Zeitschrift: Archives des sciences [1948-1980]
Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band: 28 (1975)
Heft: 2

Artikel: Évolution biogéochimique du lac Léman de 1957 à 1973 (III)
Autor: Chassaing, Bernard / Olive, Philippe / Pelletier, Jean Pierre
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-739798

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

ÉVOLUTION BIOGÉOCHIMIQUE DU LAC LÉMAN DE 1957 A 1973 (III)

PAR

Bernard CHASSAING [1], Philippe OLIVE [1], Jean Pierre PELLETIER [2] et Erik SIWERTZ [2]

Dans deux articles précédemment parus [1] et [2], nous avons présenté le bilan hydrologique et les apports en éléments nutritifs au lac Léman pour la période 1963-1972. La présente publication est consacrée à l'analyse de l'évolution biogéochimique du lac depuis 1957.

Du fait de la complexité d'ensemble des processus d'eutrophisation, il nous a paru utile de rappeler quelques notions de base:

Un lac peut être considéré comme un *système ouvert* dans le sens où il est constamment affecté par un flux de matière qui le renouvelle [3]. Il a donc un perpétuel échange de matière, et d'énergie, avec son environnement. Sous certaines conditions, le système peut atteindre un *équilibre dynamique* [3] caractérisé par la constance du système dans son ensemble. En désignant par L la quantité d'un élément présent dans l'eau du lac (azote, phosphore, ...), par $\frac{dE}{dt}$ et $\frac{dS}{dt}$ les apports et les pertes de ce même élément, on peut écrire:

$$\frac{dL}{dt} = \frac{dE}{dt} + \frac{dS}{dt}$$

Dans le cas où l'équilibre dynamique est atteint:

$$\frac{dE}{dt} + \frac{dS}{dt} = 0$$

Donc:

$$\frac{dL}{dt} = 0, \text{ soit } L = \text{constante}$$

---

[1] Centre de Recherches Géodynamiques — 74203 Thonon-les-Bains.
[2] Station d'Hydrobiologie Lacustre — 74203 Thonon-les-Bains.
[3] « Steady state » des auteurs anglo-saxons.

Ainsi l'équilibre dynamique hydrologique du Léman est atteint pour un volume de 89 km³ avec des entrées, compensant les sorties, de 240 m³/s [1].

En condition d'équilibre dynamique, il est intéressant d'introduire la notion de *temps de séjour moyen* τ [1] d'un élément:

$$\tau = \frac{L}{dE/dt} = \frac{L}{dS/dt}$$

Il résulte, de la notion même de système ouvert, que toute perturbation induit une autorégulation tendant à rétablir l'équilibre. A l'intérieur même de l'écosystème les interactions entre les organismes vivants, de même que les interactions entre le domaine biotique et l'environnement abiotique, maintiennent le système en équilibre.

I. DOMAINE BIOTIQUE

Les êtres vivants qui peuplent un lac se répartissent, suivant leur rôle écologique, en trois catégories principales:

— *Les producteurs:* ils sont essentiellement représentés par les organismes chlorophylliens, capables de photosynthèse. La zone littorale du Léman étant très restreinte par rapport à la zone pélagique, l'étude des producteurs sera limitée à celle du phytoplancton.

— *Les consommateurs:* ils comprennent le zooplancton, le benthos et les poissons. Ces organismes participent à la chaîne alimentaire.

— *Les décomposeurs:* cette catégorie est constituée par les champignons inférieurs et surtout les bactéries. Leur rôle consiste à dégrader la matière organique particulaire pour la transformer, par étapes, en matière organique dissoute et en substances minérales. Ces substances sont partiellement recyclées.

L'étude du *phytoplancton* est réalisée à partir d'échantillons d'eau brute [2] prélevés dans la zone euphotique (zone de pénétration de la lumière). Suivant leur répartition dans le temps, on distingue différentes catégories d'espèces phytoplanctoniques:

— *Espèces permanentes* telles que *Rhodomonas minuta* SKUJA de très petite taille présentes dans tous les échantillons.

— *Espèces saisonnières* bien représentées par *Stephanodiscus hantzschii* GRÜN, qui connaît régulièrement un développement explosif au printemps (plusieurs

[1] « Mean residence time » des auteurs anglo-saxons.

[2] Les organismes sont fixés au lugol, concentrés par sédimentation, puis examinés au microscope inversé à travers le fond de la chambre (méthode d'Utermohl [4]). Cette technique permet de prendre en considération le nannoplancton (taille < 50 microns) qui joue un rôle important dans le Léman.

millions d'individus par litre) alors qu'elle reste pratiquement introuvable le reste de l'année.

— *Espèces à développement occasionnel* apparaissant sporadiquement et pouvant parfois devenir dominantes. Elles modifient alors la physionomie du peuplement phytoplanctonique. C'est le cas de *Ceratium hirundinella* SCHRANK dont la présence se manifeste par des taches brun rouge.

On observe au cours de l'année une succession de populations. A plus long terme, l'apparition ou le développement de nouvelles espèces, constituent des indices de l'évolution du lac [5]. Ainsi l'invasion du Léman par *Oscillatoria rubescens* D.C. en 1967 marque une étape dans l'eutrophisation du lac [6]. On peut attribuer une signification analogue au développement plus récent d'autres Cyanophycées (*Aphanizomenon flos-aquae* RALFS) [7].

a) *Biomasse*

Pour évaluer la biomasse du phytoplancton on a le plus souvent recours à une méthode globale et spécifique qui consiste à déterminer la teneur en chlorophylle *a* de l'eau brute [8].

Dans la zone euphotique, la teneur moyenne en chlorophylle *a* varie de valeurs minimales de l'ordre de 1 mg/m³ en hiver à des maxima pouvant dépasser 10 mg/m³ lors des poussées de phytoplancton. La moyenne annuelle s'établit autour de 4 mg/m³, valeur correspondant à environ 1,5 g/m³ de matière organique fraîche [9].

b) *Production primaire*

Alors que la biomasse exprime l'importance du stock de matière vivante existant à un instant donné [1], la notion de production primaire est un concept dynamique qui renseigne sur la vitesse de renouvellement de la matière organique. Le processus de production primaire représente l'aspect fondamental du métabolisme lacustre; la décomposition en est le mécanisme antagoniste. Par ailleurs une mesure de production primaire exprime la réponse intégrée du phytoplancton à l'ensemble des conditions du milieu, en particulier aux facteurs climatiques et trophiques.

L'équation générale des phénomènes de production et de décomposition peut s'écrire ainsi [10]:

$$106\,CO_2 + 90\,H_2O + 16\,NO_3 + 1\,PO_4 + \text{oligoéléments} + \text{énergie}$$

$$\text{Production} \downarrow \quad \uparrow \text{Décomposition}$$

$$C_{106}\,H_{180}\,O_{46}\,N_{16}\,P + 154\,O_2$$

protoplasme

[1] « Standing crop » des auteurs anglo-saxons.

Pratiquement, l'évaluation de la production primaire consiste à mesurer la quantité d'oxygène libéré ou la quantité de carbone assimilé par photosynthèse [11] et [12].

Le profil vertical de production (fig. 1) dépend d'une part de la distribution verticale du phytoplancton et d'autre part du gradient d'éclairement. La zone de production, dite *zone trophogène*, correspond à la *zone euphotique*. Sa limite inférieure oscille entre 10 et 20 mètres. La production journalière brute de cette zone, exprimée en mg de C assimilé par unité de surface, varie d'un minimum voisin de 100 mg/m² en hiver à des valeurs pouvant dépasser 2 000 mg/m² entre le printemps et l'automne.

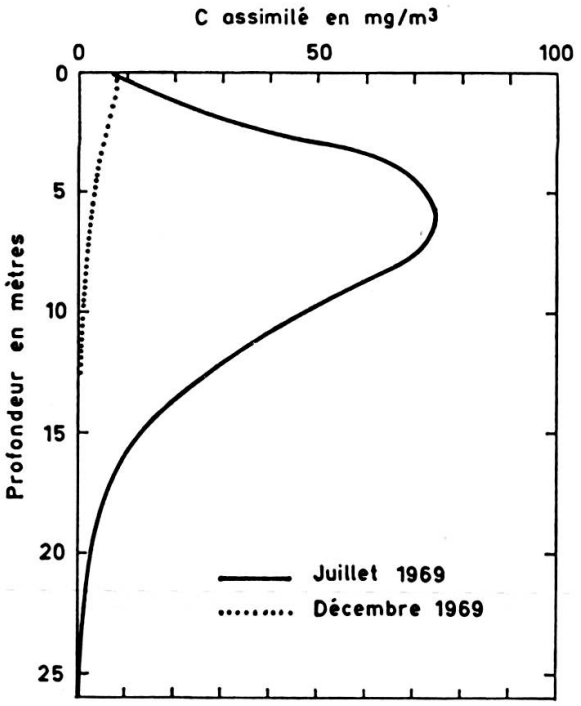

FIG. 1. — Profils verticaux de production primaire à la station SHL 1 en 1969.

La production annuelle nette [1] du Léman, déterminée de 1968 à 1974 dans le Grand Lac, varie de 165 à 235 g de C/m². A partir d'une valeur moyenne évaluée à 200 g C/m²/an [2] et en extrapolant ce résultat à l'ensemble du lac, on obtient une production nette de 120 000 tonnes de carbone par an. Cette masse représente environ 2 400 000 tonnes de matière organique produite. Il est intéressant de rapprocher cette valeur des 1 000 t/an de poisson pêché par les professionnels.

Les variations saisonnières de la production primaire sont contrôlées essentiellement par des facteurs trophiques (P, N, oligoéléments, vitamines, chélatants, ...),

[1] Production nette = Production brute − Respiration. Elle correspond à la quantité d'algues mise à la disposition des consommateurs.

[2] A 200 g de C correspondent environ 400 g de matière sèche ou 4 000 g de matière fraîche.

climatiques (lumière, température, turbulence) et biologiques (autoantagonisme, broutage...). A l'état d'équilibre naturel interviennent des processus régulateurs:

— *Facteurs nutritifs :* au cours de la période de stratification thermique, la zone trophogène se trouve isolée des zones moyenne et profonde par la thermocline. On assiste alors à une décroissance de la teneur en éléments nutritifs (P, N, SiO_2, ...)

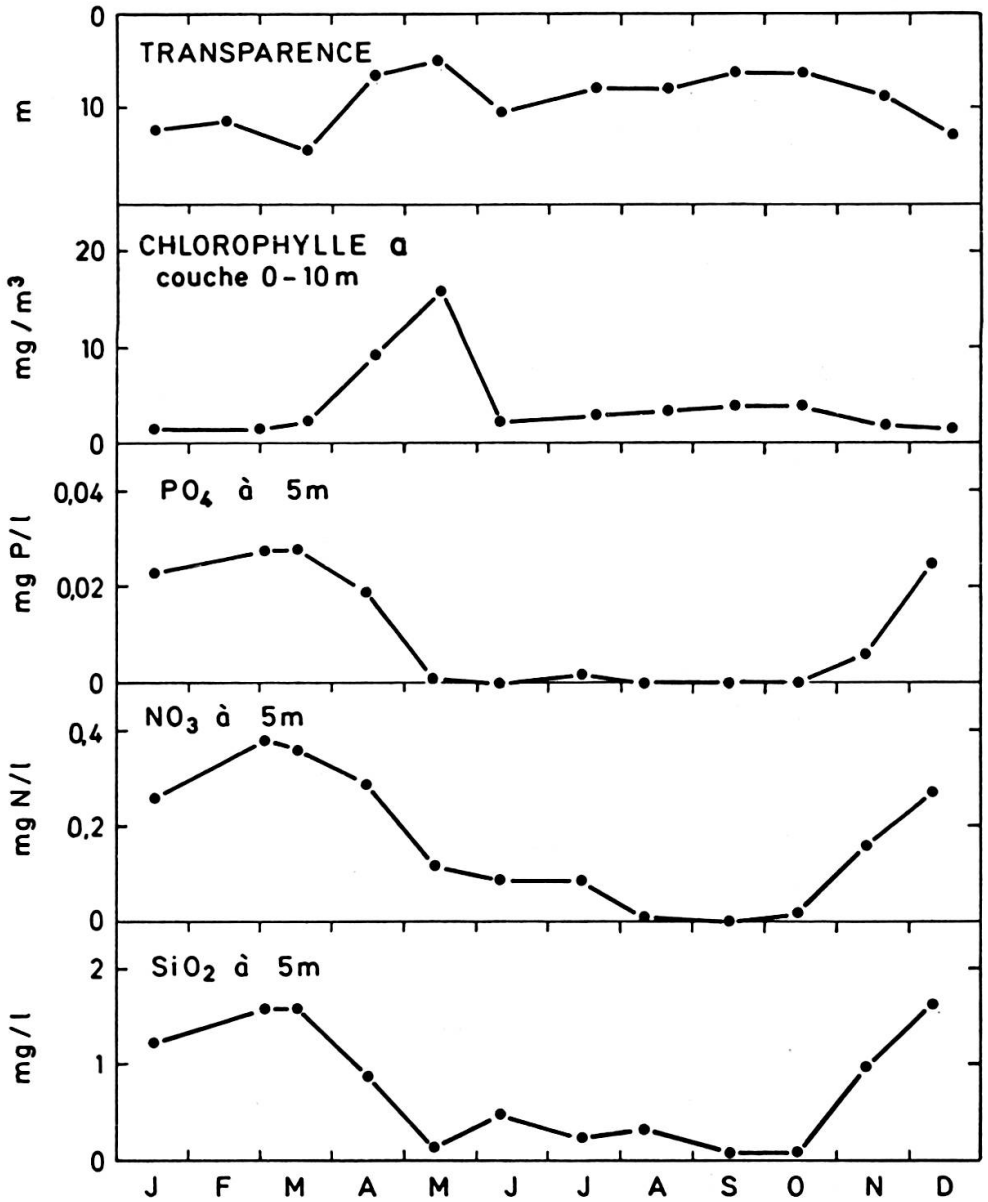

FIG. 2. — Variations de la transparence, de la teneur en chlorophylle et en éléments nutritifs à la station SHL 1 en 1969.

dissous dans le milieu (fig. 2) par suite de l'assimilation chlorophyllienne et de la sédimentation d'une partie des organismes. Le *phosphore minéral* dissous disparaît le premier et se comporte comme le *facteur limitant principal.* Le rôle limitant de l'azote se manifeste secondairement. La silice nécessaire au développement des

Diatomées et des Chrysophycées influe sur l'abondance de ces organismes et intervient essentiellement dans le déterminisme des successions de population [12].

— *Effet d'autoobscurcissement* [1] *:* d'une façon générale, on observe une relation inverse bien marquée entre l'abondance du phytoplancton et la transparence de l'eau (fig. 2). Ce phénomène devient flagrant au cours d'une prolifération algale (fleur d'eau) [2]: la forte densité des organismes qui s'accumulent près de la surface limite la pénétration de la lumière et par conséquent l'épaisseur de la zone trophogène.

— *Autoantagonisme :* des expériences de laboratoire portant sur le phytoplancton du Léman ont montré qu'indépendamment des phénomènes d'absorption de lumière, le rendement de la production (production/chlorophylle *a* diminue lorsque la biomasse augmente [12]. Un tel phénomène s'apparente aux processus d'autoantagonisme mis en évidence dans des cultures d'algues et qui s'expliqueraient par l'accumulation de déchets dans le milieu.

— *Broutage* [3] *:* il exprime la consommation d'une partie du phytoplancton par le zooplancton. Dans le cas du Léman on constate chaque année que la forte diminution de la biomasse du phytoplancton qui succède au pic printanier s'accompagne d'un développement très important du zooplancton. Le broutage joue un rôle non négligeable en limitant dans certaines conditions la biomasse et par suite la production primaire.

Toutefois, à la suite des modifications des conditions du milieu consécutives à l'activité de l'homme, ces mécanismes autorégulateurs ne sont plus à même de jouer leur rôle en permanence. Un nouvel équilibre accompagné de modifications biologiques qualitatives et quantitatives va donc s'instaurer provisoirement. De telles ruptures d'équilibre, qui se manifestent notamment par des proliférations algales de plus en plus fréquentes, traduisent une eutrophisation accélérée du Léman.

II. MATIÈRE ORGANIQUE DISSOUTE

Il existe entre les organismes vivants et les éléments minéraux un troisième domaine représenté par la *matière organique dissoute*. Elle provient en partie de catabolisme des organismes et surtout de la décomposition de la matière organique particulaire par les *bactéries* qui la dégradent jusqu'à minéralisation. La figure 3 représentant les diverses formes de la matière organique montre l'importance relative de la matière organique dissoute [13].

---

[1] « Self-shading effect » des auteurs anglo-saxons.
[2] « Algal bloom » des auteurs anglo-saxons.
[3] « Grazing » des auteurs anglo-saxons.

Lors d'une première étude réalisée en 1973, le stock de matière organique dissoute était dans le Léman voisin de 50 000 tonnes [14]. On note un maximum en mai de 70 000 tonnes et un minimum en août de près de 30 000 tonnes. La poussée planctonique principale ayant lieu en mai, on pourrait penser à une liaison directe entre la matière organique et la biomasse planctonique avec une décomposition bactérienne en trois mois. Cependant la réalité est plus complexe lorsqu'on différencie les deux composants principaux de la matière organique dissoute:

— Les *hydrates de carbone* présentent deux maxima de 30 000 tonnes en mai et en juillet. Leur présence, liée à l'exsudation par le plancton, semble évidente. Ces deux pics sont suivis, avec un délai d'un mois, par deux minima: l'un en juin (20 000 tonnes) l'autre en août (10 000 tonnes). Cette baisse pourrait être due à la décomposition par les bactéries.

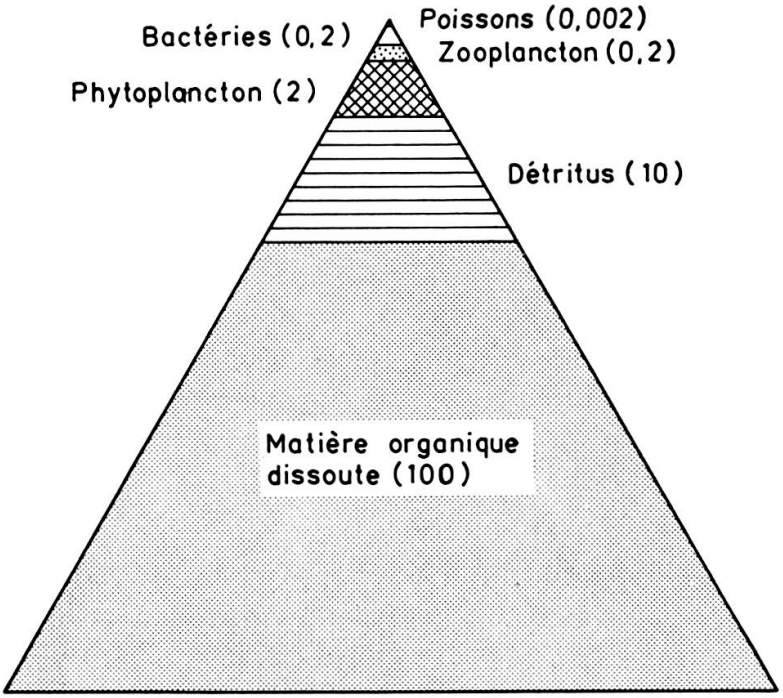

FIG. 3. — Répartition de la matière organique en zone euphotique marine.
(D'après Séki 1970)

— Les *protéines* ont des variations du stock beaucoup plus délicates à interpréter. En effet, le maximum de mai (40 000 tonnes) est suivi deux mois après par un minimum (10 000 tonnes).

Il subsiste à ce stade des recherches beaucoup de points d'interrogation; la compréhension des interactions biogéochimiques ne pourra se faire sans une étude approfondie de la matière organique et de l'activité bactérienne. L'étude des variations isotopiques naturelles ($^{13}C/^{12}C$ et $^{15}N/^{14}N$) se révèle comme étant un outil précieux pour la compréhension de ces phénomènes [15].

III. DOMAINE ABIOTIQUE

Les données utilisées proviennent des analyses effectuées dans le cadre de la Commission Internationale pour la Protection des Eaux du lac Léman et du Rhône contre la Pollution [7] à laquelle participent nos deux laboratoires.

Malgré son importance dans la dynamique biochimique du Léman, il n'est pas possible, actuellement, de traiter les données concernant l'azote. En effet, la détermination de l'azote organique n'a été entreprise que depuis 1973 et les premières données montrent qu'il représente environ 30% de l'azote total.

Par contre, le phosphore total, dosé depuis 1957, se prête mieux à une interprétation quantitative.

1) *Bilan en phosphore total.*

La figure 4 présente l'évolution des concentrations trimestrielles calculées par pondération des résultats mensuels obtenus aux douze profondeurs de la station S.H.L. 2. Les données de la Commission internationale montrent que les mesures relatives à cette station restent assez proches des valeurs moyennes calculées sur l'ensemble des stations prospectées (7), tout en accordant un poids trop important à la zone littorale, la plupart des stations se situant sur un fond de 50 mètres. C'est pourquoi il est permis, dans une première approximation, de considérer la station S.H.L. 2, située au centre du lac sur un fond supérieur à 300 mètres, comme représentative.

Les entrées en phosphore total dissous sont passées de près de 300 tonnes/an vers la fin des années 1950 à 1100 tonnes/an au début des années 1970 (2) (fig. 4). Le cumul des apports montre qu'entre 1957 et 1973 il est entré dans le lac 14 000 tonnes de phosphore. Pendant cette même période les sorties à l'exutoire passaient de 150 tonnes/an à 300 tonnes/an (fig. 4): de 1957 à 1973 il est sorti, par l'émissaire, 4000 tonnes de phosphore. Le système lacustre a donc stocké pendant cette période, soit 17 ans, environ 10 000 tonnes de phosphore.

Il est intéressant de comparer ce bilan global du système à l'évolution du stock de phosphore total dans l'eau du lac. Afin d'obtenir des valeurs représentatives aux bornes de la période d'étude, nous avons considéré les concentrations moyennes calculées sur trois années: 1957-1959 et 1971-1973. Elle est passée d'environ 10 mg/m^3 à environ 70 mg/m^3: elle a donc été multipliée par sept. Ces teneurs correspondent respectivement à des stocks de 1000 tonnes et de 7000 tonnes: 6000 tonnes de phosphore total ont donc été stockées dans l'eau du lac pendant cette période. Le stockage global s'élevant à 10 000 tonnes, la rétention du phosphore dans le sédiment peut être estimée à environ 4000 tonnes de 1957 à 1973.

Les différents termes du bilan sont reportés dans le tableau 1.

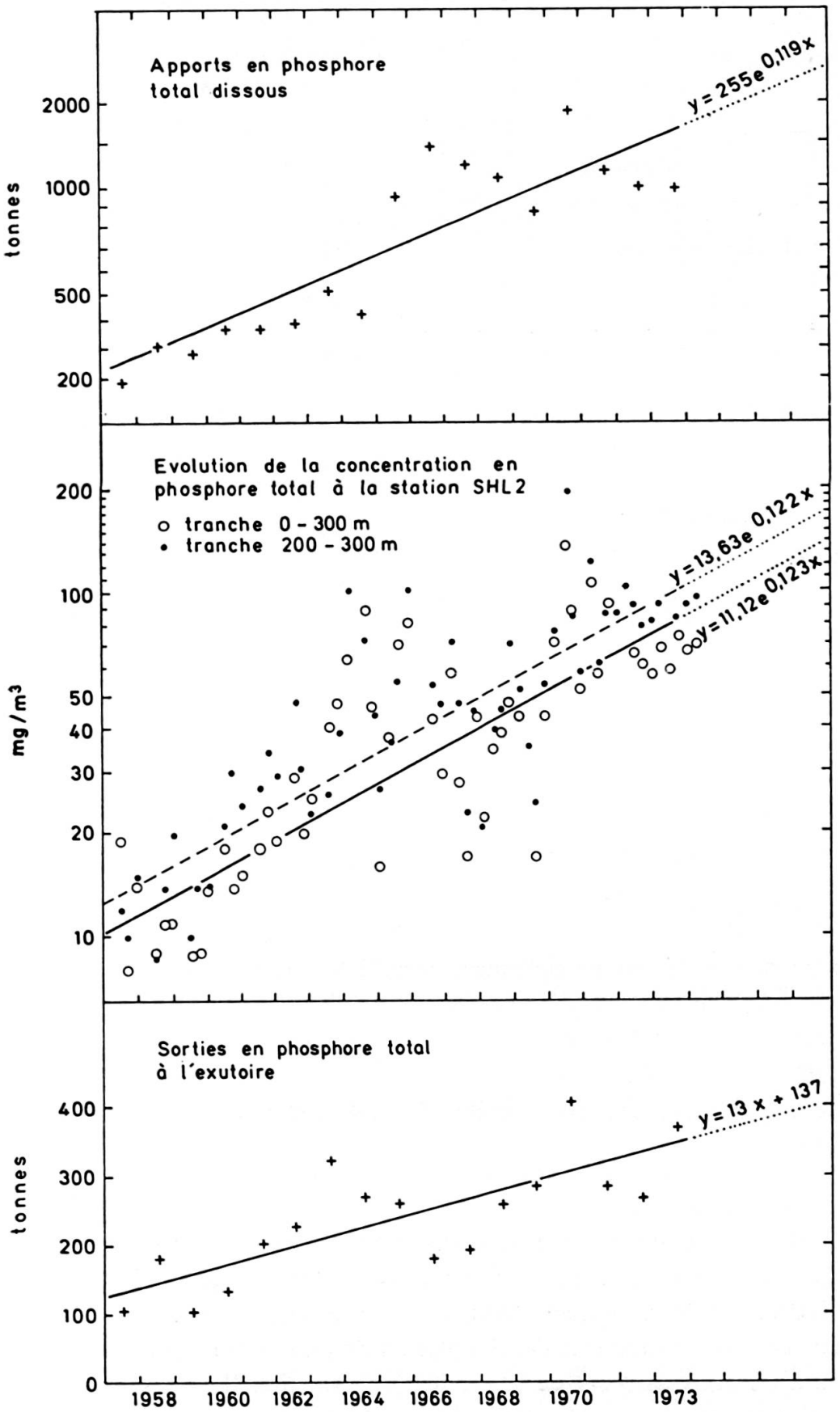

FIG. 4. — Le phosphore total dans le système lémanique (1957-1973).

TABLEAU 1

Bilan en phosphore total dans le Léman de 1957 à 1973

Phosphore total	Période 1957-1973 (Tonnes)	Variations annuelles (Tonnes/an)
Entrées dans le lac	14 000	820
Sorties à l'exutoire	4 000	240
Stockage dans l'eau	6 000	350
Rétention dans le sédiment	4 000	240

Ce bilan met en évidence que la quantité de phosphore retenue par le sédiment est aussi importante que les sorties à l'exutoire.

2) *Evolution des teneurs en phosphore.*

Entre 1957 et 1973, les concentrations en phosphore total de l'eau ont très fortement augmenté, puisqu'elles ont été multipliées par un facteur 7. L'équilibre dynamique est donc loin d'être réalisé. Cependant, dans l'hypothèse où les apports se maintiendraient au rythme des années 70, soit environ 1100 tonnes/an, nous pouvons examiner dans quelles conditions s'établirait cet équilibre dynamique:

$$(dE/dt)_{\text{apports}} = (dS/dt)_{\text{exutoire}} + (dS/dt)_{\text{sédiments}} = 1100 \text{ t/an}$$

Le phosphore, étant partiellement recyclé lors des processus biologiques, son temps de séjour moyen τ_P doit être supérieur à celui de l'eau, soit globalement 12 ans dans le cas du Léman (1):

$$\tau_P > 12 \text{ ans soit } \frac{L}{dE/dt} > 12$$

$$\text{d'où } L > 13\,000 \text{ tonnes de } P$$

Donc, si l'équilibre dynamique se réalisait pour des apports en phosphore total stabilisés au rythme actuel, la masse de phosphore total contenue dans l'eau dépasserait 13 000 tonnes. Or, le stock actuel représente 7000 tonnes.

Dans une telle hypothèse, l'accumulation du phosphore dans le système lacustre conduira à un accroissement de la production primaire. Il en résultera une intensification des processus de décomposition se traduisant par une augmentation du

déficit en oxygène en profondeur. A l'interface vase-eau, le milieu deviendra réducteur. De telles conditions favoriseront la remise en solution du phosphore accumulé dans la couche superficielle du sédiment. On assistera alors à une accentuation brutale de l'eutrophisation.

3) *Rôle du sédiment.*

Le premier centimètre de sédiment du Léman contient environ 0,05% de phosphore (16, 17), soit 1000 tonnes. Depuis Naumann (18), il est généralement admis que le sédiment « actif » a une épaisseur d'environ 10 cm pour les lacs euro-

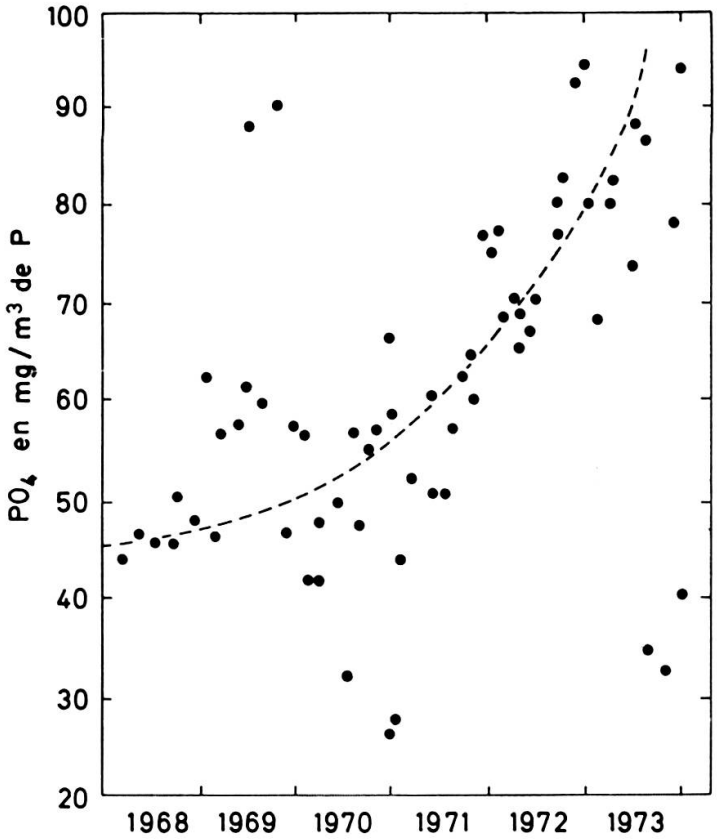

FIG. 5. — Evolution de la concentration en orthophosphates exprimée en mg/m³ de P à la station SHL 2 (1968-1973).

péens (19) et (20). La vase du Léman est donc susceptible de jouer un rôle important dans la dynamique du phosphore, en particulier sous la forme orthophosphate plus facilement échangeable (21). On constate, sur la figure 5, l'accroissement exponentiel des orthophosphates dans l'hypolimnion.

Le sédiment lacustre constitue donc une source potentielle de phosphore qui ne doit pas être négligée.

CONCLUSIONS

Au début du siècle Forel [22], créateur de la limnologie moderne, avait décrit un Léman oligotrophe: un équilibre dynamique existait entre les processus de production et de décomposition. Cet ensemble, grâce à une organisation biologique complexe, restait remarquablement stable. En effet toute modification de l'un des facteurs de l'équilibre, déplace cet équilibre, dans le sens qui tend à s'opposer à la variation du facteur considéré (transposition des lois de Lenz et de Le Chatelier).

Depuis le début des années 60, le seuil critique est atteint [2]. *L'équilibre biogéochimique est rompu:* il y a dissociation dans le temps et dans l'espace des phénomènes de production et de décomposition: surproduction d'algues dans la couche supérieure et putréfaction au fond.

L'influence de l'activité humaine sans cesse croissante se traduit par une augmentation de la charge en éléments nutritifs [1]. En réaction à cette perturbation extérieure, la communauté des organismes vivants a adapté *qualitativement* et *quantitativement* son organisation.

D'un point de vue pratique, il est clair qu'une action préventive s'impose: il faut *réduire au maximum les sources* en éléments nutritifs et en particulier le *phosphore* [2]. Notons à ce propos que le rendement actuel des stations d'épuration ne permet pas d'atteindre cet objectif [7]: il est donc nécessaire d'assurer le fonctionnement correct des stations d'épuration. De plus, la limitation indispensable des apports du bassin versant ne permettra pas d'arrêter brusquement les processus d'eutrophisation. Ces derniers sont susceptibles de se poursuivre jusqu'à épuisement du stock de phosphore recyclable accumulé dans le *sédiment*.

Enfin une action ne visant qu'à favoriser les processus de minéralisation (oxygénation des eaux du fond) pour établir un nouvel équilibre ne peut conduire qu'à une accélération du métabolisme lacustre. Seul un traitement conjugué des deux aspects antagonistes (production/décomposition) permettra de sauvegarder ce lac.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent particulièrement à remercier Monsieur Guy BARROUIN pour la lecture critique du manuscrit.

---

[1] Cette activité humaine se traduit aussi par des rejets industriels inconsidérés de divers polluants ou toxiques (mercure, ...) qu'une application de la législation permettrait de ramener à des doses tolérables.

BIBLIOGRAPHIE

[1] SIWERTZ, E., B. CHASSAING, M. HAUBERT et Ph. OLIVE (1974). Bilan hydrologique du lac Léman pour la période 1963-1972 (I). *Arch. Sc.* Genève, 27, 1, 49-66.

[2] HAUBERT, M., E. SIWERTZ, B. CHASSAING et Ph. OLIVE (1975). Apports en nutrients au lac Léman pour la période 1963-1972 (II). *Arch. Sc.* Genève, 28, 1, 41-52.

[3] BERTALANFFY, L. (1950). The theory of open systems in Physics and Biology, Science, III, 23-29.

[4] UTERMOHL, H. (1958). Zur Vervollkommung der quantitativen phytoplankton-Methodik. *Mitt. Int. Verein. Theor. Angew. Limnol.*, 9, 38 p.

[5] LAURENT, P. J. (1968). Le lac Léman. Avancement des études relatives à son évolution. *Revue Inst. Pasteur*, Lyon, 1, 3, 459-462.

[6] PELLETIER, J. P. (1968). Première colonisation du Léman par *oscillatoria rubescens* D.C., *Rev. Algol.*, 9, 2, 186-192.

[7] Rapports sur les études et recherches entreprises dans le bassin lémanique par la Commission Internationale pour la Protection des Eaux du lac Léman et du Rhône contre la Pollution. (Secrétariat: 23, avenue de Chailly, 1012 Lausanne.)

[8] STRICKLAND, J. D. M. and T. R. PARSONS (1968). A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Bd Canada*, 311 p.

[9] CUSHING, D. M. (1958). The estimation of carbon in phytoplankton. *Rapp. et proc. Verb. réun. Cons. Perm. Int. Explor. Mer.*, 144, 32-33.

[10] SVERDRUP, H. U. (1942). In E. P. ODUM (1971). Fondamentals of ecology. 3rd. Edition. W. B. Saunders Company Philadelphia, London, Toronto, 574 p.

[11] BROUARDEL, J. et C. SERRUYA (1967). Mesure de la production organique dans le lac Léman à l'aide du ^{14}C. *Ann. Limnol.*, 3, 2, 299-330.

[12] PELLETIER, J. P. (1973). Contribution à l'étude de la production primaire du lac Léman. Thèse, Université de Provence, 112 p., 16 tabl., 17 pl. h. texte.

[13] SEKI, M. (1970). Rôle des micro-organismes dans la chaîne alimentaire de la mer profonde. *La Mer*, 8, 1, 27-34. (En japonais.)

[14] LUGRIN, M. (1974). Premières données sur les composés organiques dissous dans le bassin du lac Léman. Thèse, Université de Paris VI, 216 p., 36 fig., 40 tabl., annexes.

[15] BERTONI, R., U. MELCHIORRI-SANTOLINI, R. LETOLLE, M. LUGRIN and Ph. OLIVE (1974). A preliminary approach to the use of the isotopic ratio $^{13}C/^{12}C$ for the evaluation of mineralization in aquatic environments. *Int. Revue Ges. Hydrobiol.*, 59, 1, 65-68.

[16] MEYBECK, M. (1971). Bilan hydrochimique et géochimique du lac Léman. Thèse, Université de Paris VI, 245 p., 56 fig., 30 tabl.

[17] GONET, O. (1972). Introduction à l'étude des relations chimiques entre les sédiments du fond et l'eau du Léman: *Bull. Lab. Géol. Minéral. Géoph. et du Musée Géol.* de l'univers. de Lausanne, 191, 26 p.

[18] NAUMAN, E. (1930). Einführung in die Bodenkunde der Seen. *Die Binnengewässer*, 9, 1-126.

[19] HAYES, F. R. (1964). The mud water interface. *Oceanogr. Mar. Biol. Am. Rev.*, 2, 121-145.

[20] LEE, G. F. (1970). Factors affecting the transfer of materials between water and sediments. Litterature Review No. 1. The University of Wisconsin. Water Resources Center Eutrophication Information Programm, Madison, 50 p.

[21] STUMM, W. and J. J. MORGAN (1970). Aquatic chemistry, Wiley Interscience, New York, 583 p.

[22] FOREL, F. A. (1892-1904). Le Léman. Monographie limnologique. Tome I, II, III. F. Rouge, Lausanne.

(Manuscrit recu le 13 mars 1975)