

Zeitschrift: Archives des sciences [1948-1980]
Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band: 22 (1969)
Heft: 1

Artikel: Les dépôts du lac Léman : en relation avec l'évolution du bassin sédimentaire et les caractères du milieu lacustre
Autor: Serruya, Colette
Kapitel: Recherches méthodologiques pour l'étude des systèmes limnologiques et sédimentaires
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-739152>

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: 02.05.2026

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

SIXIÈME PARTIE

RECHERCHES MÉTHODOLOGIQUES POUR L'ÉTUDE DES SYSTÈMES LIMNOLOGIQUES ET SÉDIMENTAIRES

Le limnologue étudie un microcosme et ne peut manquer d'être frappé par l'enchevêtrement des phénomènes qu'il observe dans le milieu lacustre. S'il a décidé d'étudier la seule productivité primaire par exemple, il se rend vite compte que son étude n'aura de sens que s'il étudie aussi la transmission de la lumière, la température, la répartition des substances nutritives dans l'eau, les courants, les débits des affluents du lac, la composition du plancton etc... Autrement dit, la recherche limnologique, pour être valable, exclut par sa nature même le travail isolé. Elle se rapproche en ce sens de la recherche océanographique, mais la limnologie a sur l'océanographie un avantage considérable: la masse d'eau, d'organismes et de sédiments d'un lac sont plus proches de l'échelle humaine que ceux de l'océan.

Un lac est donc un excellent modèle réduit dont on peut, dans certains cas favorables, mesurer simultanément un grand nombre de caractéristiques.

Les problèmes inhérents à la recherche limnologique sont de deux ordres:

- les problèmes technologiques relatifs à la mesure simultanée d'un grand nombre de paramètres;
- les problèmes méthodologiques qui naissent de notre ignorance du déroulement intime des processus métaboliques lacustres.

LES PROBLÈMES TECHNOLOGIQUES DE MESURE

Dans certains secteurs des études limnologiques, ces problèmes sont partiellement résolus par les mesures automatiques. C'est ainsi qu'on obtient d'excellents enregistrements limnimétriques, des profils thermiques sont établis avec rapidité et précision et peuvent d'ailleurs être automatisés. En gros, on peut dire que les paramètres météorologiques et certains paramètres physiques tels que la température, la conductivité, peuvent être mesurés en continu avec une bonne précision.

L'incertitude est déjà plus grande dans les mesures hydrologiques concernant les débits des affluents du lac: de nombreux exemples montrent que les débits de crue sont fréquemment difficiles à évaluer correctement d'où des erreurs importantes dans les bilans hydrologiques des lacs.

Les mesures de pH et de Eh — mesures physico-chimiques — présentent de sérieuses difficultés: effectuées sur des échantillons remontés en surface, on ne s'occupe alors pas de l'influence de la pression et de la température qui s'exercent sur l'eau

in situ. Par contre, si les mesures sont effectuées par des électrodes sondes, elles sont souvent affectées par des phénomènes parasites: mémoire de l'électrode de Platine qui a traversé un milieu réducteur, par exemple.

Les mesures purement chimiques ont souvent une bonne précision mais peuvent rarement être faites en continu. Il faut prélever l'échantillon, ce qui a l'inconvénient de provoquer des décompressions qui ne doivent pas être négligeables dans les analyses de gaz dissous, et pratiquer l'analyse au laboratoire. Les recherches des grandes firmes tendent d'ailleurs à automatiser les mesures chimiques: par exemple la mise au point des mesures électrométriques de l'oxygène dissous et du SH_2 .

On pénètre dans un autre domaine lorsqu'il s'agit de déterminer les substances nutritives dans l'eau. Si les nitrates et les phosphates sont maintenant des analyses de routine, la détermination du Carbone organique dans l'eau, des sucres, des acides aminés, des éléments traces, fait appel à des techniques longues à mettre en œuvre comme la chromatographie ou encore trop récentes et trop onéreuses pour être faites en série: analyse par radioactivation.

Les données biologiques nécessaires à connaître sont, quant à elles de deux types:

qualitatives: détermination des espèces de la faune et de la flore planctonique et benthique qui ne peut être faite que sur des prélèvements;

quantitatives: pour le plancton autotrophe, nous disposons, avec la technique du C^{14} d'une technique assez pratique bien qu'on ne soit pas sûr comme le souligne G.W. SAUNDERS (1963) que l'assimilation de l'isotope radioactif soit la même à des températures et des éclaircissements variables.

Les mesures deviennent beaucoup plus compliquées et imprécises lorsqu'il s'agit de dénombrer les bactéries. On peut procéder par comptage direct qui est long, difficile et peu sûr, ou par ensemencement sur milieu stérile. Mais alors rien ne nous garantit que telle bactérie, abondante dans le milieu naturel n'a pas été ralentie dans son développement sur le milieu de culture. Par rapport à d'autres espèces qui prolifèreraient pareillement sur les deux milieux, la proportion représentant la première espèce serait artificiellement abaissée. Or la population bactérienne des lacs est importante à connaître puisque la minéralisation des matières organiques se fait presque intégralement par leur intermédiaire. Il en résulte que de l'intensité et de la vitesse de ces processus dépend l'enrichissement d'un milieu lacustre par recyclage des produits de minéralisation.

Ce bref examen des problèmes technologiques met en évidence le décalage dans une étude limnologique entre la rapidité et la précision de certaines mesures physiques, la relative précision mais la lenteur des mesures chimiques et la lenteur aussi bien que l'incertitude des comptages bactériens. Il y a là une anomalie technologique qui freine beaucoup le développement de la recherche sur le métabolisme des lacs.

On trouve une situation analogue en sédimentologie où des méthodes géophysiques simples et faciles à mettre en œuvre permettent l'investigation de tréfonds des lacs et des océans sous plusieurs centaines de mètres d'eau et de vase et où, par contre, il n'existe pas de méthode simple de carottage qui permettent d'obtenir un échantillon réel de vase à plus de 20 m sous la surface de la vase.

LES PROBLÈMES MÉTHODOLOGIQUES

Supposons résolus les problèmes technologiques. Il faudrait encore une méthode qui rende possible l'utilisation rationnelle des résultats fournis par les mesures. C'est-à-dire que nous devrions connaître l'enchaînement des causes et des effets qui sous-tendent la dynamique lacustre. Or nous sommes loin de cet idéal.

Cette situation n'est pas sans rappeler celle qui régna longtemps en hydrologie: on savait bien que la pluie recharge les nappes, mais il fallut attendre le développement de la pédologie, de la physique des sols et de recherches spéciales sur l'écoulement en milieu naturel non saturé, pour avoir une idée du mécanisme de l'évaporation, de l'infiltration, en un mot, de la dynamique de recharge des nappes. Alors que les premières formules admettaient des coefficients empiriques intégrant un grand nombre de variables, les formules actuelles se sont affinées et font intervenir la porosité du sol, effectivement mesurée, les variations de la succion, etc...

Cette évolution est le résultat d'études à grande échelle sur les bassins versants expérimentaux où pour la première fois et grâce aux progrès technologiques, on a pu mesurer en même temps les caractéristiques météorologiques et particulièrement les précipitations, la remontée des nappes, les variations d'humidité et de succion dans la zone désaturée de l'hydrosphère etc... Cette amélioration s'est aussitôt fait sentir sur les techniques de prévision et permet actuellement d'établir des programmes d'exploitation des nappes aquifères avec un pourcentage d'erreur remarquablement faible. L'élaboration des formules actuelles n'a été possible qu'à partir du moment où on a pu faire des *bilans hydrologiques*. En limnologie, un tel travail reste à faire.

Il serait pour cela souhaitable qu'un lac expérimental soit choisi, de dimensions compatibles avec un équipement hydrologique, météorologique, hydrobiologique et sédimentologique, aussi complet que possible. Pendant un certain nombre d'années, la mesure simultanée d'un grand nombre de paramètres permettrait d'approcher de plus près le mécanisme intime des phénomènes limnologiques. Une tentative a été faite en France par la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique (D.G.R.S.T.) au lac de Nantua (Ain) et mise sur pied par S. Serruya, mais l'équipement en est encore insuffisant. Cependant les mesures obtenues sur le Léman et à Nantua nous ont permis de réfléchir aux équilibres hydrobiologiques et sédimentaires.

Du point de vue thermodynamique, un lac est un système ouvert qui reçoit son énergie ou tout au moins une grande partie de celle-ci, de l'extérieur sous forme de rayonnement solaire. Or l'énergie solaire met en marche un grand nombre de phénomènes limnologiques: réchauffement des eaux de surface et stratification thermique, transmission du rayonnement dans l'eau, photosynthèse... Chacune de ces actions modifie le milieu initial et c'est sur un milieu continuellement changé que s'exercent les actions ultérieures.

Comment analyser quantitativement un phénomène complexe à très nombreuses variables et en perpétuelle évolution ?

Il semble que toute méthode sera incomplète ou arbitraire. Il est aisé d'imaginer qu'aucune méthode ne nous donnera d'emblée une solution parfaite. Il est souvent profitable dans de tels cas d'élaborer une technique d'analyse approchée: les renseignements que cette technique nous fournira sur les mécanismes des phénomènes étudiés réagiront sur l'outil analytique en le perfectionnant. Pour élaborer un tel outil de travail, trois observations sont fondamentales:

1^o *Le degré de dépendance des paramètres*

Bien que les paramètres qui interviennent dans la dynamique lacustre aient entre eux de multiples liaisons, on peut essayer de les classer. En effet, l'ensoleillement et la température dépendent de nombreux facteurs cosmiques, mais, à l'échelle des lacs, ils sont fondamentaux.

Nous nous proposons ainsi de doter chaque paramètre d'un numéro d'ordre qui reflètera son degré de dépendance. L'énergie solaire serait donc d'ordre I. Naturellement, chaque paramètre agira directement ou indirectement sur tous les paramètres d'ordre plus élevé et sera soumis lui-même à l'influence de tous les paramètres d'ordre inférieur. La liste suivante, certainement incomplète, est toute provisoire:

Paramètres	Numéro d'ordre
Ensoleillement, température	1
Vents	2
Précipitations	3
Débits liquides des rivières	4
Débits solides des rivières	5
Température de l'eau du lac	6
Courants	7
Composition chimique de l'eau	8
Productivité organique primaire	9
Oxygène dissous	10
Catabolisme dans l'eau	11
Sédimentation	12
Minéralisation dans la vase	13
Echanges vase-eau	14

2° *Les actions en retour*

L'évolution limnologique procède suivant le mécanisme des actions directes et des actions en retour irréversibles (feed back de la cybernétique). L'augmentation de la température à partir de Mars entraîne l'accroissement de la production organique qui a pour conséquence la diminution de la transparence, qui à son tour provoque un manque à gagner en calories des zones profondes... Tous ces phénomènes sont uniques et historiques, car jamais le milieu n'est deux fois de suite le même et de plus ils sont irréversibles.

En conséquence, la seule méthode d'analyse valable est la *méthode des bilans successifs*.

3° *Le phénomène sédimentaire*

Dans un lac, le phénomène sédimentaire est le seul qui intègre absolument tous les phénomènes qui ont eu lieu. Le sédiment constituera donc le second terme des bilans, autrement dit, telle succession d'évènement doit conduire au dépôt de tel sédiment dont la composition chimique, minéralogique, organique, la teneur en eau, etc... sera le résultat inévitable des phénomènes enregistrés.

Il est évident que le phénomène sédimentaire ne met pas un terme à l'évolution du milieu. Lui aussi provoque une action en retour sur le milieu, essentiellement par l'intermédiaire des substances qui filtrent à travers l'interface vase-eau.

MÉTHODE PERMETTANT DE CONDUIRE L'ANALYSE

Soit X^0 le moment de démarrage de l'analyse. On va commencer par examiner à cette date les conditions atmosphériques: quantité d'énergie solaire arrivant sur le lac, hauteur des pluies, directions des vents... puis on va rechercher l'influence de ces facteurs sur les paramètres de degré de dépendance plus élevé et établir, pour la période considérée, les relations quantitatives qui les lient.

C'est ainsi qu'à un apport accru d'énergie solaire correspondra une certaine augmentation de la température de l'eau et qu'une crue sera suivie d'une élévation connue du niveau du lac. Ces modifications réagissent à leur tour et d'une quantité mesurable sur les paramètres d'ordre supérieur. Par exemple, la variation de température de l'eau provoque la formation de courants qui à leur tour vont modifier la composition chimique de l'eau et la répartition du plancton et par conséquent la productivité primaire, etc... Tous ces événements réagissent sur la quantité et la répartition de l'oxygène dissous et par voie de conséquence sur le catabolisme dans l'eau et la nature et la vitesse de minéralisation des vases.

Etant donné que tous les paramètres cités sont mesurables, on peut espérer lorsque les progrès technologiques suffisants auront été faits, pouvoir exprimer quantitativement cet enchaînement d'évènements. Au temps X^1 , à la fin de la période

d'analyse, le milieu est totalement différent de ce qu'il était en début d'analyse et c'est à partir de cette situation nouvelle que va s'effectuer le deuxième bilan.

De nombreuses difficultés sont inhérentes à cette méthode. En particulier, si le délai écoulé entre X^0 et X^1 est trop long, l'analyse est impossible par suite du nombre d'actions en retour qui seront intervenues. Cela suppose donc que les bilans soient effectués sur des périodes très courtes de l'ordre de la journée ou de la demi-journée. Par ailleurs il est possible qu'un paramètre n'engendre des conséquences qu'après un certain temps de latence. Ainsi l'augmentation de température de l'eau n'a lieu que plusieurs heures après le réchauffement de l'air. Il faut donc pouvoir comparer des bilans successifs.

Un pareil travail ne peut être fait que si l'on confie à des calculatrices l'essentiel de la comptabilité des bilans et à des ordinateurs plus évolués la recherche des relations quantitatives entre les différents paramètres. Les machines permettront également de comparer entre elles les multiples relations obtenues dans des conditions chaque fois différentes. C'est de la comparaison de plusieurs milliers de ces équations qu'on pourra établir des lois générales.

Au cours de cet énorme travail, on s'apercevra que certains paramètres ont été négligés ou qu'ils interviennent différemment et tout comme en hydrologie, la recherche modifiera sans cesse l'outil analytique.

Une tentative de ce genre a été faite pour l'analyse des données obtenues par l'équipe de la Station d'Hydrobiologie Continentale (INRA) à Nantua. La fréquence de certaines mesures (productivité, bactériologie) ne permet que des bilans mensuels très grossiers. Néanmoins, les douze bilans d'une année mirent en évidence l'influence de certaines crues de printemps sur la productivité, les courants engendrés par ces crues et les modifications du chimisme qui en résultent.

Un tel travail suppose une équipe nombreuse pouvant compter sur une infrastructure technologique et scientifique très solide et sur une importante coopération internationale. Une période d'étude de dix années paraît raisonnable.

BIBLIOGRAPHIE

- ALSTERBERG, G. 1927. Die Sauerstoffschichten der Seen. *Bot. Notiser* 25: 255-274.
- ANDERSON, D. Q. 1939. Distribution of organic matter in marine sediments and its availability to further decomposition. *Jour. Marine Res* 2,3: 225-235.
- ANDERSON, R. Y. 1964. Varve calibration of stratification. *Kansas Geol. Survey Bull.*, t. 169: 1-20.
- , L. H. KOOPMANS. 1963. Harmonic analysis of varve time series. *Journ. Geophys. Res. USA* 68,3: 877-893.
- , D. W. KIRKLAND. 1966. Intrabasin varve correlation. *Geol. Soc. of Amer. Bull.* 77: 241-256.
- ANTONESCU, G. S. 1931. Über das Vorkommen eines ausgeprägten metalimnischen Sauerstoffminimums in einen See. *Archiv. f. Hydrobiol.* 12: 580-596.
- ARRHENIUS, G. 1950. Carbon and Nitrogen in subaquatic sediments. *Geoch. Cosmoch. Acta*, 1,1: 15-21.