

# RÉGULATION HYDRIQUE ET SALINE DU LAC TCHAD

J.-P. CARMOUZE

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

## RÉSUMÉ

*Une description globale de la régulation hydrique et saline du lac Tchad est donnée à partir des temps de séjour de l'eau et des différents constituants de la salure qui sont obtenus en assimilant le lac à un système en état d'équilibre permanent. Il est ainsi mis en évidence une sédimentation différentielle des principaux éléments de la salure dans le milieu lui-même.*

## ABSTRACT

*Hydric and saline regulation of Chad lake is described from the residence time of the water and the major constituents. For this purpose, Chad lake is considered as a steady-state system. A differential sedimentation of major constituents occur in the lake itself.*

## 1. INTRODUCTION

Le lac Tchad, en raison de son endoreïsme, représente par excellence un bassin d'accumulation des apports solides et liquides des fleuves et, en raison de sa faible profondeur et de son climat subaride, un bassin de concentration saline des eaux (fig. 1). Contre toute attente, on constate d'une part que la salure moyenne des eaux évolue peu d'une année à l'autre et d'autre part que sa valeur est telle que le lac Tchad peut être considéré comme un lac d'eau douce. La première constatation implique qu'il y a équilibre hydrique et salin entre les apports et les pertes à l'échelle annuelle. S'il a été aisé de démontrer que l'élimination des apports annuels en eau sont en grande partie dus à l'évaporation, en ce qui concerne celle des apports en sels, seules des hypothèses ont été émises. Tilho en 1909 a lancé l'idée de « la dénatronisation automatique du lac par le simple jeu de ses crues et de ses assèchements successifs » (Tilho 1910). BOUCHARDEAU a parlé de pertes par écoulement dans une « zone

marginale » (BOUCHARDEAU, 1958). ROCHE a également souligné l'importance d'un tel phénomène qu'il précise en ces termes : « abandon superficiel des eaux les plus minéralisées dans les cuvettes littorales des côtes nord et est lors des baisses de niveau, et rejet des sels à l'extrémité des bras lors des fortes crues pluriannuelles » (ROCHE, 1970). Ces auteurs pensent par ailleurs qu'une grande partie des sels est éliminée par infiltration.

En réalité, des travaux récents montrent que la composition relative de la salure des eaux d'origine fluviale évolue dans le lac (CARMOUZE, 1968, 1969, 1970 ; LENOALLE, 1969). Les sels sont partiellement éliminés par un processus de sédimentation physico-chimique et biochimique dans le milieu lui-même. Ce mode d'élimination explique en grande partie la faible salure moyenne des eaux lacustres. La sédimentation étant d'importance variable d'un élément à l'autre, chaque composant de la salure totale a donc son propre mode de régulation. Aussi l'étude de la régulation saline doit-elle être abordée en raisonnant sur les salures spécifiques.



Fig. 1. — Grandes régions naturelles du Lac Tchad.

La façon la plus simple de décrire le milieu est de l'assimiler à un système en état d'équilibre permanent de manière à définir les débits d'entrée et de sortie des eaux et des principaux constituants de la salure ainsi que leur temps de séjour dans ce milieu. Cette méthode est d'autant plus justifiable que la chimie des eaux naturelles dépend davantage de la cinétique des réactions physico-chimiques et biochimiques que des conditions d'équilibre thermodynamique. En toute rigueur, le lac Tchad n'est pas assimilable à un système en état d'équilibre permanent, étant donné les écarts saisonniers et inter-annuels entre les débits d'apport et de perte des eaux et des sels. En fait, il est possible de définir un modèle « statistique » qui est d'autant plus proche du modèle idéal que les données de calcul couvrent une longue période. En partant de ce modèle, nous avons tenté dans une première approche de décrire la dynamique des principaux sels et de prévoir l'évolution de la salure des eaux lorsque le système

réel s'écarte faiblement du modèle statistique. Pour des écarts importants et de longue durée, seules quelques remarques d'ordre qualitatives peuvent être formulées.

## 2. MODÈLE STATISTIQUE DE LA RÉGULATION HYDRIQUE ET SALINE

### 2.1. État d'équilibre permanent.

Sans qu'il soit nécessaire de connaître la nature et l'importance des différents modes d'élimination, il est possible dans un premier temps de définir la dynamique des eaux et des principaux constituants de la salure, à condition de considérer le milieu en état d'équilibre permanent ; ce qui suppose que le débit des apports soit à tout moment égal à celui des pertes. Dans le lac Tchad les apports en eaux

se font par voies fluviales (90 %) et météoriques (10 %) (TOUCHEBEUF DE LUSSIGNY, 1969), les pertes se font par évaporation (92,5 %) et par infiltration (7,5 %) (CARMOUZE, 1971).

$$\frac{d V_f}{dt} + \frac{d V_m}{dt} = \frac{d V_i}{dt} + \frac{d V_e}{dt} \quad (1)$$

$V_f$ ,  $V_m$ ,  $V_i$  et  $V_e$  = volume des eaux fluviales, météoriques, d'infiltration et d'évaporation.

Les apports en sels se font par voies fluviales, les pertes principalement par infiltration et sédimentation. On entend par sédimentation toute élimination d'un élément de la colonne d'eau par suite de combinaison sous forme insoluble.

$$\left(\frac{d Q_f}{dt}\right)_E = \left(\frac{d Q_i}{dt}\right)_E + \left(\frac{d Q_s}{dt}\right)_E \quad (2)$$

$(Q_f)_E$ ,  $(Q_i)_E$  et  $(Q_s)_E$  représentent respectivement les quantités d'un constituant donné, E, de la salure, apportées par les fleuves, infiltrées et sédimentées.

Par le jeu des apports et des pertes le stock en eau et en sel du lac est en continuel renouvellement. Le temps nécessaire au renouvellement total du volume d'eau et de la quantité de l'élément E définit leur temps de séjour moyen dans le milieu.

$$\text{Pour l'eau : } \bar{\tau}_{eau} = \frac{V_1}{\frac{d(V_f + V_m)}{dt}} \quad (3) \quad \text{Pour l'élément E : } \bar{\tau}_E = \left(\frac{Q_1}{\frac{d Q_f}{dt}}\right)_E \quad (4)$$

ment E :  $\bar{\tau}_E = \left(\frac{Q_1}{\frac{d Q_f}{dt}}\right)_E$  (4)  $\bar{\tau}_{eau}$  et  $\bar{\tau}_E$  sont exprimés en année lorsque  $\frac{d(V_f + V_m)}{dt}$  et  $\left(\frac{d Q_f}{dt}\right)_E$  représentent

des débits annuels  $V_f + V_m$  et  $(Q_f)_E$ .  $V_1$  et  $(Q_1)_E$  représentent le volume du lac et le stock de l'élément E.

Les équations 1, 2, 3 et 4 appliquées au lac Tchad ne sont approximativement vérifiées que sur une longue période en raison des déséquilibres saisonniers et interannuels entre les débits d'apports et de pertes. Le lac reçoit en effet de septembre à janvier respectivement 75 et 60 % des apports annuels en eaux et en sels. En ce qui concerne l'équilibre hydrique, cette alimentation saisonnière provoque une fluctuation de la cote du plan d'eau de 80 à 90 cm. Par ailleurs l'irrégularité des apports fluviaux provoque des fluctuations interannuelles du niveau moyen du plan d'eau. La courbe des niveaux du lac a été reconstituée de 1873 à 1953 par BILLON (TOUCHEBEUF DE LUSSIGNY, 1969). A partir de 1953 elle a été établie d'après des observations directes. La reconstitution, bien qu'approximative, permet de définir

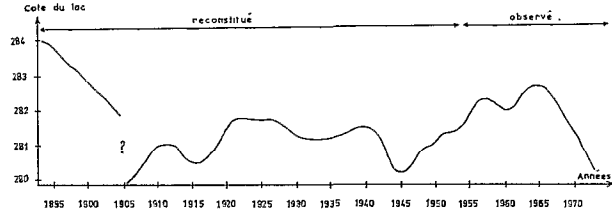


Fig. 2. — Cote moyenne de la surface du Lac Tchad à Bol (d'après Touchebeuf de Lussigny, 1969).

les époques de fortes fluctuations du niveau d'eau (fig. 2). Le lac a connu une période de « hautes eaux » à la fin du siècle dernier (cote 284 environ en 1895), précédant une période de « basses eaux » (cote 279,5 de 1904 à 1907) qui a eu pour conséquence son morcellement. Le niveau a ensuite remonté et s'est maintenu dans une position moyenne (cote 281,3) jusqu'en 1941. Le lac a alors connu pendant quatre ans une nouvelle période de basses eaux, sans probablement avoir été morcelé. Ces dernières années, le plan d'eau a oscillé autour de la cote 282, atteignant un maximum en 1964 (cote 283). La chimie des eaux n'a donc été profondément modifiée qu'au début du siècle. Depuis cette époque le lac a atteint un nouvel équilibre modulé par des fluctuations annuelles de moindre importance.

On peut estimer que les déséquilibres entre les apports et les pertes se compensent à l'échelle de plusieurs années. Les débits d'équilibre des eaux et des sels, ainsi que leur temps de séjour dans le lac, sont obtenus avec une bonne approximation dans la mesure où les données de calcul couvrent une longue période. Pour éviter de prendre en considération les déséquilibres saisonniers, il faut choisir l'année comme unité de temps.

## 2.2. Caractérisation du modèle statistique.

L'apport annuel moyen en eau  $\bar{V}_t$  et la cote moyenne du plan d'eau du lac,  $\bar{H}$ , ont été calculés à partir de données s'étalant de 1933 à 1971. Le volume moyen,  $\bar{V}_1$ , du lac correspondant à la hauteur  $\bar{H}$  est estimé à partir de la courbe bathymétrique du lac (fig. 2). La quantité d'un élément E qui entre annuellement dans le lac  $(\bar{Q}_f)_E$  est calculée en tenant compte à la fois de la distribution des apports fluviaux en eau et de l'évolution de la concentration de cet élément au cours de l'année. Les teneurs des eaux en sels ne sont mesurées que depuis 1967. Mais il apparaît que la courbe d'évolution annuelle de la concentration des eaux fluviales, du moins dans la partie correspondant aux eaux de crue, subit peu de modifications interannuelles.

TABLEAU I

Volumes moyens des apports fluviaux  $\bar{V}_f$ , météoriques  $\bar{V}_m$  et totaux  $\bar{V}_T$ ; altitude moyenne du niveau d'eau  $\bar{H}$ ; surface moyenne du lac  $\bar{S}$ ; volume moyen du lac  $\bar{V}_l$ ; temps de séjour moyen des eaux dans le lac  $\bar{\tau}_{eau}$

$\bar{V}_f \times 10^9 \text{m}^3$	$\bar{V}_m \times 10^9 \text{m}^3$	$\bar{V}_T \times 10^9 \text{m}^3$	$\bar{H}$ (m)	$\bar{S}$ (km <sup>2</sup> )	$\bar{V}_l$ (km <sup>3</sup> )	$\bar{\tau}_{eau}$ (année)
Chari : 38,1 Autres fleuves 1,9	6,0	46,0	381,5	20 100	68,0	1,50

TABLEAU II

Apport moyen annuel en élément  $(\bar{Q}_f)_{E-C}$  au lac par le Chari et par les autres fleuves  $(\bar{Q}_f)_{E-B}$ . Apport moyen annuel total  $(\bar{Q}_f)_E$ . Stock de l'élément E dans le lac  $(Q_1)_E$ . Temps de séjour moyen de l'élément E dans le lac  $\bar{\tau}_E$ . Concentration moyenne de l'élément E dans le lac  $(\bar{C}_1)_E = \left(\frac{Q_1}{\bar{V}_l}\right)_E$

E	$(\bar{Q}_f)_{E-C}$		$(\bar{Q}_f)_{E-B}$		$(\bar{Q}_f)_E$		$(Q_1)_E$		$\bar{\tau}_E$ (année)	$(\bar{C}_1)_E = \left(\frac{Q_1}{\bar{V}_l}\right)_E$
	éq ou moles $\times 10^9$	$\times 10^9$	éq ou moles $\times 10^9$	$\times 10^9$	éq ou moles $\times 10^9$	$\times 10^9$	éq ou moles $\times 10^9$	$\times 10^9$		
Na <sup>+</sup> . . . . .	4,8	40,4	0,50	11,5	5,3	121,9	10,5	2 415	19,8	1,55 mé/l
Ca <sup>++</sup> . . . . .	8,4	168,0	0,85	17,0	9,25	183,0	72,3	1 446	7,8	1,06 mé/l
Mg <sup>++</sup> . . . . .	6,7	81,7	0,75	9,1	7,45	90,5	67,5	820,1	9,05	0,99 mé/l
K <sup>+</sup> . . . . .	1,9	73,1	0,25	9,7	2,15	83,8	26,9	1 049,1	12,5	0,39 mé/l
CO <sub>2</sub> <sup>++</sup> +HCO <sub>2</sub> <sup>+</sup>	21,8		2,35		24,15		265,5		10,99	3,90 mé/l
Si(OH) <sub>4</sub> . . . . .	14,16	864,0	0,83	50,0	14,99	914,0	46,64	2 798,4	3,11	41,1 mg/l

Dans ces conditions, la meilleure estimation possible de l'apport moyen d'un élément est obtenue en utilisant comme données de calcul l'histogramme annuel moyen des débits du Chari pour la période 1933-1971 et celui des concentrations de chacun des éléments pour la période 1967-1971. Il est également tenu compte des apports des autres fleuves qui représentent environ 10 % de ceux du Chari.

Le stock  $(Q_1)_E$  de l'élément E n'est pratiquement pas modifié par les fluctuations des apports  $(\Delta Q_f)_E$  autour de la valeur moyenne  $(\bar{Q}_f)_E$ , ne représentant comme nous allons le voir qu'une fraction très faible de  $(Q_1)_E$ . En supposant que les fluctuations des pertes annuelles  $\Delta[Q_i + Q_s]_E$  sont du même ordre de grandeur que celles des apports  $(\Delta Q_f)_E$ , on peut considérer que le stock  $(Q_1)_E$  du lac reste inchangé. Les données de l'année 1970 ont été utilisées pour les estimations des stocks des princi-

paux composés chimiques dissous. Il s'agit des carbonates et bicarbonates de calcium, sodium, magnésium et potassium et des silicates. Les résultats sont rassemblés dans les tableaux I et II.

### 2.3. Interprétation des résultats.

(a) On constate d'abord que tous les constituants de la salure ont un temps de séjour dans le lac supérieur à celui de l'eau. Il varie de 20 ans pour le sodium à 3 ans pour les silicates. Cette variabilité est fonction de la réactivité physico-chimique et biochimique des éléments vis-à-vis du milieu. Ceux-ci peuvent être classés par ordre de sédimentation croissante dans le milieu lui-même : Na < K < Al < Mg < Ca < Si(OH)<sub>4</sub>. L'étude spatio-temporelle des salures spécifiques (CARMOUZE, 1970) a permis de mettre en évidence deux principales zones de modification de la composition relative de la salure.

— Dans le nord du lac et aux extrémités de

certaines bras de l'archipel est, il y a précipitation de carbonate de calcium avec parfois coprécipitation de magnésium (1).

— Dans la cuvette sud et dans la partie méridionale de la cuvette nord il y a, par rapport au sodium, élimination partielle de silicates, de calcium, de magnésium et, à un degré moindre, de potassium qui semble en grande partie due à des phénomènes de néogénèse silicatées (2) (fig. 1).

A ces phénomènes de sédimentation physico-chimique, s'ajoutent des phénomènes de sédimentation biochimique dont nous ignorons la nature et l'importance. Mais il est certain que les sels engagés dans des processus biologiques ne sont pas entièrement restitués au milieu. Les macrophytes et les mollusques participent probablement de façon notable à cette forme de sédimentation. La quantité de sels nécessaire à leur production annuelle est en effet très importante. Par ailleurs, la décomposition des débris végétaux est lente et la dissolution des coquilles de mollusques peut être incomplète. Pour les macrophytes un calcul très approximatif montre que les apports annuels des éléments considérés représentent moins de 5 % de leurs besoins annuels, excepté ceux du sodium qui en représentent 10 à 15 %. (CARMOUZE, FOTIUS et LÉVÊQUE en préparation). De tels chiffres montrent que le recyclage des sels fixés par les plantes est très élevé. Mais, étant donné l'importance des sels mis en jeu, la fraction qui sédimente doit être notable en calcium, magnésium, potassium, silicates et à un moindre degré en sodium. En ce qui concerne les mollusques, les apports annuels en calcium ne représentent que 25 % du calcium nécessaire à la production annuelle des tests (LÉVÊQUE, en préparation). La dissolution des tests calcaires est probablement complète dans les eaux « agressives » de la cuvette sud. Il n'en est pas de même dans la cuvette nord dont les eaux de certaines régions sont trop alcalines pour attaquer les coquilles. En réalité, celles-ci sont dissoutes au cours de leur sédimentation au contact d'eau interstitielles généralement agressives. Ces phénomènes de recyclage des sels modifient d'autant moins la composition chimique de la colonne d'eau qu'il ont lieu probablement en grande partie au niveau de l'interface eau-sédiment et dans la tranche superficielle des sédiments.

Cette dernière hypothèse est étayée par le fait que, bien que le recyclage biologique des sels soit très variable à l'échelle interannuelle, la salure moyenne

des eaux ne semble pas être affectée de façon notable; la productivité du lac paraît en effet évoluer très rapidement en fonction du niveau d'eau (CARMOUZE *et al.* en préparation). La biomasse en macrophytes peut aisément passer du simple au double selon l'évolution de la cote du plan d'eau. On devrait s'attendre à une importante augmentation du stock en sel au cours d'une forte montée du plan d'eau par suite de la destruction d'une partie de la végétation, une diminution dans le cas inverse qui est favorable au développement de la végétation. Nous possédons très peu d'informations pour décrire de telles évolutions. Il semble toutefois qu'il n'y ait pas de modifications spectaculaires. En effet les îlots bancs ont été en grande partie arrachés au cours de la montée des eaux en 1962. Le stock en sel n'a pas augmenté de façon notable les années suivantes, du moins dans la cuvette sud du lac pour laquelle nous disposons des mesures de conductivité (ROCHE, 1969). Le facteur de dilution l'emportant sur un éventuel accroissement du stock en sel, il y a eu légère diminution de la conductivité des eaux. Inversement le développement de la végétation ces dernières années n'a pas diminué le stock en sel. La conductivité des eaux au contraire augmente du fait de la diminution rapide du volume du lac.

(b) Le sodium, étant donné son temps de séjour dans le lac, est l'élément le moins réactif. Si l'on admet pour cet élément que les pertes sont uniquement dues aux infiltrations, on peut calculer le volume d'eau nécessaire à l'évacuation de la quantité de sodium équivalente à celle qui est apportée annuellement par les fleuves. Pour ce calcul, il faut localiser les fronts d'infiltration de façon à estimer la salure moyenne des eaux qui s'infiltrent. Les gradients piézométriques de la nappe phréatique sont favorables aux infiltrations sur tout le pourtour du lac (ROCHE, 1970). Des études ponctuelles par des mesures isotopiques de l'oxygène 16 et de l'oxygène 18, ont montré que l'aquifère côtier est très inégalement riche en eaux d'origine lacustre (FONTES *et al.*, 1969; ROCHE, 1970); ces mesures sont en nombre trop restreint pour localiser les zones d'infiltration. Nous supposons donc, par manque d'information suffisante, que le débit des infiltrations est constant sur tout le littoral. Dans ce cas, la salure moyenne des eaux d'infiltration est approximativement égale à celle des eaux lacustres.

On obtient :

$$V_i = \left( \frac{Q_1}{C_1} \right)_{Na} = 3,4 \times 10^9 \text{ g m}^3$$

La quantité d'eau qui s'infiltré au cours d'une année est surestimée car le sodium lui-même est probablement éliminé en partie par voie biochimique.

(1) Ce phénomène fera l'objet d'une note ultérieure.

(2) Une étude approfondie des matériaux argileux transportés par le Chari, et des sédiments du lac est actuellement en cours.

TABLEAU III

$(Q_1)_{\text{Eth}}$  stock de E dans le cas où cet élément ne sédimenterait pas dans le milieu.  $(Q_1)_E$  stock réel de E

	$(Q_1)_{E, \text{th}}$		$(Q_1)_E$		$(Q_1)_{E, \text{th}} - (Q_1)_E$		$\frac{(Q_1)_{E, \text{th}} - (Q_1)_E}{(Q_1)_{E, \text{th}}}$
	éq ou moles $\times 10^9$	$t \times 10^3$	éq ou moles $\times 10^9$	$t \times 10^3$	éq ou moles $\times 10^9$	$t \times 10^3$	
Ca.....	183,1	3 663	72,3	1 446	110,1	2 217	60,1 %
Mg.....	147,5	1 791,9	67,5	820,1	80	971,8	54,2 %
K.....	42,6	1 659,2	26,9	1 049,1	15,6	610,1	36,6 %
Alc.....	478,1	29 018	265,5	16 195,5	212,6	1 282,3	44,4 %
SiO <sub>2</sub> .....	296,8	18 097,7	46,64	2 798,4	250	5 298,8	84,2 %

Un raisonnement analogue a permis de calculer la hauteur d'eau qui s'évapore annuellement ( $\geq 2,15$  m) (GARMOUZE, 1971).

(c) Supposons toujours que le sodium ne soit éliminé que par infiltration. Si les autres éléments ne sédimenteraient pas partiellement dans le lac ils auraient le même temps de séjour que celui du sodium. Leur stock serait égal à :  $(Q_1)_{\text{Eth}} = \bar{\tau}_{\text{Na}} \times (\bar{Q}_1)_E$ . D'où la fraction sédimentée :  $(Q_s)_E / (Q_1)_{\text{Eth}} = [(Q_L)_{\text{Eth}} - (Q_L)_E] / (Q_L)_{\text{Eth}} = 1 - (Q_L)_E / (Q_L)_{\text{Eth}}$ .

Ces résultats montrent que 84 %, 60 %, 54 %, 44,5 % et 36,5 % des apports annuels respectivement en silicates, calcium, magnésium, carbonates et potassium sédimenteraient dans le lac lui-même.

(d) Les déséquilibres annuels entre les pertes et les apports sont plus ou moins bien tamponnés selon les composés considérés. La variation relative du stock de E dans le lac, pour un écart relatif donné des débits annuels d'équilibre,  $x = (\Delta Q_1)_E / (\bar{Q}_1)_E$ , est inversement proportionnel au temps du séjour  $\bar{\tau}_E$ . En effet, en utilisant l'équation (2) :

$$\left(\frac{\Delta Q_1}{Q_1}\right)_E = x \times \frac{(\bar{Q}_1)_E}{\bar{\tau}_E \times (\bar{Q}_1)_E} = \frac{x}{\bar{\tau}_E}$$

Pour chaque composé on peut calculer les différentes valeurs de  $\left(\frac{\Delta Q_1}{Q_1}\right)_E$  en fonction de  $x$  (fig. 3). Le stock en sel dans le lac a été supposé constant pour l'estimation de  $\bar{\tau}_E$  et de  $(\bar{Q}_1)_E$ . Cette hypothèse est d'autant plus justifiable que le temps de séjour des éléments est long. Bien qu'on ne connaisse pas avec quel retard les fluctuations des apports en sels sont équilibrées par celles des pertes, on peut raisonnablement supposer que le stock reste invariable dans le temps pour les composés ioniques.  $\left(\frac{\Delta Q_1}{Q_1}\right)_E$  ne varie

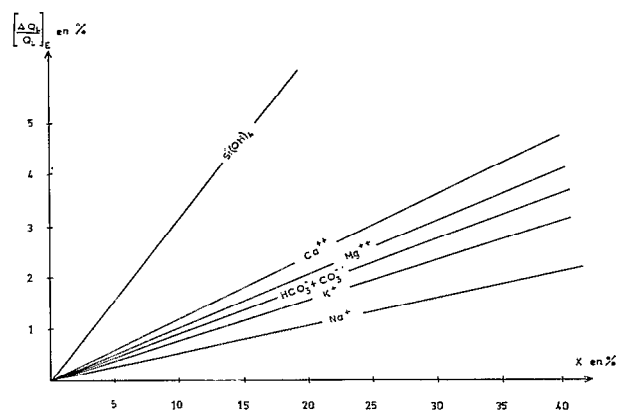


Fig. 3. — Variations relatives du stock du lac  $\left(\frac{\Delta Q_1}{Q_1}\right)_E$  en silicates calcium, magnésium carbonates, potassium et sodium en fonction de celles des débits annuels d'équilibre  $x = \left(\frac{\Delta Q_f}{Q_f}\right)_E$

en effet de 5 % que lorsque  $x$  dépasse 40 à 50 %. Par contre, en ce qui concerne les silicates les fluctuations des apports sont susceptibles de modifier de façon notable leur stock :  $\left(\frac{\Delta Q_1}{Q_1}\right)_{\text{Si(OH)}_4}$  devient supérieur à 5 % quand  $x$  dépasse 15 %. Les valeurs de  $\bar{\tau}_{\text{Si(OH)}_4}$  et de  $(Q^s)_{\text{Si(OH)}_4}$  sont plus approximatives.

La concentration moyenne des différents composés est donc en grande partie fonction du volume du lac qui, étant donné le faible temps de séjour des eaux, est très sensible à l'irrégularité de l'alimentation. Il est possible par un calcul approché de relier les variations du volume en fonction du niveau du plan d'eau entre les cotes 280,5 et 282,8. Dans

cet intervalle la surface du lac est une fonction linéaire de l'altitude du plan d'eau (1).

On obtient :  $V l_{(km^2)} \neq 68,0 + 20,1 (H_{(m)} - H_0)_{(m)}$   
La modification de la concentration moyenne de l'élément E est alors déduite de l'équation :

$$\Delta C_E = \frac{(Q_1)_E}{V - V_0}$$

### 3. CONCLUSIONS

L'assimilation du lac à un système en état d'équilibre permanent a permis de définir le temps de séjour des eaux et des principaux constituants de la salure qui donnent une description globale de la régulation hydrique et saline du lac sans qu'il soit nécessaire de connaître la nature des facteurs de régulation.

(1)  $S_{km^2} = 1846 (H_m - 281,5) + 20100$  entre les cotes 280,5 et 283.

Le volume est égal à  $V = V_0 + (H - H_0) \frac{(S_0 + S)}{2}$

avec  $S_0 = 20.100 \text{ km}^2$   $V_0 = 68 \text{ km}^3$   $H_0 = 281,5 \text{ m}$

Le faible temps de séjour des eaux par rapport à celui des composants ioniques indique que les variations de la concentration ionique des eaux dépendent principalement de celles du volume du lac.

Par cette approche on remarque que les constituants de la salure sédimentent plus ou moins dans le milieu lui-même. Par rapport au sodium dont on néglige la sédimentation, il y a 84 %, 60 %, 54 %, 44 %, et 36 % des apports annuels respectivement en silicates, calcium, magnésium, carbonates et potassium qui sédimentent dans le lac. Cette élimination des sels explique en grande partie la faible salure des eaux lacustres. Par ailleurs en supposant que le sodium ne soit éliminé que par infiltration il faut que 7,4 % des apports annuels en eaux s'infiltrent pour assurer l'équilibre salin interannuel. En conséquence la hauteur d'eau qui s'évapore annuellement est de l'ordre de 2,15 m.

Cette étude est actuellement prolongée par celle des mécanismes de sédimentation pour arriver à une interprétation plus poussée de la régulation hydrique et saline et également pour prévoir l'évolution des salures lors des situations hydrologiques exceptionnelles.

*Manuscrit reçu au S.C.D. le 22 août 1972.*

### BIBLIOGRAPHIE

- BOUCHARDEAU (A.), 1958. — Salinité des eaux du lac Tchad, interprétation des résultats. *Serv. Hydrol. O.R.S.T.O.M.* 5 p.
- 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.
- CARMOUZE (J. P.), 1969. — Salures globales et spécifiques des eaux du lac Tchad en 1968. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, III, 2 : 3-14.
- CARMOUZE (J. P.), 1970. — Salures globales et spécifiques du lac Tchad. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Géol.*, II, 1 : 61-65.
- CARMOUZE (J. P.), 1971. — Circulation générale des eaux dans le lac Tchad. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.*, V, 3/4 : 191-212.
- FONTES (J. C.), MAGLIONE (G.) et ROCHE (M. A.), 1969. — Données isotopiques préliminaires sur les rapports du lac Tchad avec les nappes de la bordure nord-est. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrol.*, VI, 1 : 17-34.
- LEMOALLE (J.), 1969. — Premières données sur la répartition du fer soluble dans le lac Tchad. Sect. Hydrobiol. O.R.S.T.O.M., Centre de Fort-Lamy, 9 p., 8 fig.
- ROCHE (M. A.), 1969. — Évolution dans l'espace et dans le temps de la conductivité des eaux du lac Tchad d'après les résultats de 1909, 1957, 1962 à mars 1968. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrol.*, VI, 1 : 35-74.
- ROCHE (M. A.), 1970. — Évaluation des pertes du lac Tchad par abandon superficiel et infiltrations marginales. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Géol.*, II, 1 : 67-80.
- TILHO, 1910. — Documents scientifiques de la mission Tilho 1906-1909. Imp. Nat. Paris, II : 553-600.
- TOUCHEBEUF DE LUSSIGNY (P.), 1969. — Monographie du lac Tchad. *Serv. Hydrobiol. O.R.S.T.O.M.*, 163 p.