

CONTRIBUTION DES FACTEURS GÉOGRAPHIQUES ET SÉDIMENTOLOGIQUES A LA RÉGULATION SALINE D'UN MILIEU LACUSTRE

JEAN-PIERRE CARMOUZE* ET GEORGES PEDRO**

*O.R.S.T.O.M. Section d'Hydrobiologie La Paz (Bolivie)

**I.N.R.A. Département de Science du sol C.N.R.A. Versailles (France)

RÉSUMÉ

Le but de cette étude est de montrer que, mis à part les sédimentations biogéochimiques, le rapport des concentrations entre les eaux d'un lac et celles de ses tributaires $\{i\}_L / \{i\}_{af}$ ne dépend que de l'intervention des différents paramètres hydriques inhérents au milieu géographique considéré. La contribution quantitative de certains d'entre eux, telles l'évaporation, la pluviosité et les infiltrations, relativement aux apports fluviaux a pu ainsi être précisée.

ABSTRACT

The aim of this study is to show, to the exception of the biogeochemical sedimentations that the ratio between the lake and the affluent concentrations of any dissolved element depends on the different hydric parameters related to the geographic characteristics of the lake. The quantitative contribution of evaporation, rainfall and infiltration relatively to the affluent input are defined.

Un lac est un lieu d'emmagasinage de matières (eaux de ruissellement et / ou résurgences chargées d'éléments dissous et solides, eaux de pluies), qui prend obligatoirement naissance dans une dépression topographique ouverte ou fermée. Le processus d'emmagasinage est en général *cumulatif* pour les éléments solides; il est au contraire de nature *dynamique* pour les éléments *dissous* et *l'eau*. En effet, le volume d'un lac et les divers stocks en éléments dissous sont continuellement renouvelés par le jeu des apports et des pertes tout en étant plus ou moins maintenus à un niveau donné; ce sont, en première approximation, des grandeurs *stationnaires*. Il en est donc de même de la composition chimique des eaux, puisque celle-ci est la résultante des équilibres dynamiques qui contrôlent le volume du lac et ses différents stocks salins.

Ceci étant, pour comprendre ou prévoir la composition chimique d'un milieu lacustre, il est nécessaire de définir et de quantifier les transferts d'eaux

et de sels dissous dont il est le siège, puisqu'en définitive c'est la combinaison de ces derniers qui est à l'origine de la transformation du chimisme des eaux d'apport.

De quelle nature sont ces transferts? De quelles manières contribuent-ils à la régularisation hydrochimique d'un lac? Telles sont les questions que nous nous proposons d'aborder ici, en nous référant à nos travaux antérieurs relatifs au lac Tchad (J. P. CARMOUZE, 1976 — J. P. CARMOUZE et G. PEDRO, 1977).

1. LES TRANSFERTS D'EAUX ET DE SELS DISSOUS AU NIVEAU D'UN LAC

1.1. Les transferts d'eaux

Dans un milieu lacustre, les apports d'eaux proviennent en général des affluents $(v)_{af}$, des pluies $(v)_{pl}$ et, plus rarement, des résurgences $(v)_{ré}$,

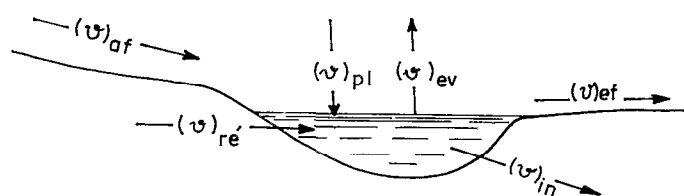


Fig. 1. — Transferts d'eaux dans un système lacustre.

tandis que les pertes sont assurées par les émissaires $(v)_{ef}$, l'évaporation $(v)_{ev}$ et les infiltrations $(v)_{in}$ (fig. 1).

À l'échelle annuelle, l'ajustement entre les apports et les pertes n'est qu'exceptionnel, ce qui entraîne des variations au niveau du volume du milieu envisagé. Mais si l'on considère une période plus grande, on remarque très couramment que le volume oscille autour d'une valeur *moyenne*, ce qui permet de définir un équilibre hydrique moyen annuel au niveau du lac; on peut alors écrire :

$$(\bar{v})_{af} + (\bar{v})_{pl} + (\bar{v})_{re} = (\bar{v})_{ef} + (\bar{v})_{ev} + (\bar{v})_{in} \quad (1)$$

Il est bon de noter à ce stade que les volumes d'eaux perdus par évaporation et reçus par les pluies sont proportionnels à la surface du milieu lacustre. Par ailleurs, ceux éliminés par les infiltrations et fournis par les résurgences, qui sont réglés par les caractéristiques hydrogéologiques de la cuvette, dépendent aussi de la surface du lac, sans toutefois qu'on soit en présence d'une fonction linéaire comme dans le cas des deux premiers transferts.

Ainsi dans la mesure où les infiltrations et les résurgences sont des transferts d'eaux peu importants au regard des autres, on arrive à conclure que, pour une alimentation donnée, les divers transferts d'eaux opérant au niveau du lac déterminent par leur combinaison une surface qui vérifie l'équation (1). Cette surface « d'équilibre » sous-tend un volume « d'équilibre », qui dépend en outre de la *forme* de

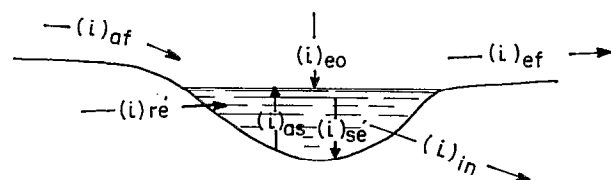


Fig. 2. — Transferts de sels dissous dans un système lacustre.

la cuvette. C'est ainsi que deux lacs, qui sont le siège des mêmes transferts d'eaux, présentent une taille voisine alors qu'ils peuvent avoir des volumes totalement différents.

Dans le cas des systèmes *endoréiques* réalisés en climats arides et semi-arides, l'équilibre hydrique précédent se simplifie : les pertes ne sont plus assurées que par l'évaporation et, en plus faibles proportions, par les infiltrations.

1.2. Les transferts de sels dissous (fig. 2)

Les apports en sels dissous proviennent essentiellement des tributaires $(i)_{af}$, plus rarement et pour une moindre part, d'apports éoliens (ou précipitations sèches) $(i)_{eo}$, de résurgences $(i)_{re}$ et de libération à partir du fond (dissolution chimique, destructions de matériaux organiques...) $(i)_{as}$. Les pertes se font par les émissaires $(i)_{ef}$, les infiltrations $(i)_{in}$ et les sédimentations chimiques $(i)_{se}$ (ces dernières désignent toute transformation sous forme *insoluble* d'un élément dissous à travers divers processus hydrochimiques, géochimiques ou biochimiques). De même que pour l'eau, dans le cas de *chaque* élément dissous i , un équilibre dynamique tend à se maintenir qui peut s'écrire :

$$(\bar{i})_{af} + (\bar{i})_{re} + (\bar{i})_{eo} + (\bar{i})_{as} = (\bar{i})_{ef} + (\bar{i})_{in} + (\bar{i})_{se} \quad (2)$$

Pour des rapports donnés en i et un régime hydrique déterminé, le stock du lac en i évolue pour atteindre une valeur telle que l'équation (2) puisse être vérifiée. Ainsi dans le cas d'un milieu chimiquement *uniforme*, on peut aisément évaluer le *stock d'équilibre* Q_i à partir du moment où l'on connaît sa *concentration d'équilibre* $\{i\}_L$:

$$\{i\}_L = \frac{\{\text{Apports en } i\} - (\bar{i})_{se}}{(\bar{v})_{ef} + (\bar{v})_{in}} \rightarrow (Q_i)_L = (\bar{v})_L \times \{i\}_L$$

$(\bar{v})_L$ désignant le volume moyen du lac.

(1) (\bar{v}) = volume moyen annuel d'eaux apportées ou perdues.

(2) (\bar{i}) quantité moyenne annuelle relative à l'élément dissous i et $\{i\}$ sa concentration moyenne.

En se référant à ces relations, il devient clair qu'ici encore les eaux de deux lacs qui sont l'objet des mêmes transferts de matières ont le même chimisme, tandis qu'ils peuvent avoir des stocks en sels dissous très différents; ces derniers étant fonction du volume, c'est à dire de la forme de la cuvette.

En conclusion, trois sortes de transferts de matières semblent régler la composition chimique des eaux lacustres :

— des transferts *exclusifs d'eau* (ou presque) : ce sont les pluies et l'évaporation.

— des transferts *exclusifs de sels*, à savoir les apports par voie éolienne et les piégeages ou libérations par voie chimique.

— des transferts *mixtes* représentés par les tributaires, les émissaires, les résurgences et les infiltrations.

A partir de là, il est aisé de se rendre compte que la composition chimique des eaux ne reste inchangée que dans le seul cas où les transferts exclusifs d'eaux et de sels dissous s'effectuent selon un rapport égal à celui existant entre le volume des eaux d'apport et la quantité de sels dont ces dernières sont chargées. Ce cas est rare en sorte que de manière générale, il y a évolution du chimisme des eaux d'apport au sein d'un lac, évolution qui est fonction du bilan des divers transferts définis. C'est ce problème que nous allons maintenant examiner.

1.3. Principes généraux de la régulation hydrochimique

Choisissons comme *paramètre d'étude* pour l'élément dissous i le rapport entre ses concentrations moyennes dans les eaux lacustres et dans les eaux d'apport : $\{\bar{i}\}_L / \{\bar{i}\}_{af}$ et partons d'un système lacustre quelque peu simplifié, à savoir :

(a) Les éventuelles libérations salines, qui sont généralement négligeables au regard des autres transferts, ne seront pas prises en compte ($(\bar{i})_{as} \approx 0$); ceci d'autant qu'elles n'incluent pas les libérations provenant du matériau préalablement sédimenté. Il en sera de même des précipitations sèches et des sels issus des résurgences, en général faiblement représentés : $(\bar{i})_{eo} \approx 0$; $(\bar{i})_{re} \approx 0$.

(b) Le milieu est considéré comme étant chimiquement uniforme.

Dans ces conditions, on peut écrire :

$$\{\bar{i}\}_{af} \times (\bar{v})_{af} = \{\bar{i}\}_L \times (\bar{v})_{ef} + \{\bar{i}\}_L \times (\bar{v})_{in} + (\bar{i})_{s6} \quad (3)$$

Si l'on pose que $(\bar{i})_{s6} = f_s \times \{\bar{i}\}_{af} \times (\bar{v})_{af}$ (f_s étant par conséquent la fraction des apports qui sédimentent avec $0 < f_s < 1$), la relation (3) devient :

$$\{\bar{i}\}_{af} \times (\bar{v})_{af} = \{\bar{i}\}_L ((\bar{v})_{ef} + (\bar{v})_{in}) + f_s \times \{\bar{i}\}_{af} \times (\bar{v})_{af}$$

d'où l'on tire en utilisant (1) :

$$\begin{aligned} \frac{\{\bar{i}\}_L}{\{\bar{i}\}_{af}} &= \frac{(\bar{v})_{af} \cdot (1 - f_s)}{(\bar{v})_{in} + (\bar{v})_{ef}} = \frac{|(\bar{v})_{ef} + (\bar{v})_{ev} + (\bar{v})_{in} - (\bar{v})_{pl}| \cdot (1 - f_s)}{(\bar{v})_{in} + (\bar{v})_{ef}} \\ &= \left[\frac{(\bar{v})_{ef} - (\bar{v})_{pl}}{(\bar{v})_{in} + (\bar{v})_{ef}} + 1 \right] \cdot [1 - f_s] \end{aligned}$$

Il en résulte que l'évolution de la composition chimique dépend de deux grands ensembles de facteurs :

(a) du bilan des échanges atmosphériques (évaporation, pluies) représentés par les transferts exclusifs d'eaux, ainsi que du total des transferts d'eaux chargées de sels dissous qui sont éliminés (effluents et infiltrations). Ces échanges de matière sont donc déterminés essentiellement par les caractéristiques hydrologiques, hydrogéologiques et climatiques du milieu, que l'on peut regrouper sous la dénomination de caractéristiques *géographiques*.

(b) de la fraction des apports qui se combinent pour donner des composés *insolubles* au sein même du lac. Ce transfert dépend alors de la nature des éléments dissous présents, de leur affinité mutuelle et de leur aptitude à réagir en fonction des caractéristiques physicochimiques et biologiques de l'environnement lacustre. Il s'agit donc de facteurs qui sont essentiellement de nature *biogéochimique*.

Dans ces conditions, un élément qui présente une affinité chimique nulle pour un milieu donné est uniquement contrôlé par les caractéristiques « géographiques » du système; c'est le cas que nous allons exposer en détail, avant d'apporter quelques éléments relatifs à l'intervention des phénomènes biogéochimiques.

2.2. Modalités de l'intervention des facteurs « géographiques » dans la régulation saline

2.2.1. CONTRIBUTION DES PARAMÈTRES CLIMATIQUES

Dans le cas où la régulation est contrôlée par les seules caractéristiques « géographiques », $f_s = 0$ en sorte que l'équation (4) se simplifie :

$$\{\bar{i}\}_L / \{\bar{i}\}_{af} = \frac{(\bar{v})_{ev} - (\bar{v})_{pl}}{(\bar{v})_{in} + (\bar{v})_{ef}} + 1 \quad (4)$$

ou mieux, étant donné que $(\bar{v})_{af} + (\bar{v})_{pl} \approx (\bar{v})_{ev} + (\bar{v})_{in} + (\bar{v})_{ef}$

$$\{\bar{i}\}_L / \{\bar{i}\}_{af} = \frac{(\bar{v})_{ev} - (\bar{v})_{pl}}{(\bar{v})_{af} - (\bar{v})_{ev} + (\bar{v})_{pl}} + 1 \quad (5)$$

Cette dernière expression a l'avantage de ne faire apparaître que les transferts qui font généralement l'objet de *mesures directes*, à savoir : l'évaporation, les pluies et les apports fluviaux. Deux représentations graphiques en ont été tirées :

— la première prend en compte le seul bilan « évaporation-pluies », exprimé *relativement* aux apports des tributaires :

$$f_1 = \frac{(\bar{v})_{ev} - (\bar{v})_{pl}}{(\bar{v})_{af}}$$

f_1 pouvant être positif, nul ou négatif suivant que l'évaporation est supérieure, égale ou inférieure à la pluviosité (1); d'où il résulte que :

$$\{i\}_L / \{i\}_{af} = \frac{1}{1-f_1} \quad (6)$$

— la seconde fait apparaître l'évaporation et les pluies, prises *séparément*, toujours exprimées relativement aux apports fluviatiles; de cette manière sont explicitées les contributions de chacun de ces transferts à la régulation saline :

$$f_2 = \frac{(\bar{v})_{ev}}{(\bar{v})_{af}} \quad \text{et} \quad f_3 = \frac{(\bar{v})_{pl}}{(\bar{v})_{af}}$$

f_2 et f_3 étant toujours ≥ 0

$$\text{Par suite } f_1 = f_2 - f_3 \quad \text{et} \quad \{i\}_L / \{i\}_{af} = \frac{1}{1-(f_2-f_3)} \quad (7)$$

Nous obtenons donc à l'aide des équations (6) et (7) deux fonctions hyperboliques qui vont nous permettre d'évaluer le rôle des facteurs *climatiques* relativement aux paramètres hydrologiques (apports fluviatiles) dans la régulation saline.

(a) Rôle du bilan global « évaporation-pluies »

La représentation graphique de l'équation fondamentale (6) montre immédiatement que la courbe coupe l'axe des ordonnées lorsque $f_1 = 0$ (fig. 3). Cet axe permet donc de distinguer 3 cas :

— à droite, $f_1 > 0$, ce qui correspond à $E > P$, la concentration des eaux lacustres est plus élevée que celle des eaux fluviatiles : elle augmente même *très vite*, puisque lorsque f_1 tend vers 1, $\{i\}_L / \{i\}_{af}$ devient infini (2). On a affaire à un *bassin de concentration*.

— au centre sur l'axe des ordonnées, $f_1 = 0$ et $E = P$. Le bilan évaporation-pluies est nul, en sorte que la concentration des apports fluviatiles $\{i\}_{af}$ reste inchangée.

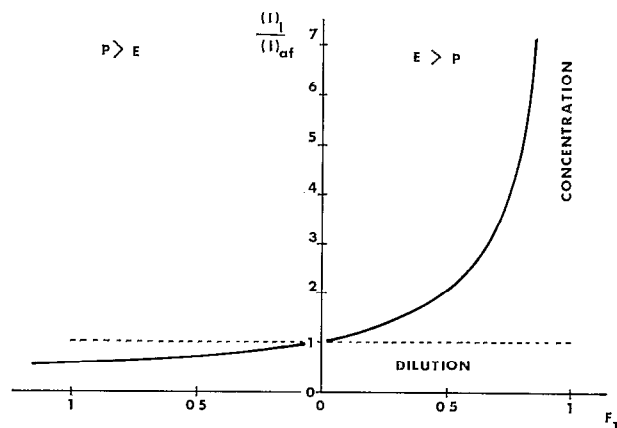


Fig. 3. — Variation du paramètre $\{i\}_L / \{i\}_{af}$ avec f_1 ($f_3 = 0$).

— enfin, à gauche on a $f_1 < 0$, car $E < P$. La concentration des eaux fluviatiles diminue, mais elle le fait très lentement (3). On se trouve alors dans le cas d'un *bassin de dilution*.

(b) Rôles spécifiques de l'évaporation et de la pluviosité

Ces rôles sont déduits de l'équation (7) qui aboutit à la représentation de la figure 4; on peut y suivre l'évolution du paramètre $\{i\}_L / \{i\}_{af}$ en fonction de f_2 (évaporation relative) pour différentes valeurs de f_3 (pluviosité relative). Il en résulte que la concentration est d'autant plus marquée que la part des eaux météoriques est faible et, pour des pluviosités données, que l'évaporation relativement aux apports d'eaux fluviatiles est élevée.

(c) Conséquences : dynamique comparée de l'eau et des solutés dans les 3 situations climatiques principales

L'introduction du taux de renouvellement annuel τ de la matière emmagasinée pour une période donnée Δt , permet de mieux préciser l'écoulement de la matière. Il s'agit d'un quotient, soit entre les apports ou pertes en eaux et le volume du lac (ζ eau), soit entre les apports ou pertes en sels dissous et les stocks salins (ζ_i).

Si on choisit l'année comme période de référence ($\Delta t = 1$), on a :

$$\zeta_{\text{eau}} = \frac{(\bar{v})_{af}}{(\bar{v})_L} \quad \text{et} \quad \zeta_i = \frac{(\bar{v})_{af} \times \{i\}_{af}}{(\bar{Q})_{iL}}$$

(1) Ceci correspond aux 3 situations que DUSSART (1966) caractérise par les expressions de bilan hydrologique négatif, nul ou positif.

(2) Ainsi, quand l'évaporation nette représente 80 % des eaux d'apport fluviatiles $\{i\}_{af}$ quintuple; quand elle est de 90 % $\{i\}_{af}$ décuple.

(3) Par exemple, la concentration en i diminue de moitié quand les apports météoriques nets sont égaux aux apports des eaux fluviatiles, d'un quart quand ils représentent trois fois le volume de ces derniers.

(a) Dans le cas où l'évaporation est égale à la pluviosité, $\{\bar{i}\}_L = \{\bar{i}\}_{af}$ et il n'y a pas modification de la concentration en i des eaux d'apport dans le lac.

$$\text{Or } (\bar{Q}_i)_L = (\bar{v})_L \times \{\bar{i}\}_{af}$$

$$\text{Par suite : } \zeta i = \frac{(\bar{v})_{af}}{(\bar{v})_L} = \zeta \text{ eau}$$

Ainsi le volume du lac et son stock en i ont le même taux de renouvellement annuel, ou encore l'eau et l'élément i ont un mode d'écoulement apparemment *identique* (il ne serait en toute rigueur identique que si $(\bar{v})_{ev}$ et $(\bar{v})_{pl}$ étaient nuls).

Il en est de même dans le cas d'un système endoréique pour lequel seules les infiltrations assurent le maintien des équilibres hydriques et salins.

(b) Lorsque l'évaporation est supérieure à la pluviosité ($E > P$), $\{\bar{i}\}_{af} < \{\bar{i}\}_L$ et, de ce fait :

$$\zeta i = \frac{(\bar{v})_{af} \times \{\bar{i}\}_{af}}{(\bar{v})_L \times \{\bar{i}\}_L} < \zeta \text{ eau} = \frac{(\bar{v})_{af}}{(\bar{v})_L}$$

Dans un bassin de concentration en sels, tout se passe donc comme si l'écoulement de l'élément

dissous i à travers le milieu lacustre était retardé par rapport à celui de l'eau d'accompagnement d'origine fluviale.

A la limite, lorsque f_1 tend vers 1 (ou encore que $f_2 - f_3 \rightarrow 1$) : $(\bar{v})_{ev} - (\bar{v})_{pl} = (\bar{v})_{af}$

et par suite : $(\bar{v})_{in} + (\bar{v})_{ef}$ s'annule

Il n'y a plus du tout élimination de sels, en sorte que le bassin devient une véritable *saline* (1).

(c) Enfin, quand l'évaporation devient inférieure à la pluviosité ($E < P$), $\{\bar{i}\}_{af} > \{\bar{i}\}_L$ en sorte que :

$$\zeta i = \frac{(\bar{v})_{af} \times \{\bar{i}\}_{af}}{(\bar{v})_L \times \{\bar{i}\}_L} > \zeta \text{ eau} = \frac{(\bar{v})_{af}}{(\bar{v})_L}$$

Ainsi, dans un tel bassin lacustre, l'écoulement de l'élément i est accéléré par rapport à celui de l'eau d'accompagnement d'origine fluviale.

En définitive, les 3 grandes situations climatiques du milieu naturel peuvent parfaitement s'exprimer sous un angle dynamique en comparant respectivement les écoulements de l'eau et des substances dissoutes.

2.2.2. CONTRIBUTION DES FACTEURS HYDROLOGIQUES : IMPORTANCE DES INFILTRATIONS DANS LES SYSTÈMES ENDORÉIQUES

Lorsqu'on a affaire à des systèmes endoréiques avec $(\bar{v})_{ef} = 0$, les sels dissous ne peuvent être éliminés que par les infiltrations. Si alors on pose :

$$f_1 = \frac{(\bar{v})_{in}}{(\bar{v})_{af}}$$

f_4 étant ≥ 0 , l'équation (5) devient :

$$\frac{\{\bar{i}\}_L}{\{\bar{i}\}_{af}} = \frac{f_1}{f_4} + 1 \quad (8)$$

Ce qui aboutit à la représentation de la figure 5, où l'on peut suivre la variation de $\{\bar{i}\}_L / \{\bar{i}\}_{af}$, en fonction de f_4 pour les différentes valeurs positives de f_1 . Ainsi la concentration est d'autant plus forte que les infiltrations sont faibles et que les évaporations sont élevées.

Lorsque les infiltrations s'annulent, $\frac{\{\bar{i}\}_L}{\{\bar{i}\}_{af}}$ tend vers l'infini et l'on retrouve le cas des salines *sans* élimination des sels.

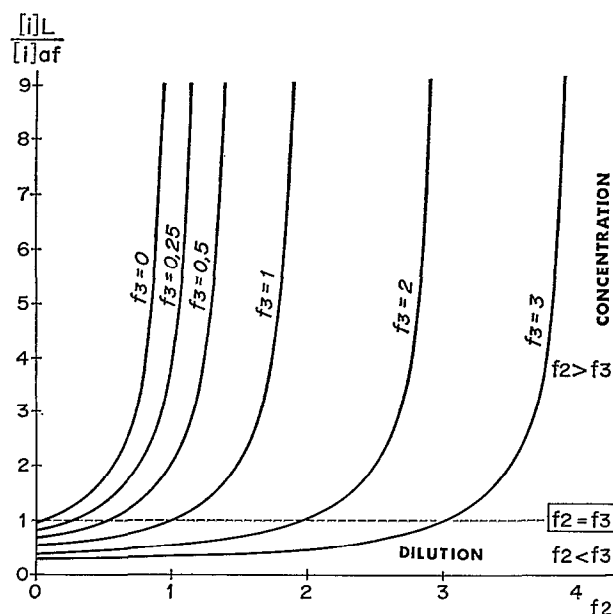


Fig. 4. — Variation du paramètre $\{\bar{i}\}_L / \{\bar{i}\}_{af}$ avec f_2 , pour diverses valeurs de f_3 .

(1) Il s'agit là de milieux lacustres asséchés et incrustés de sels qui prennent diverses dénominations selon le lieu géographique : salinas et salars en Amérique latine, sebkhas en Afrique...

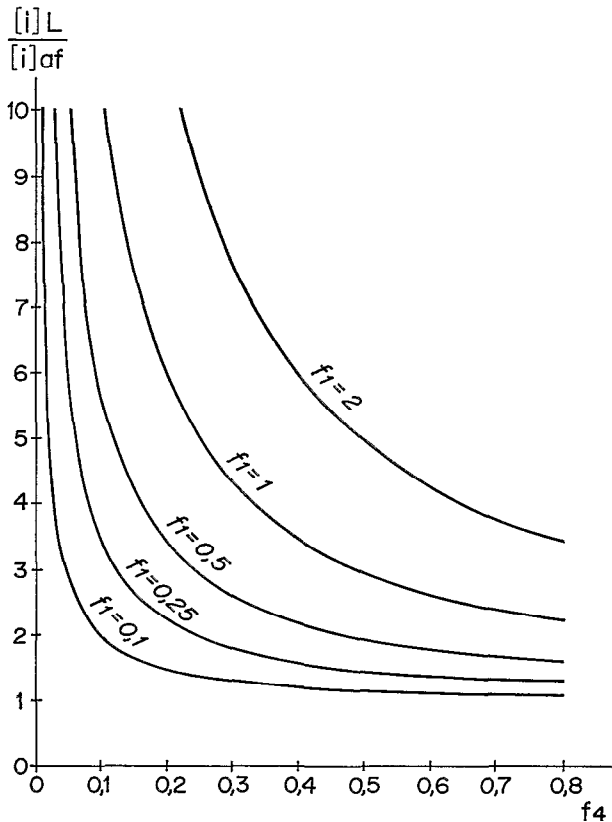


Fig. 5. — Variation du paramètre $\{i\}_L / \{i\}_{af}$ avec f_4 (infiltration relative) pour diverses valeurs de f_1 .

2.3. Modification de la régulation « géographique » consécutive au développement de sédimentations géochimiques

Il s'agit du cas *normal*, mais que nous allons traiter *globalement* en faisant intervenir le facteur $f_s = \frac{(i)_{se}}{\{i\}_{af} \times (\bar{v})_{af}}$ et sans préciser la nature, des dépôts chimiques engendrés au sein du lac.

En partant de la relation générale (4) et en se référant à l'équation (6), on peut écrire :

$$\frac{\{i\}_L}{\{i\}_{af}} = \left(\frac{1}{1-f_1} \right) \cdot (1 - f_s) \quad (9)$$

Il s'agit d'une famille d'hyperboles, qui sont toutes situées *en-dessous* de la courbe correspondant à $f_s = 0$ (fig. 6) : la présence de sédimentations biogéochimiques tend bien effectivement et dans tous les cas à diminuer la concentration des eaux lacustres. On peut toutefois délimiter 3 domaines :

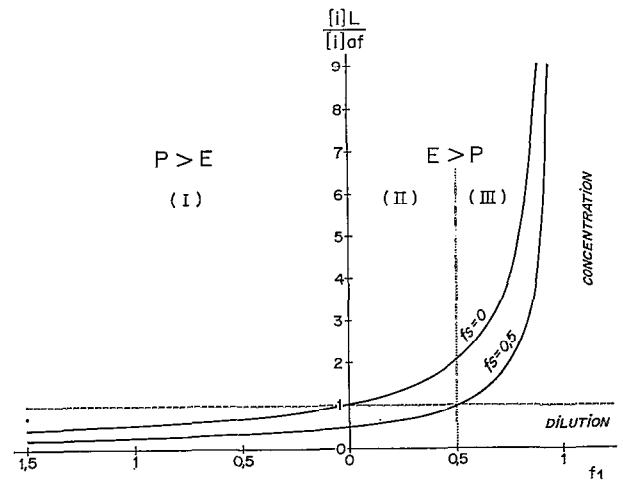


Fig. 6. — Variation du paramètre $\{i\}_L / \{i\}_{af}$ avec f_1 lorsque $f_s = 0$ et $f_s = 0,5$.

- (I) $f_1 < 0$ (P > E)
- (II) $0 < f_1 < f_s$ (P < E)
- (III) $f_1 > f_s$ (P < E)

Dans deux de ces domaines, le sens de l'évolution de la régulation « géographique » n'est pas modifié : il s'agit de (I) où la dilution est simplement *renforcée* et de (III) où la concentration est *amoindrie*.

En revanche, le développement de phénomènes biogéochimiques change le sens de l'évolution dans le cas II, puisque la concentration en i diminue dans les eaux lacustres. On voit ainsi que, malgré un large déficit hydrique ($E > P$), il peut arriver que l'effet de *dessalage* consécutif à une sédimentation chimique l'emporte sur l'effet de concentration par évaporation (cf. J. P. CARMOUZE, 1976).

La comparaison des paramètres f_1 et f_s s'avère donc être extrêmement importante pour prévoir l'évolution de la salinité des eaux lacustres au sein du milieu naturel.

CONCLUSIONS

Il résulte de cet ensemble de données 3 remarques essentielles :

(a) L'étude *quantitative* de la régulation saline permet de connaître le *poids* des divers paramètres « géographiques », soit d'ordre climatique (évaporation - pluviosité), soit de nature hydrologique (apports fluviaux - pertes par les émissaires et pertes par infiltrations) dans l'évolution de la concentration d'un élément quelconque au sein d'un système lacustre.

(b) Connaissant la concentration des eaux fluviales d'une part et les diverses caractéristiques hydriques annuelles du système d'autre part ($v_{ev} - v_{pl} - v_{fe} - v_{ef} - v_{in}$), il est possible de calculer la *salinité virtuelle* des eaux lacustres, c'est-à-dire la salinité qu'on obtiendrait par la seule régulation géographique et en admettant qu'il ne se produit aucun phénomène biogéochimique. En principe, il suffit de comparer cette valeur virtuelle avec la salinité réelle pour pouvoir évaluer globalement la part qui revient à la sédimentation biogéochimique.

(c) Dans le cas d'éléments tels que Na^+ et Cl^- dont les dépôts sont négligeables (à moins d'atteindre les très fortes concentrations réalisées dans les

saumures), l'étude de la seule régulation géographique permet de déterminer le facteur de concentration ou de dilution. A partir de là, connaissant les volumes moyens annuels des apports par les tributaires (v_{af}) et les pluies (v_{pl}) et d'un autre côté des pertes par les émissaires (v_{ef}), il devient aisé de déterminer les volumes moyens annuels perdus par l'évaporation et surtout les *infiltrations*, c'est-à-dire d'atteindre des grandeurs qui sont en général très difficiles à mesurer (surtout la seconde) dans le milieu naturel.

Manuscrit reçu au Service des Publications de l'O.R.S.T.O.M. le 22 septembre 1977.

BIBLIOGRAPHIE

CARMOUZE (J. P.), 1976. — La régulation hydrochimique du lac Tchad. Thèse Paris VI. *Travaux et documents O.R.S.T.O.M.*, n° 58, 418 p.

CARMOUZE (J.P.) et PEDRO (G.), 1977. — Influence du climat sur le type de régulation saline du lac Tchad ; relations

avec les modes de sédimentation lacustre. *Sciences Géologiques* (Strasbourg), 30, 1 (sous presse).

DUSSART (B.), 1966. — Limnologie. Gauthier-Villars, Paris, 677 p.