (carbonates of Na, K, Ca and Mg) undergoes changes independent of the total salinity, the most important of which are to be found in the « Grande Barrière » and the East Archipelago. In the first region, there is a relative increase of Na at the expense of Ca and to a lesser degree of Mg; in the second region, there is a relative increase of Na at the expense of Mg. A possible interpretation of these results is given.*

---

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

## 1. INTRODUCTION

De faible profondeur, le lac Tchad a pour particularité d'être un bassin d'accumulation des eaux du Chari, privé d'exutoire et soumis à un climat tropical sec (sahélien) (fig. 1). Les eaux fluviales sont donc progressivement éliminées du lac par évaporation et infiltration.

Le phénomène d'évaporation, très intense sous cette latitude, provoque l'augmentation graduelle de la salure des eaux dans le lac : au nord, les eaux sont dix fois plus salées que dans la région du delta ; à l'est, cinq fois plus. Bien qu'augmentant fortement au nord et à l'est, cette salure reste très faible et les eaux appartiennent à la catégorie des eaux douces ( $< 0,8$  g/l) contrairement à de nombreux autres bassins endoréiques en climat subaride. [BOUCHARDEAU (1957), GRAS-ILTIS-LÉVÊQUE-DUWAT (1964), ROCHE (1968), CARMOUZE (1968), ROCHE (1969), HOPSON (1969)].

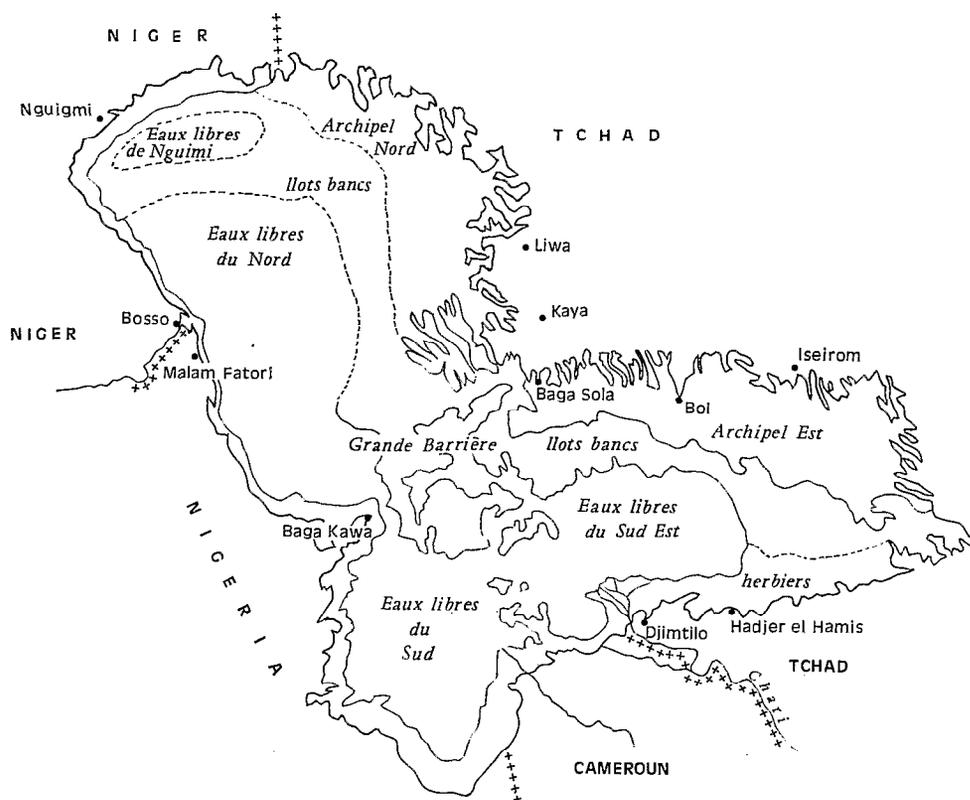


Fig. 1. — Carte géographique du lac Tchad.

La plupart de ces résultats obtenus par des mesures de conductivité expriment la salure globale des eaux sans préciser la nature et les proportions des différents sels dissous (carbonates de calcium, sodium, magnésium et potassium sous forme ionisée). Or, plusieurs facteurs sont susceptibles de modifier les proportions relatives de ces sels. L'enrichissement des eaux du lac en sel engendre d'importantes modifications physico-chimiques du milieu. Il est donc possible que certaines valeurs de la salure créent des conditions de précipitation de sels peu solubles et en suspension et, d'autre part, la phase liquide et le sédiment. Les biomasses de végétation et que d'autres favorisent des échanges ioniques d'une part entre la phase liquide et la phase argileuse

de mollusques (LÉVÊQUE 1968), importantes dans certaines régions, peuvent également induire des modifications ioniques notables par leurs propres activités biologiques. Par ailleurs, la composition chimique des eaux d'alimentation est probablement soumise à des variations saisonnières non négligeables.

Ces diverses présomptions de variations de la composition saline des eaux du lac nous ont amené à étudier, parallèlement à la salure globale des eaux, les salures spécifiques pour préciser la nature et l'importance de leurs éventuelles variations relatives, ainsi que les mécanismes mis en jeu.

## 2. MÉTHODES D'ÉTUDES ET RÉSULTATS

Des prélèvements d'eaux ont été effectués de mars 1968 à février 1969 :

- dans l'archipel de Bol, en mars 1968 (30 prélèvements) ;
- sur l'ensemble du lac en avril 1968 (120 prélèvements) ;
- dans l'archipel de Bol en juin 1968 (39 prélèvements) ;
- sur l'ensemble du lac en septembre 1968 (130 prélèvements) ;
- dans l'archipel est et le sud du lac en décembre 1968 (18 prélèvements à l'est, + 42 au sud) ;
- dans le bassin nord au niveau de Malamfatori (13 prélèvements).

Ils proviennent d'eaux de surface ; l'absence de stratification des eaux justifie cette limitation. Les mesures de conductivité exprimant la salure globale des eaux, ainsi que les résultats des dosages de calcium, sodium, magnésium, potassium, représentant les quatre principaux carbonates constituant cette salure, sont les données retenues pour cette étude (1). Les valeurs de concentration de ces cations ont été transformées en pourcentage de la teneur cationique totale selon la formule :

$$Ti = \frac{Ci \times 100}{\Sigma Ci} \quad \text{où } Ti = \text{teneur relative de l'ion } i, \\ Ci = \text{teneur absolue de l'ion } i \text{ en milliéquivalent, et} \\ \Sigma Ci = CCa + CMg + CNa + CK$$

Le calcium et le magnésium ont été dosés par complexométrie, le potassium et le sodium par spectrophotométrie de flamme. Les erreurs maximales relatives sont de 5 % pour le calcium, le sodium et le potassium, de 7,5 % pour le magnésium. L'imprécision analytique introduit dans les pourcentages ioniques les écarts maximums suivants : 2 % dans ceux des trois premiers, 3 % dans ceux du dernier.

Les conductivités, exprimées en  $\mu$  mhos/cm à 25 °C, ont été mesurées au moyen d'un conductimètre Philips à 2,5 % près.

Pour les principales périodes d'observation, une carte de la conductivité des eaux et une carte des proportions relatives des cations majeurs ont été établies. La première, par l'allure des courbes d'isoconductivité, fournit une image de la salure des eaux dans le lac à une époque donnée, la seconde délimite les zones de variations de la composition ionique relative des eaux. Le rapprochement de ces deux cartes permet d'estimer le degré de dépendance de la salure globale et des salures spécifiques. L'évolution de ces grandeurs dans le temps est donnée par la comparaison des cartes de même nature aux différentes époques d'observation.

### 2.1. La salure globale.

La conductivité des eaux, pour une température donnée est fonction de la quantité et de la nature des sels dissous. Pour comparer les salures globales entre elles, nous supposons que les

(1) Ces données, exprimées en mé|l, sont présentées sous forme graphique dans une publication antérieure (CARMOUZE, 1968).

eaux étudiées ont même composition saline relative. Moyennant cette approximation, les cartes de conductivité représentent la distribution spatiale de la salure des eaux dans le lac à une période donnée.

On remarque aux différentes époques d'observation, à quelques variantes près, que la conductivité des eaux libres du sud-est (fig. 2 a, 3 a) varie de 50 à 100  $\mu$ mhos, celle des eaux de l'archipel de Bol-Bagasola (fig. 2 a, 3 a, 4 a, 4 b) varie de 75 à 150  $\mu$ mhos ; à l'est, elle atteint de 400 à 500  $\mu$ mhos.

Au niveau de la ligne Bagasola-Bagakawa, les eaux comprises entre les eaux du sud-est et celles du nord (fig. 2 a, 3 a) présentent un fort gradient de salinité : 150-300  $\mu$ mhos. Dans le bassin nord, aux eaux libres de 300 à 500  $\mu$ mhos succèdent les eaux plus salées de l'archipel de 500 à 1000  $\mu$ mhos (fig. 2 a, 3 a).

## 2.2. Les salures spécifiques.

En avril (fig. 2 b), la distribution des valeurs des pourcentages cationiques sur l'ensemble du lac rend compte de la présence de deux importantes masses d'eaux chacune relativement homogène, de composition saline relative différente. La première occupe le bassin sud-est et une grande partie de l'archipel de Bol-Bagasola (eau 1 : Ca = 39-36 %, Mg = 31-27 %, Na = 25-22,5 %, K = 10,5-8,5 %), la seconde, le bassin nord (eau 3 : Ca = 32-28,5 %, Mg = 25-22 %, Na = 37-34 %, K = 10,5-8,5 %). Les deux masses d'eaux sont séparées par des eaux de caractéristiques ioniques intermédiaires (eau 2 : Ca = 36-32 %, Mg = 27-25 %, Na = 34-25 %, K = 10,5-8,5 %). Dans l'archipel est et les fonds de bras de l'archipel de Bol-Bagasola, succèdent aux eaux du sud-est des eaux qui s'appauvrissent progressivement en magnésium au profit du sodium ; elles sont de ce fait moins homogènes (eau 5 : Ca = 39-36 %, Mg = 27-22,5 %, Na = 29-25,5 %, K = 10,5-8,5 %). Les eaux du sud sont du même type que celles du nord (eau 3 : Ca = 32,5-30 %, Mg = 24-23 %, Na = 36-33 %, K = 10-9,5 %). A l'extrême nord, la proportion relative du calcium diminue (fig. 2 f).

En septembre (fig. 3 b), les eaux du bassin sud-est (Ca = 40-37 %, Mg = 30-28 %, K = 11-9 %) ont conservé sensiblement leurs caractéristiques ioniques ; les eaux du bassin nord sont moins homogènes qu'en avril : dans la partie septentrionale, elles sont plus riches en calcium (eau 3 : Ca = 31-28 %, Mg = 24-21 %, Na = 40-35 %, K = 11-9 %), dans la partie méridionale plus riches en magnésium (eau 3 b : Ca = 28-26 %, Mg = 25,5-24 %, Na = 40-36 %, K = 11-9 %). Les eaux intermédiaires sont déplacées vers le nord-ouest et l'ouest (eau 2 : Ca = 36-29 %, Mg = 28-25,5 %, Na = 35-25 %, K = 11-9 %). Les eaux de l'archipel est et du nord de l'archipel de Bol-Bagasola ont des compositions ioniques voisines de celles d'avril dans ces mêmes régions (eau 5 : Ca = 40-37 %, Mg = 28-25,5 %, Na = 26,5-25 %, K = 11-9 %). A l'extrême nord, il y a toujours appauvrissement en calcium des eaux de conductivité supérieure à 800  $\mu$ mhos.

Des résultats partiels recueillis à d'autres périodes de l'année complètent ces derniers.

En mars et juin (fig. 4 a, 4 b), dans l'archipel de Bol-Bagasola et dans l'archipel est, on note un enrichissement progressif des eaux en sodium au détriment du magnésium exprimant le passage des eaux 1 aux eaux 5. La ligne d'équipourcentage sépare les eaux situées au sud plus riches en magnésium qu'en sodium, de celles situées au nord plus riches en sodium qu'en magnésium. On note en juin, au niveau de Bagasola, un déplacement de la courbe d'équipourcentage vers le sud et l'est de l'archipel ; à l'ouest de cette ligne, les eaux ont les caractéristiques des eaux intermédiaires.

En décembre (fig. 5 e, 5 f, 5 g), les eaux du sud sont moins importantes et légèrement plus riches en potassium (Ca = 27,5-25 %, Mg = 24-23 %, Na = 39-37,5 %, K = 12,5-10 %).

A la même époque, dans les fonds de bras de l'archipel est, d'accès difficile, d'autres types d'eaux ont été mis en évidence (fig. 5 a) :

— dans le bras d'Isseirom (fig. 5 b), il y a une forte diminution des teneurs relatives du calcium

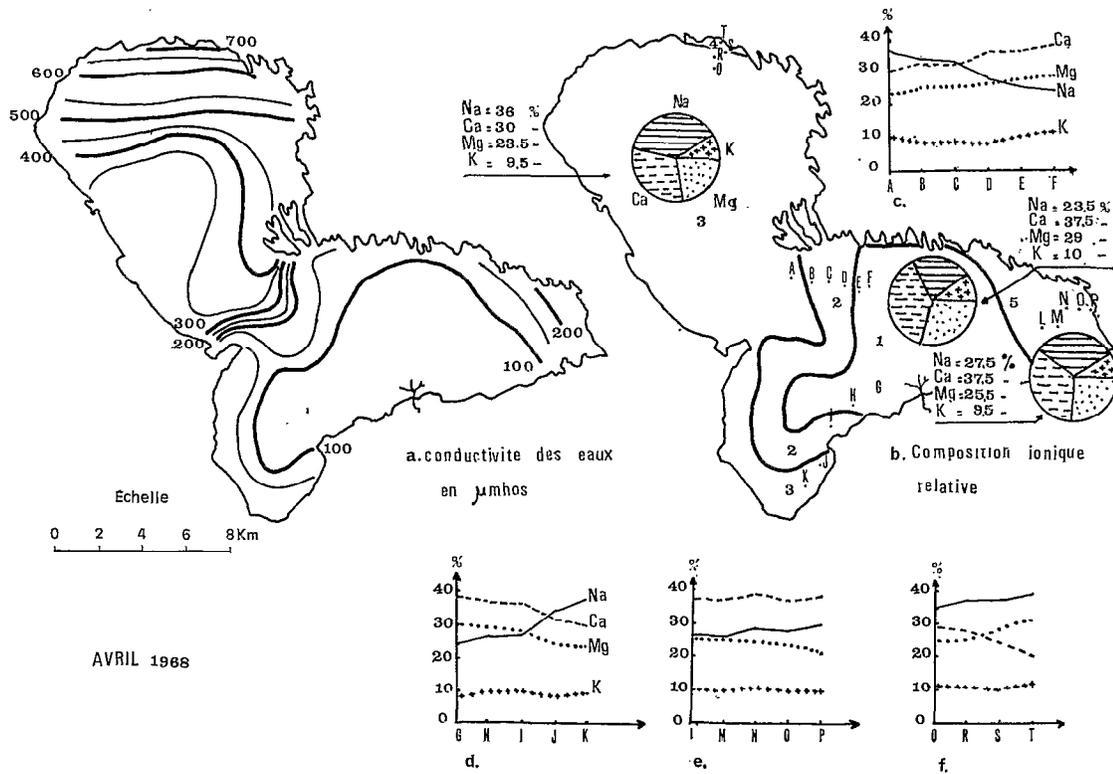


Fig. 2. — Variations spatiales de la composition ionique relative des eaux en avril 1968.

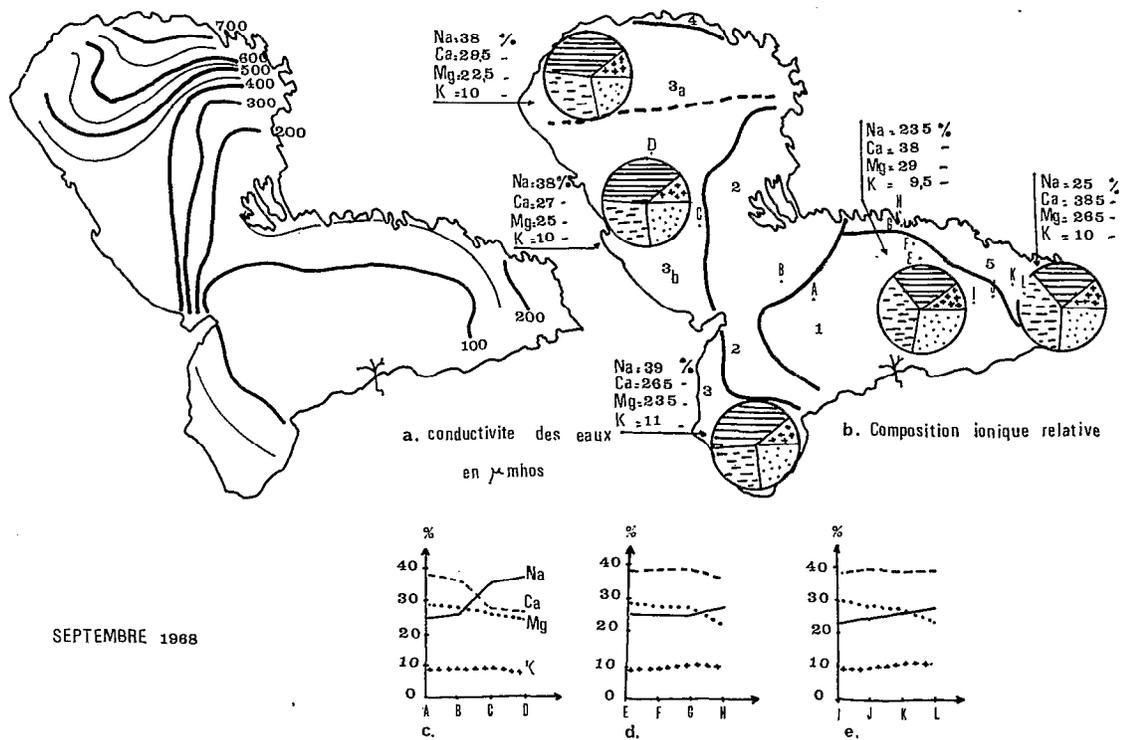
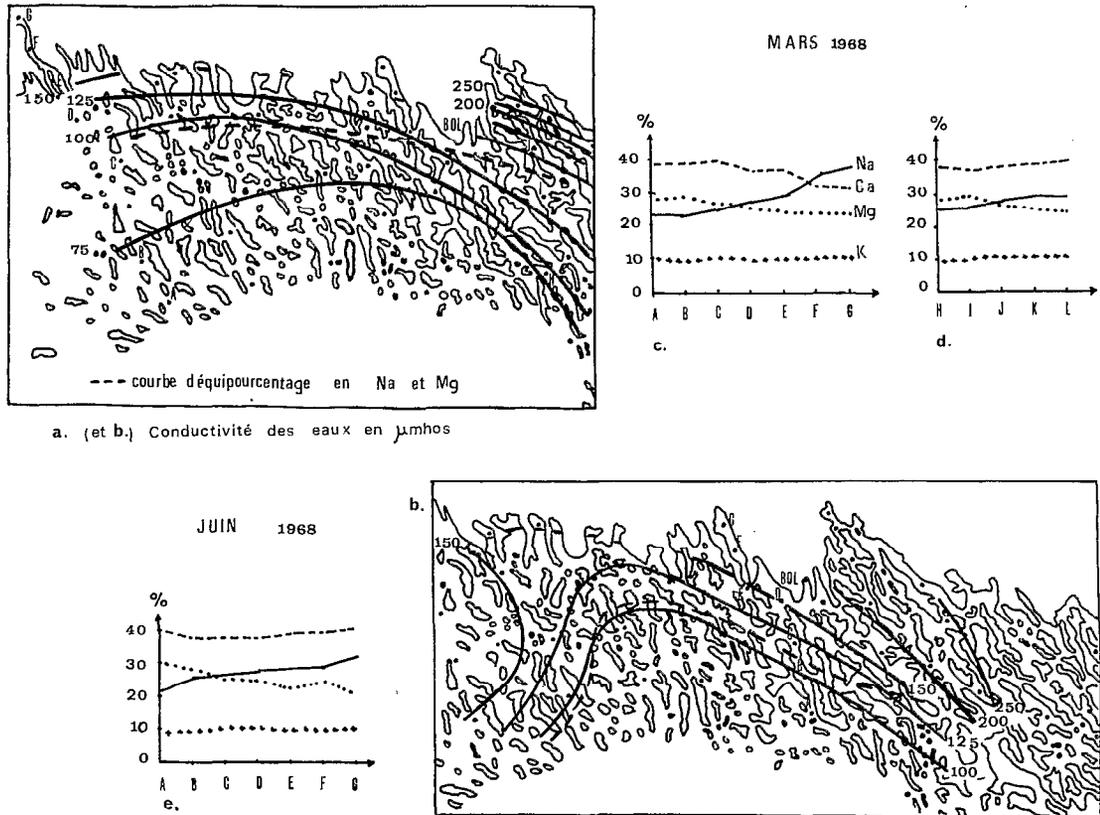


Fig. 3. — Variations spatiales de la composition ionique relative des eaux en septembre 1968.



a. (et b.) Conductivité des eaux en  $\mu\text{mhos}$

Fig. 4. — Variations spatiales de la composition ionique relative des eaux en mars et juin 1968.

et du magnésium qui tendent vers zéro pour des eaux qui passent de 2,8 à 6,5  $\mu\text{mhos}$  ; parallèlement, il y a augmentation du rapport  $\text{Na/K}$ .

— dans le bras de Soro (fig. 5 d), les eaux s'enrichissent en sodium et potassium au détriment du calcium (le bras est encombré de *Phragmites* et de *Cyperus papyrus*).

— dans la région de Kouloudia (fig. 5 a), les eaux sont relativement riches en potassium et sodium et pauvres en calcium au regard de celles du sud-est :  $\text{Ca} = 15-24\%$ ,  $\text{Mg} = 20-25\%$ ,  $\text{Na} = 38,5-44\%$ ,  $\text{K} = 14-16\%$ .

— dans le bras de Boulongwa-Bayorom (fig. 5 e), les eaux communiquent largement avec celles du sud-est. Les variations horizontales de leurs caractéristiques ioniques s'apparentent aux variations correspondant au passage des eaux du sud-est à celles de l'est.

En février 1969, dans le bassin nord, au niveau de Malanfatori, les treize échantillons prélevés possèdent les caractéristiques suivantes :  $\text{Ca} = 28,5-26\%$ ,  $\text{Mg} = 27-25\%$ ,  $\text{Na} = 38-35\%$ ,  $\text{K} = 11-8,5\%$ , voisines de celles des eaux occupant cette région en avril et septembre.

Ainsi les différentes masses d'eaux conservent approximativement leur position géographique et leurs caractéristiques ioniques de mars 1968 à février 1969. Elles subissent de faibles variations temporelles par rapport aux variations spatiales qui marquent le passage de l'une d'elles à sa voisine. En effet, si les eaux sont définies par les valeurs moyennes de leur pourcentage ionique, on note :

— dans le bassin sud-est, d'avril en décembre, un enrichissement moyen de 2 % en calcium, de 1,5 % en sodium et un appauvrissement de 3,5 % en magnésium.

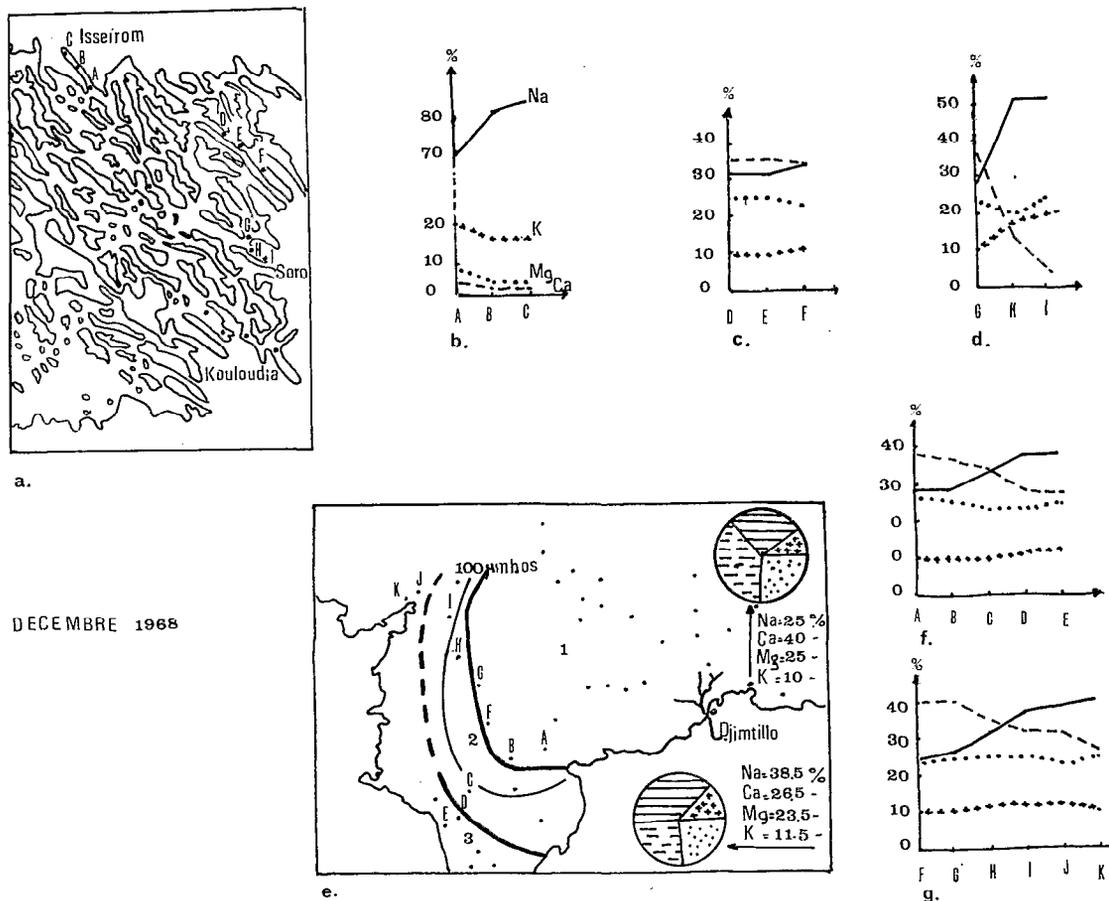


Fig. 5. — Variations spatiales de la composition ionique relative des eaux en décembre 1968.

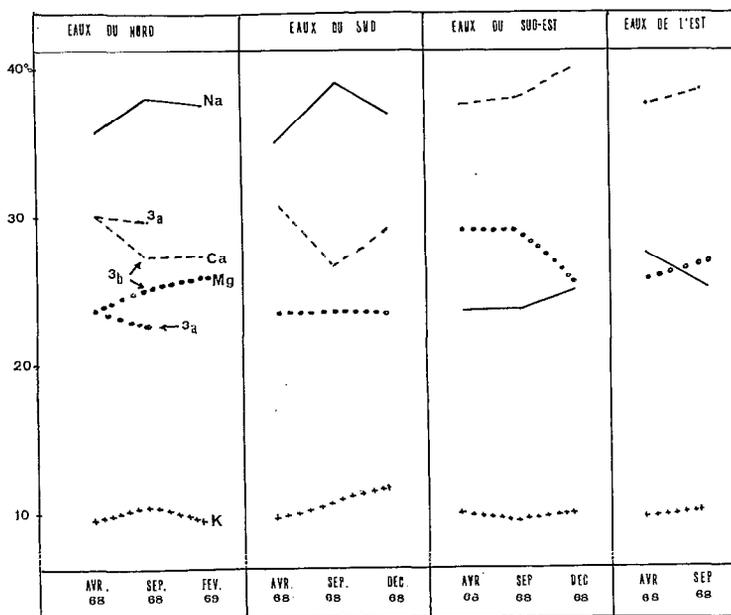


Fig. 6. — Variations temporelles de la composition ionique relative des eaux.

- dans le bassin nord, les pourcentages en calcium et magnésium des eaux septentrionales de septembre sont voisins de ceux des eaux d'avril, tandis que les eaux méridionales sont plus pauvres en calcium (3 %) et plus riches en magnésium (1,5 %) que ces dernières. Le pourcentage en sodium des eaux de septembre est supérieur à celui des eaux d'avril 1968 et de février 1969 (2-3,5 %); à cette dernière époque les eaux sont plus riches en magnésium que celles de septembre et d'avril (3 %).
- les eaux du sud, voisines de celles du nord, s'enrichissent en potassium en décembre (2 %).
- les eaux intermédiaires et celles de l'est ne subissent pas de modifications importantes.

Le tableau (fig. 6) représente les caractéristiques ioniques des différentes masses d'eau aux différentes époques d'observation et montre que les masses d'eau conservent leur individualité malgré les variations temporelles qu'elles subissent.

### 3. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

#### 3.1. La salure globale.

La concentration en sels des eaux Chari dans le lac dépend d'un grand nombre de facteurs dont les principaux sont :

- l'intensité évaporatrice,
- le temps d'exposition,
- la surface de la masse d'eau considérée soumise à l'évaporation par unité de volume.

Le temps d'exposition étant dans le lac Tchad le facteur prédominant, on peut considérer en première approximation que les eaux de même salure ont même temps de séjour dans le lac et ainsi expliquer la distribution spatio-temporelle de la salure des eaux par leur dynamique. Cette interprétation implique également que les variations saisonnières de la composition chimique des eaux fluviales et les mélanges d'eau horizontaux sont négligeables ainsi que les variations de composition relative des eaux ; seules les salures de même composition relative peuvent ainsi être comparées.

Un certain nombre de phénomènes qui règlent la dynamique des eaux sont à prendre en considération, pour l'interprétation des cartes de conductivité. Les apports du Chari, le régime des vents, l'infiltration, constituent les principales forces motrices, tandis que les forces résistantes sont liées aux caractéristiques morphologiques de la cuvette. Celle-ci est subdivisée en deux bassins par un étranglement naturel au niveau de Bagakawa-Bagasola. Cette région, la « Grande Barrière », caractérisée par sa faible profondeur et par la présence d'un grand nombre d'îlots bancs, gêne les échanges d'eau entre les deux bassins. Chacun d'eux est bordé à l'est et au nord par un archipel, dont les îles, orientées sud-est nord-ouest, contrarient la propagation des eaux dans la direction nord-est (fig. 1).

En septembre (fig. 3 a), début de la crue du Chari, les eaux du sud-est pénètrent dans le bassin nord, au nord de la Grande Barrière, et à un degré moindre, au niveau de Bagakawa. Elles refoulent des eaux de 400 à 600  $\mu$ mhos. En hiver, les eaux de crue continuent leur pénétration dans le bassin nord, essentiellement au niveau de Bagakawa et longent la côte ouest. Une partie de ces eaux décrit un trajet circulaire dans le sens des aiguilles d'une montre et revient sur la Grande Barrière (Hopson 1968).

En avril (fig. 2 a), ce retour des eaux du nord provoque le refoulement des eaux du sud-est qui pénètrent plus largement dans l'archipel de Bol-Bagasola et dans la partie sud du lac.

En mars (fig. 4 a), les eaux du nord n'atteignent pas encore l'archipel de Bagasola ; par contre, en juin (fig. 4 b), elles poursuivent leur pénétration commencée en avril. L'accroissement de la salure des eaux de l'archipel et de celles du sud du lac, d'avril en septembre, est expliqué par la faible alimentation du lac et la forte évaporation caractérisant cette période.

### 3.2. Les salures spécifiques.

A notre niveau d'observation, défini par la densité des prélèvements dans l'espace et le temps et la qualité des mesures, deux principaux types de modifications spatiales de la composition saline relative ont été mis en évidence. Le premier (fig. 2 c, 2 d, 3 c, 4 c, 5 f, 5 g) au niveau de la Grande Barrière et au sud de Bagakawa, correspond au passage des eaux libres du sud-est à dominante calcique, aux eaux du nord et du sud à dominante sodique. Le second, localisé dans l'archipel est et dans la partie nord de l'archipel Bol-Bagasola, marque l'enrichissement progressif des eaux dans l'archipel en sodium au détriment du magnésium par rapport aux eaux du sud-est (fig. 2 e, 3 e, 4 d, 4 e). Par contre le degré d'homogénéité des masses d'eaux précédemment définies (§ 2.2) n'a pu être estimé. Il en est de même des variations temporelles des masses d'eaux qui ne peuvent être interprétées significativement.

Les divers facteurs susceptibles d'engendrer de tels phénomènes par actions isolées ou conjuguées sont d'ordre hydrologique, biologique, physico-chimique ou géochimique.

La présence de ces différentes masses d'eau ne peut être expliquée uniquement par des facteurs hydrologiques. Il faudrait en effet que le Chari apporte, selon la saison, différents types d'eau qui conservent plus ou moins leurs caractères originels dans le lac. Or, plusieurs observations infirment cette hypothèse :

— d'avril en septembre, au niveau de la Grande Barrière, les masses d'eau ne sont que faiblement déplacées comme l'indiquent les variations de la conductivité durant cette période. Les eaux du bassin nord pourraient correspondre à celles de la crue 1967 du Chari, les eaux du bassin sud-est à une alimentation actuelle. En fait, les eaux du Chari, en 1968, en période de crue, sont légèrement plus riches en calcium que les eaux de restitution provenant de la zone inondée en période d'étiage. Ce phénomène, lié à des conditions hydro-géologiques bien définies, est probablement périodique. Donc les eaux du nord ne proviennent pas de la crue 1967.

— de même à l'est, dans la zone de l'archipel, l'enrichissement en sodium aux dépens du magnésium, ne résulte pas d'apport d'eau initialement plus riche en sodium.

— en février 1969, dans la partie méridionale du bassin nord, au niveau de Malamfatori, les eaux correspondant à celles de la crue 1968, ont perdu leurs caractéristiques originelles pour devenir voisines des eaux d'avril et de septembre dans cette région. Même d'éventuels mélanges n'expliquent pas cette différence.

— en décembre 1968, dans la région sud, la crue du Chari n'a pas apporté de modifications importantes de même que celles de l'El Beid. Il faudrait que ce dernier amène des eaux semblables à celles du nord pour expliquer les différences entre les eaux du sud-est et celles du sud, ce qui est peu probable. Cependant, le faible enrichissement en potassium (2 %) en décembre 1968, noté à l'embouchure de l'El Beid, provient certainement de ses apports.

L'explication hydrologique écartée, pour rendre compte de la présence de ces différentes masses d'eau qui occupent toujours une même position relative dans le lac, il faut supposer que les eaux fluviales sont soumises dans certaines régions du lac à des phénomènes modifiant leur composition ionique relative. Il est possible de localiser des lieux de différenciation des eaux en suivant les différents types d'évolution d'une même eau fluviale le long de différents trajets par la comparaison des cartes de conductivité et celles correspondantes de distribution des masses d'eau :

— en septembre (fig. 3 a, 3 b), les eaux de crue pénètrent au-delà de Bagakawa dans le bassin nord. Elles ont perdu leurs caractéristiques originelles, trente kilomètres avant, constatation explicable par l'existence d'un processus de différenciation dans la région traversée.

— en avril (fig. 2 a, 2 b), l'avancée des eaux intermédiaires vers le sud-est est plus marquée que celle des eaux du nord. Cette constatation pourrait s'expliquer par le refoulement des eaux du sud-est qui auraient subi des modifications au niveau de la Grande Barrière.

— au sud, les eaux du sud-est subissent des modifications en toutes époques entre Bagakawa et l'embouchure de la Serbewel.

— les eaux du sud-est, au cours de leur progression dans l'archipel est et dans les fonds de l'archipel Bol-Bagasola, s'enrichissent toujours en sodium aux dépens du magnésium.

— les eaux du nord en septembre (fig. 3 a) sont celles déjà en place en avril si l'on se réfère à la circulation des eaux dans le lac. Le vieillissement de ces eaux a provoqué dans la région de l'archipel un appauvrissement en magnésium au profit du calcium et au sud, la poursuite du processus de transformation des eaux calciques en eaux sodiques.

Il résulte de ces différentes observations que :

— dans la région de la « Grande Barrière », la partie méridionale du bassin nord et le sud du lac, les eaux s'enrichissent en sodium au détriment du calcium et à un degré moindre en magnésium.

— dans les archipels est et nord, il y a appauvrissement des eaux en magnésium au profit du sodium dans le premier, au profit du calcium dans le second. L'importance des variations de la composition saline relative, dépend du temps de passage des eaux dans les régions de modifications. En effet, les masses d'eau, si elles conservent leur propre individualité, subissent des déplacements relatifs liés à la dynamique générale des eaux. Par contre, les variations de la composition saline ne sont pas fonction du temps de séjour de ces eaux dans le lac, c'est-à-dire de leur salure globale ; en effet, dans l'archipel est, des eaux supérieures à 400  $\mu$ mhos restent à dominante calcique tandis qu'au sud, des eaux de 100  $\mu$ mhos deviennent à dominante sodique.

Les deux principaux types de modification correspondent à l'accroissement d'un ion au détriment d'un ou de deux autres ions, mais non à un accroissement de cet ion par rapport à l'ensemble des autres. Ils semblent exprimer des phénomènes d'échanges ioniques. Ils ne sont probablement pas de nature biologique :

— la région de la Grande Barrière, du sud et de la partie méridionale du bassin nord sont très riches en mollusques, consommateurs de calcium (LÉVÊQUE, 1968). Leur présence pourrait expliquer l'appauvrissement des eaux en calcium, mais non l'enrichissement parallèle de ces eaux en sodium.

— les grandes masses de végétation constituant les îlots bancs (fig. 1) doivent plus ou moins engendrer directement des variations de la composition ionique relative des eaux. Mais on ne voit pas comment leur contribution peut être différente selon qu'elles se trouvent dans la Grande Barrière ou en bordure des archipels.

Ces échanges ne peuvent également pas être des phénomènes purement chimiques. Les eaux du sud-est, du sud et du nord ont des caractéristiques chimiques qui ne permettent pas d'envisager d'éventuelles précipitations de carbonate de calcium ou de magnésium qui n'ont probablement lieu que dans l'extrême nord (fig. 2 f) ou dans les fonds de bras de l'archipel est (fig. 5 b).

Il ne peut donc s'agir que de phénomènes d'absorption ou d'échanges ioniques entre l'eau et les matériaux en suspension ou encore le sédiment sous-jacent.

Le premier type de modification, appauvrissement en calcium et en magnésium, pourrait s'expliquer par l'absorption dans certaines conditions de ces ions par des substances colloïdales et argileuses qui flocleraient puis précipiteraient. L'absorption augmentant en particulier avec la charge des ions, si ce phénomène existe, il est plus marqué pour les métaux alcalino-terreux que pour les métaux alcalins. Le pH du milieu, égal ou supérieur à 8, favorise l'absorption des cations. Mais il n'y a pas d'enrichissement en potassium comme devrait l'exprimer ce phénomène. Plus qu'un rôle d'absorbant sélectif d'ions, la phase argileuse semble avoir un rôle d'échangeur d'ions. Le sens et l'intensité des échanges seraient déterminés par des conditions physico-chimiques du milieu (A. RUELLAN, J. DELETANG, 1967). Il y aurait rupture de l'équilibre électro-statique à l'interface eau-argile ; des ions sodium, fixés à la phase argileuse, émigreraient dans le milieu aqueux et seraient remplacés par des ions calcium et, à un degré moindre, par des ions magnésium provenant de ce milieu. Les conditions d'échanges ioniques ne seraient pas uniquement engendrées par l'accroissement de la salure des eaux puisque dans l'archipel est il n'y a pas de variations de la composition ionique relative des eaux qui ont la conductivité de celles du nord et du sud qui subissent les modifications ci-dessus.

Le second type de modification de la composition saline des eaux, propre aux zones d'archipel, exprime des échanges plus progressifs et moins importants entre le sodium et le magnésium. Ce paysage a peut-être une action spécifique sur la phase aqueuse. Il a déjà été noté (CARMOUZE, 1968) que, dans l'archipel, les eaux s'enrichissaient en silice plus rapidement que dans les autres régions du lac. Ainsi, les eaux de l'est, de conductivité deux fois plus faibles que celles du nord, sont aussi riches en silice soluble que ces dernières. Il n'est pas exclu dans cette région que ces modifications de la composition saline soient liées à la formation ou à la dissociation d'ions complexes, auxquels participeraient les ions intéressés. Ces modifications peuvent également provenir en partie des variations de la composition saline des eaux fluviales. En effet, en décembre les eaux du bassin sud-est sont voisines de celles de l'est en septembre. Ces dernières pourraient correspondre aux eaux de crue de l'année précédente. En fait, il faut préciser que les moyennes des pourcentages ioniques caractérisant les eaux de l'archipel est en septembre, proviennent d'échantillons pour la plupart prélevés en bordure du bassin sud-est, zone où le processus de différenciation ne fait que commencer. Rappelons également que l'enrichissement en sodium de l'archipel en avril ne peut être expliqué hydrologiquement.

#### 4. CONCLUSION

L'enrichissement en sel des eaux fluviales par évaporation est approximativement proportionnel à leur temps de séjour dans le lac. De ce fait la distribution spatio-temporelle de la salure des eaux dans le lac, établie par des mesures de conductivité, est une conséquence directe de leur dynamique générale dont elle permet l'étude approchée. Nos résultats sur cette étude confirment et complètent ceux des auteurs précédemment cités, à savoir : de septembre à janvier, période de crue du Chari, pénétration d'eaux faiblement salées (75-100  $\mu\text{mhos}$ ) du bassin sud-est dans le bassin nord aux eaux plus salées (300-500  $\mu\text{mhos}$ ), puis après avoir décrit un mouvement circulaire dans le sens des aiguilles d'une montre, retour d'une partie de ces eaux enrichies en sels sur la Grande Barrière qu'elles franchissent en avril ; de mai à septembre, période d'étiage du Chari et de forte évaporation, les eaux continuent de s'enrichir en sels sans subir d'importants déplacements.

Cet accroissement de la salure des eaux ne modifie pas directement leur composition saline relative, excepté dans certains fonds de bras des archipels nord et est d'où il provoque la précipitation de carbonate de calcium. Par contre des modifications sont enregistrées dans certaines régions du lac, à toutes les périodes d'observation :

— au niveau de la Grande Barrière au sud du bassin nord et au sud du bassin sud-est, les eaux du sud-est à dominante calcique après la traversée de ces régions deviennent à dominante sodique. Ces modifications semblent correspondre à un phénomène d'échange ionique entre l'eau et la phase argileuse en suspension ou encore entre l'eau et le sédiment. Elles sont supérieures aux variations temporelles. Aussi ces masses d'eaux gardent-elles leur individualité toute l'année.

— dans l'archipel est, au fur et à mesure que l'on s'éloigne du bassin sud-est, on remarque que les eaux sont de plus en plus pauvres en magnésium et de plus en plus riches en sodium. Ce type de variation de la composition saline relative des eaux, de moindre importance que le précédent, peut être en partie dû aux variations de la composition saline des eaux fluviales, mais il semble en outre que cette région soit le siège de mécanismes qui enrichissent les eaux en sodium aux dépens du magnésium.

Ces variations qualitatives de la salure des eaux doivent être prises en considération notamment en hydrobiologie. Il est reconnu que les organismes vivants sont sensibles à l'aspect quantitatif de la salure des eaux mais aussi à l'aspect qualitatif qui engendre des propriétés « rhopiques » dues aux actions spécifiques de certains ions à actions antagonistes. PORA (1966) a montré qu'il y

avait des antagonismes de nature fonctionnelle entre l'action de certains ions : Na-Ca, K-Ca... ce facteur doit intervenir dans l'explication des distributions de la faune et la flore aquatique.

En hydrologie, ces variations ioniques relatives montrent que la méthode des conductivités ne suffit pas pour suivre rigoureusement la dynamique des eaux du fait que les ions intéressés ont des conductivités spécifiques différentes.

En sédimentologie, les phénomènes modificateurs de la composition saline au niveau de la Grande Barrière semblent être des phénomènes d'échange ionique entre l'eau et la phase solide en suspension ; il pourrait y avoir une incidence sur le mécanisme de sédimentation au niveau de cette région (B. DUPONT, 1967).

### BIBLIOGRAPHIE

- BOUCHARDEAU (A.), LEFÈVRE (R.), 1957. — Réédition 1965. Monographies du lac Tchad. *Comité inter-africain d'Études hydrauliques*, Paris, 114 p., 24 fig.
- CARMOUZE (J.-P.), 1968. — Ions majeurs phosphates et silicates dans les eaux du lac Tchad en avril 1968. *Rapport provisoire, sect. Hydrobiol. O.R.S.T.O.M., Centre de Fort-Lamy*, 18 p., 18 fig.
- DUPONT (B.), 1967. — Premières observations sur la physico-chimie du Chari et du Logone. *Sect. géol. O.R.S.T.O.M., Centre de Fort-Lamy*, 32 p., 13 fig.
- GRAS (R.), ILLIS (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, 15 fig.
- HOPSON (A. J.), 1968. — Annual Report 1966-1967, Federal Fisheries Services Lake Tchad Research Station, Malamfatori, Nigeria, 79.
- LEMOALLE (J.), 1969. — Premières données sur la répartition du fer soluble dans le lac Tchad. *Rapport provisoire, sect. Hydrobiol. O.R.S.T.O.M., Centre de Fort-Lamy*, 9 p., 8 fig.
- LÉVÊQUE (C.), 1968. — Communication personnelle.
- PORA (E. A.), 1966. — Le facteur rapique et le métabolisme minéral. *Rev. roumaine Biol. Zool.*, II, 2, 77-110.
- ROCHE (M. A.), 1968. — Première estimation des apports en sels au lac Tchad par le Chari. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrol.*, V, 1, 55-59, 11 fig.
- ROCHE (M. A.), 1969. — Évolution dans l'espace et 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, 35-78, 20 fig.
- RUELLAN (A.), DELÉTANG (J.), 1967. — Les phénomènes d'échange de cations et d'anions dans les sols. *Initiat., Document. tech. O.R.S.T.O.M., Fr.*, 5, 123 p., 39 fig.