

LIMNOLOGIE. — *Originalité de la régulation saline du lac Tchad*. Note (\*) de  
M. Jean-Pierre Carmouze, présentée par M. Jean Orcel.

Une description 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. Une sédimentation différentielle des principaux éléments dans le milieu lui-même est mise en évidence.

Le lac Tchad en raison de son endoréisme représente par excellence un bassin d'accumulation des apports solides et liquides des fleuves et, en raison de sa faible profondeur et du climat subaride environnant, un bassin de concentration saliné des eaux. Or 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. Il y a donc approximativement équilibre hydrique et salin à l'échelle pluriannuelle. Aussi a-t-il été possible d'assimiler le lac à un système en état d'équilibre dynamique pour préciser les termes des bilans hydriques et salins.

1. EQUILIBRE HYDRIQUE. — Le volume du lac Tchad, bien qu'il soit susceptible de varier fortement [pour la période 1933-1971 les valeurs extrêmes sont égales à  $31,5$  et  $105 \times 10^9 \text{ m}^3$  <sup>(1)</sup>], oscille autour d'une valeur moyenne qui est de l'ordre de  $68 \times 10^9 \text{ m}^3$ .

Les apports se font par voie fluviale et météorique. Les apports fluviaux depuis 1933 ont fluctué entre  $29$  et  $64 \times 10^9 \text{ m}^3$ , les apports météoriques entre  $2$  et  $6 \times 10^9 \text{ m}^3$ . La valeur moyenne des apports annuels est de  $46 \times 10^9 \text{ m}^3$ . Les pertes totales annuelles sont du même ordre de grandeur car on peut considérer que les écarts annuels entre les apports et les pertes se compensent au cours de cette période ; elles sont estimées à  $2,29$  m par an et par unité de surface <sup>(2)</sup>. Elles ne peuvent être dues qu'à l'évaporation et aux infiltrations étant donné que le lac est privé d'exutoire. L'évaporation qui a été évaluée par mesures directes sur bac [<sup>(2)</sup>, <sup>(3)</sup>] et par application de formules théoriques [<sup>(4)</sup>, <sup>(5)</sup>] est comprise entre  $2,15$  et  $2,29$  m. Ces valeurs qui sont légèrement inférieures ou égales à celle des pertes totales montrent que l'évaporation assure la presque totalité des pertes. Il s'ensuit que les infiltrations ne peuvent être mises en évidence de façon certaine car elles représentent au maximum  $10 \%$  des pertes totales, grandeur qui correspond à l'erreur relative commise sur les estimations d'évaporation. Les pertes, qui sont donc proportionnelles à la surface liquide, peuvent être calculées en fonction de la cote du plan d'eau. Les valeurs extrêmes au cours de la période considérée sont évaluées à  $38$  et  $54 \times 10^9 \text{ m}^3$  : Elles ont été obtenues à la suite de plusieurs années successivement déficitaires ou excédentaires en apports. Les fluctuations des pertes sont moins amples et moins brutales que celles des apports. Les déséquilibres hydriques qui en résultent sont mal amortis par le lac. Le coefficient de renouvellement annuel des eaux est en effet très élevé ( $1 : 1,5$  en moyenne).

Le tableau I regroupe les principales caractéristiques du modèle « statistique » en équilibre dynamique pour la période 1933-1971.

O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire  
N° : 5800  
Cote : B

O. R. S. T. O. M. ex 1  
Collection de Référence

5800Hydr

5 DEC. 1972

TABLEAU I  
Volumes moyens des apports fluviaux  $\bar{V}_f$ , météoriques  $\bar{V}_m$  et totaux  $\bar{V}_t$

$\bar{V}_f \times 10^9 \text{ m}^3$	$\bar{V}_m \times 10^9 \text{ m}^3$	$\bar{V}_t \times 10^9 \text{ m}^3$	$\bar{H}$ (m)	$\bar{S}$ (km <sup>2</sup> )	$\bar{V}_t$ (km <sup>3</sup> )	$\tau_{\text{eau}}$ (années)
Chari : 38,1.....						
Autres.....	6,0	46,0	281,5	20 100	68,0	1,50
Fleuves : 1,9.....						

2. EQUILIBRE SALIN. — D'après les données éparées couvrant la période 1905-1967 qui ont été regroupées par M. A. Roche (7) et celles recueillies en continu depuis 1967, on constate que le stock en sels du lac ne subit pas de fluctuations notables ; ce qui implique un équilibre entre les apports et les pertes en sels.

Les apports en sels dissous qui sont principalement représentés par les ions  $\text{CO}_3\text{H}^-$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ , et les silicates sous forme  $\text{Si}(\text{OH})_4$ , se font par voie fluviale. Ils varient plus ou moins chaque année en fonction des crues fluviales. La courbe d'évolution annuelle de la concentration de chacun des éléments change peu d'une année à l'autre d'après les résultats dont nous disposons depuis 1967. Aussi pour le Chari, les apports moyens annuels des différents éléments ont-ils été définis en utilisant comme données de calcul l'histogramme annuel moyen des débits pour la période 1933-1971 et ceux des concentrations de chacun des éléments pour la période 1967-1971. Il est également tenu compte des apports des autres fleuves qui représentent 10 % de ceux du Chari. Les résultats sont consignés dans le tableau II.

Les pertes en sels qui équilibrent les apports à l'échelle pluri-annuelle, se font par sédimentation physicochimique et biochimique ainsi que par infiltration. L'étude spatio-temporelle des salures spécifiques (6) a permis de mettre en évidence deux zones principales de modification de la composition relative de la salure. Dans le Nord du lac qui est occupé par les eaux les plus salées, il y a précipitation de carbonate de calcium. Les sédiments de cette région sont riches en calcite. Dans la cuvette sud, partie du lac reliée au système fluvial, il y a, par rapport au sodium, élimination partielle de silicates, de calcium et, à un moindre degré, de potassium qui semble en grande partie due à des néoformations silicatées dont l'étude est en cours. A ces phénomènes de sédimentation physicochimique s'ajoutent des phénomènes de sédimentation biochimique comme en témoigne la présence de fonds vaseux riches en matière organique dans certaines régions où les processus anaboliques doivent l'emporter sur les processus cataboliques. Il est possible d'estimer les sédimentations relatives de chacun des éléments en définissant leur temps de résidence,  $\tau_E$ , dans le lac. En effet, ceux-ci séjournent d'autant plus longtemps qu'ils sédimentent moins rapidement. Pour définir  $\tau_E$  on admet que le stock en sels reste constant dans le temps, ce qui permet d'utiliser les données de 1970. Les stocks en ions et en silicates ne varient en effet que de 5 % lorsque l'écart relatif entre les débits annuels d'apports et de pertes dépasse respectivement 40 % pour les ions et 15 % pour les silicates. Les résultats sont regroupés dans le tableau II.

Le sodium est l'élément qui séjourne le plus longtemps dans le lac. Au regard de ses propriétés physicochimiques, sa sédimentation dans le milieu lacustre est

AN INSTITUTE OF SCIENCE LIBRARY

1972

1000

TABLEAU II

Apport moyen annuel en éléments  $(\bar{Q}_{fc})_E$  au lac par le Chari  
et par les autres fleuves  $(\bar{Q}_{fb})_E$

$\bar{E}$	$(\bar{Q}_{fc})_E$ éq $\times 10^9$ ou moles	$(\bar{Q}_{fb})_E$ éq $\times 10^9$ ou moles	$(\bar{Q}_f)_E$ éq $\times 10^9$ ou moles	$(\bar{Q}_l)_E$ éq $\times 10^9$ ou moles	$\bar{\tau}_E$ (années)	$(\bar{C}_l)_E = \frac{(\bar{Q}_l)_E}{\bar{V}_l}$
Na <sup>+</sup> .....	4,8	0,50	5,3	105	19,8	1,55 méq/l
Ca <sup>++</sup> .....	8,4	0,85	9,25	72,3	7,8	1,06 —
Mg <sup>++</sup> .....	6,7	0,75	7,45	67,5	9,0	0,99 —
K <sup>+</sup> .....	1,9	0,25	2,15	26,9	12,5	0,39 —
CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> ..	21,8	2,35	24,15	265,5	10,9	3,90 —
Si(OH) <sub>4</sub> .....	14,1	0,83	14,99	46,64	3,1	41,1 mg/l

Apport moyen annuel total :  $(\bar{Q}_f)_E$ . Stock de l'élément E dans le lac :  $(Q_l)_E$ . Temps de séjour de l'élément E dans le lac :  $\bar{\tau}_E$ . Concentration moyenne de l'élément E dans le lac :  $(\bar{C}_l)_E$ .

Altitude moyenne du niveau d'eau :  $\bar{H}$ ; surface et volume moyens du lac :  $\bar{S}$  et  $\bar{V}_l$ ; temps de séjour des eaux dans le lac :  $\bar{\tau}_{eau}$ .

probablement négligeable. Sa régulation implique donc des pertes par infiltration qui sont égales aux apports moyens à l'échelle pluri-annuelle. Le volume moyen annuel des infiltrations qui est égal au quotient des pertes moyennes annuelles en Na<sup>+</sup> sur la teneur moyenne en Na<sup>+</sup> des eaux qui s'infiltrent, peut être déduit de ce bilan. La teneur moyenne en Na<sup>+</sup> des eaux d'infiltration est proche de celle des eaux lacustres (1,55 méq/l), si l'on suppose que le débit d'infiltration est constant et s'effectue sur tout le littoral. Dans ce cas le volume des infiltrations est égal à  $3,4 \times 10^9$  m<sup>3</sup> en moyenne. Il est probablement un peu surestimé car il semble que les fronts d'infiltration soient principalement localisés sur les côtes septentrionales et orientales (8), auquel cas la teneur moyenne en Na<sup>+</sup> des eaux d'infiltration serait > à 1,55 méq/l. Les infiltrations représentent alors au maximum 7,5 % des pertes, valeur en bon accord avec celle estimée à partir des mesures d'évaporation.

Les autres éléments sont partiellement éliminés par infiltration. En effet par rapport à Na<sup>+</sup>, on peut aisément calculer que 84, 60, 54, 44 et 36 % des apports annuels respectivement en Si(OH)<sub>4</sub>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, CO<sub>3</sub>H<sup>-</sup> et K<sup>+</sup> sédimentent dans le lac.

En définitive, la faible salure des eaux (425 mg/l en moyenne) est essentiellement due :

- à des infiltrations relativement importantes (5 à 7,5 % des apports) ;
- à des processus de sédimentation de certains éléments de la salure. Si ces processus n'existaient pas, la salure ionique moyenne des eaux serait deux fois plus élevée et les silicates atteindraient la valeur de sursaturation ( $125 \cdot 10^{-6}$ ) dans les eaux de la moitié nord du lac.

(\*) Séance du 18 septembre 1972.

(1) J.-P. CARMOUZE, Cah. ORSTOM, série Hydrol., 5, 3-4, 1971, p. 191-212.

- (2) A. BOUCHARDEAU, *Monographie du lac Tchad*, serv. Hydrol. ORSTOM, 1957.
- (3) P. TOUCHEBEUF DE LUSSIGNY, *Monographie du lac Tchad*, serv. Hydrol. ORSTOM, 1969, 163 pages
- (4) L. TURC, *Evaporation des lacs*, tableau photocopie, 1968.
- (5) J. RIQUIER, *Cah. ORSTOM*, série Pédol., 4, 1964.
- (6) J.-P. CARMOUZE, *Cah. Géol.*, 2, 1, 1970, p. 61-65.
- (7) M. A. ROCHE, *Cah. ORSTOM*, série Hydrol., 6, 1, 1969, p. 35-74.
- (8) M. A. ROCHE, *Cah. ORSTOM*, série Géol., 2, 1, 1970, p. 67-80.

Centre ORSTOM de Fort-Lamy,  
B. P. n° 65, Fort-Lamy, Tchad.