

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 89 (1963)
Heft: 18: 44me Comptoir Suisse, Lausanne, 7-22 september 1963

Artikel: L'évolution de la qualité chimique et bactériologique de l'eau du Léman
Autor: Matthey, E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-66351>

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: 05.07.2025

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

pement du film est continu, c'est-à-dire que celui-ci sort de l'appareil développé et fixé. La pellicule peut être examinée plus grande sur un dispositif à projection. Elle est prête à être présentée également sous forme d'agrandissement photographique.

Les deux caméras qui viennent d'être mentionnées sont bien dans le cadre de la mesure du temps, puisque les images qui sont ainsi représentées ont toutes une position qui permet de situer la durée qui s'est écoulée par rapport à la référence choisie.

Conclusions

Il y a d'autres aspects de la mesure du temps. On pourrait en effet dire encore beaucoup de choses de présentations très modernes telles que celles de la montre électrique, montre électronique, horloge moléculaire. On pourrait aussi empiéter sur l'avenir et parler d'un satellite artificiel gravitant autour de la

terre en émettant des signaux horaires. La montre se présenterait alors sous la forme d'un récepteur très simplifié. Les applications de la mesure du temps à la vie des hommes sont illimitées. Tout n'est-il pas si bien ordonné dans cet univers ? Le temps qui s'écoule uniformément, cette durée dont sont fonction tant de phénomènes naturels sont en effet mesurés par des moyens très divers. Les quelques aspects décrits sont bien peu de chose en face de l'étendue du problème. Le but était de montrer les efforts qui ont marqué dans tous les temps le souci de ceux qui se sont attachés à la recherche de solutions encore plus précises. S'il y a la recherche, il y a aussi l'homme qui se penche sur la complexité du problème. Il le forge, le polit, l'adapte, le transforme. Cette base de fréquence balancier-spiral, qui est le cœur de la montre mécanique, s'est transformée en base électronique. L'homme en a tiré des principes inédits pour mesurer le temps qui s'en va vers l'Eternité.

L'ÉVOLUTION DE LA QUALITÉ CHIMIQUE ET BACTÉRIOLOGIQUE DE L'EAU DU LÉMAN

par le Dr E. MATTHEY, ingénieur-chimiste EPUL, chimiste cantonal, chargé de cours à l'Université, président de la sous-commission franco-suisse d'experts contre la pollution du Léman ¹

Introduction

Dès le début du siècle, quelques savants se sont préoccupés de la qualité de l'eau du Léman soit par pure recherche scientifique (Forel), soit dans un but pratique (pompage pour l'alimentation de Paris notamment, travaux de Delbecq).

Plus près de nous, des chercheurs (Monod, Novel, Dussart) ont étudié l'eau en quelque endroit précis, ou se sont attachés à un seul aspect du problème, dans un secteur déterminé.

La nécessité d'une étude d'ensemble réalisée par les instituts compétents de Haute-Savoie, de Genève, du Valais ou du canton de Vaud se faisait sentir, ne fût-ce que pour justifier en pleine connaissance de cause les motifs invoqués pour réaliser les grands travaux d'assainissement des eaux qui se déversent dans le lac.

Il convient aussi que de part et d'autre de la frontière, les mêmes observations — appréciées selon les mêmes critères — incitent les instances compétentes à dicter les mêmes mesures, dans le cadre de textes légaux, peut-être différents dans la forme, mais semblables quant au but à atteindre.

D'où l'étude systématique d'ensemble entreprise depuis 1957, conjointement par

- 1° la Station de recherches lacustres de Thonon (Eaux et Forêts de France) ;
- 2° le Centre de recherches géodynamiques de Thonon (Université de Paris) ;
- 3° l'Institut d'hygiène de Genève ;
- 4° le Laboratoire cantonal de Sion ;
- 5° le Laboratoire cantonal vaudois.

Le programme étant défini, les méthodes de travail unifiées, les observations ont été faites simultanément

sept fois par an, en surface et en profondeur, en trente points fixés selon la topographie sous-lacustre et le cadastre des pollutions.

Les observations accumulées de 1957 à 1960 y compris, constituent un apport énorme. 23 000 données analytiques chimiques, 500 graphiques, 5000 déterminations bactériologiques ont dû être collationnés et interprétés, desquels nous allons tenter de dégager les grandes lignes essentielles.

La pollution

Elle n'est pas forcément visible. Les souillures, malheureusement par trop spectaculaires, dues aux gadoues ou à tous autres déversements intempestifs libres, n'en sont que la cause. Lorsqu'elle devient visible dans l'eau elle-même, la pollution est grave ou accidentelle, donc momentanée. Invisible, elle n'en est que plus insidieuse parce que latente ou permanente.

Elle apparaît comme un déséquilibre qui se manifeste plus ou moins rapidement entre divers facteurs de nature chimique ou biologique.

Dans une eau non polluée, l'auto-épuration réalise le cycle complet de la minéralisation de l'azote organique (principalement des protéines) en azote minéral jusqu'au stade de l'oxydation maximum, c'est-à-dire en nitrates. Elle est aidée en cela par l'action des rayons ultraviolets de la lumière solaire, qui agit en véritable bactéricide des micro-organismes de la pollution, s'ajoutant

¹ Cette étude est tirée du Recueil de travaux offert au professeur A. Stucky, en hommage de reconnaissance, sur l'initiative de l'Association amicale des anciens élèves de l'Ecole polytechnique de Lausanne, le 27 octobre 1962, l'année de son 70^e anniversaire.

à l'action antibiotique des bactéries nitrifiantes. On remarque en passant que la teneur finale en ions nitrates est significative de l'ampleur de la minéralisation de l'azote organique originel. Les nitrates se révèlent également des facteurs fertilisants des organismes végétaux de la pollution secondaire.

Dans une eau polluée, l'équilibre est rompu. Le cycle de la minéralisation de l'azote organique n'est plus complet. L'épuration ne digère plus les matières organiques. Les indices de cette rupture d'équilibre apparaissent plus ou moins accentués selon l'ampleur des phénomènes biologiques qui ont contrecarré l'épuration.

On décèle dans l'eau polluée les témoins du cycle inachevé de la minéralisation de l'azote : ammoniacque, nitrites. On constate des variations de plus en plus amples de la concentration en oxygène dissous et du taux de saturation en oxygène, directement liés à l'activité biologique des espèces polluantes, ou résultant de la pollution secondaire.

Le pH de l'eau accuse une tendance à la baisse, témoignant ainsi d'une activité biologique anormale du milieu.

La transparence de l'eau diminue à cause de la prolifération des particules planctoniques vivantes ou mortes en suspension.

Du point de vue bactériologique, la situation évolue rapidement. Les espèces de microbes d'origine fécale (coliformes) ne sont plus éliminées par l'action antibiotique des bactéries nitrifiantes. Elles se développent, entraînant dans leur sillage les espèces plus pathogènes, telles que les salmonelles ; jusqu'au virus de la poliomyélite qui peut apparaître dans ce milieu complexe.

A ce bilan sommaire d'une pollution classique qualifiée de « primaire » viennent s'ajouter les effets de la pollution « secondaire ».

En effet, les matières organiques polluantes apportent avec elles du phosphore qu'on retrouve dans l'eau, plus ou moins minéralisé. De plus, l'emploi abusif de détergents additionnés de phosphates alcalins, et l'usage quasi généralisé d'engrais « complets » conduit à un enrichissement inéluctable des lacs en ions phosphates. Ceux-ci ne constituent pas en eux-mêmes un indice de pollution. Ils sont incolores, inodores, inoffensifs. Par contre, à partir d'une certaine concentration (très faible) et conjointement avec les nitrates, ils constituent de redoutables facteurs de croissance de végétaux envahissants.

Les conséquences de la pollution (primaire et secondaire) ne se font guère attendre. Les poissons nobles (salmonidés) cèdent peu à peu la place aux corrégonides moins exigeants. Les rives sont périodiquement envahies d'algues vertes. Le plancton accuse des variations quantitatives énormes. Enfin et surtout, le danger de transmission de maladies d'origine hydrique s'accroît. En fait, des cas de typhoïde ou autres affections à salmonelles sont signalés chaque année, dont l'origine ne fait pas de doute. On en vient à interdire les bains dans certaines plages où la présence de coliformes dans l'eau devient excessive. Les stations de pompage d'eau doivent nettoyer plus souvent leur filtre. Les traitements de désinfection, chloration ou ozonisation, auparavant simple précaution de garantie, deviennent nécessaires. La consommation de stérilisant augmente. Bref, les marges de sécurité s'amenuisent.

Tous ces phénomènes tendent à s'accélérer d'année en année. Si les mesures adéquates ne sont pas prises, le lac dont l'eau présente ces caractéristiques principales tend à l'eutrophisation.

Campagne 1957-1960

Les données qui vont suivre sont empruntées au rapport de la sous-commission franco-suisse d'experts dont le soussigné était le président (jusqu'en juin 1962), chargé de coordonner les études entreprises par les divers instituts mandatés par une haute commission internationale de magistrats. Les collaborateurs principaux de ces travaux furent MM. Dr R. Monod, chimiste, Lausanne ; Dr Novel, bactériologue, Genève ; Laurent, biologiste, et Dr Dussart, physicien, à Thonon. De nombreuses données furent requises des services techniques des cantons romands et de Haute-Savoie (coordonnées des points, cadastre des pollutions, etc.).

Constatations d'ordre général

Les recherches effectuées de 1957 à 1960 ne peuvent être que fragmentaires. On ne peut en effet espérer caractériser une évolution éventuelle des eaux du lac par une étude de quatre années seulement, surtout quand ces années sont si différentes les unes des autres au point de vue météorologique.

Le programme de recherches est le plus vaste qui ait jamais été entrepris de manière systématique au Léman. En chaque point, et pour chaque profondeur considérée, l'analyse a porté sur seize déterminations chimiques et deux déterminations bactériologiques. De ces données, on a soit établi des bilans, soit tiré des considérations qui se résumeront en sept points.

Un certain nombre de faits nouveaux ont été mis en évidence. Mais surtout de nombreuses données, vagues jusqu'à présent, ont été précisées, en particulier les variations quantitatives des composés azotés et phosphorés.

Les études effectuées ont mis en relief à nouveau le fait que l'on peut considérer, à certains points de vue, le Léman comme une entité géographique. Toutefois, si l'on recherche les causes de variations et les sources de pollution, on doit obligatoirement distinguer deux bassins séparés : le Petit lac et le Grand lac, et dans ce dernier un certain nombre de secteurs présentant des caractères différents : rive sud-orientale du Haut-lac (rive valaisanne) ; rive nord du Grand lac, de Villeneuve à Rivaz ou même jusqu'à Rolle ; région pélagique et rive sud du lac.

La transparence de l'eau (mesurée au disque de Secchi)

En moyenne, la transparence de l'eau du Léman a nettement diminué. Elle est actuellement de 7,8 m, soit de 1,5 à 2 m inférieure à celle observée par Forel il y a une soixantaine d'années.

Mais, de plus, il semble qu'il y a une trentaine d'années encore, la transparence se manifestait différemment au cours de l'année. Alors qu'on observait une baisse générale de la transparence du début de l'année jusqu'au mois de juillet ou août, suivie d'une augmentation progressive en fin d'année, on remarque à l'heure actuelle que la transparence de l'eau passe par deux minima : ils correspondent très exactement aux deux

périodes de fort développement du phytoplancton. On peut supposer qu'il s'est produit depuis trente ans environ une modification profonde quantitative et qualitative du plancton, en particulier dans la fréquence des espèces. Cette hypothèse devra être vérifiée dans les travaux à venir.

Il y a de notables différences de transparence de l'eau suivant les régions :

En moyenne, le Petit lac montre une transparence plus grande que le Grand lac pris dans son ensemble ; mais elle est notablement inférieure à celle rencontrée dans la région pélagique et occidentale du Grand lac.

La plus forte transparence est observée sur la rive sud-orientale du Haut-lac (rive valaisanne et aussi probablement rive savoyarde).

La rive nord du Grand lac présente une transparence relativement faible, même très faible dans la région de Vevey-Montreux, du fait des multiples déversements d'eaux usées et aussi parce que le courant du Rhône forme, en été, une sorte de bassin fermé de cette région.

En général, la transparence augmente au fur et à mesure que l'on va vers l'ouest.

La transparence de l'eau est encore assez élevée dans la région pélagique. Il faut cependant constater que le maximum moyen déterminé ne se situe pas au milieu du lac, mais bien plus près de la rive française, ce qui montre l'influence des déversements d'eaux usées et de la pollution secondaire venant de la rive nord.

Les points d'observation situés près de la rive sud subissent l'influence des déversements effectués sur cette rive.

Dans le Petit lac, la transparence s'abaisse au fur et à mesure que la densité de population par rapport au volume du lac s'accroît.

Il ne fait aucun doute que les phénomènes constatés sont la conséquence de l'effet cumulatif de plusieurs facteurs :

Influence des matériaux apportés par le Rhône dans le Haut-lac, des déversements accrus d'eaux usées, de la pollution secondaire (dépendant du facteur précédent, mais aussi de l'accroissement de la concentration des éléments fertilisants).

Le pH

Le pH, notion logarithmique de la concentration en ions hydrogène, représente en fait l'état d'équilibre entre les ions H^+ et les ions OH^- . Dans le cas du Léman, où les eaux sont normalement alcalines, le pH est plus élevé que 7,0 (neutralité).

Etant donné les ions en présence, le pH représente surtout l'état d'équilibre existant entre le CO_2 libre dissous et les bicarbonates. La diminution du CO_2 libre, absorbé en particulier par l'activité photosynthétique du phytoplancton, va amener une élévation du pH. Au contraire, l'augmentation du CO_2 libre, due principalement à la production du CO_2 , tant par les processus respiratoires des organismes vivants que par ceux de dégradation des matières organiques mortes, va abaisser la valeur du pH.

En limnologie, la mesure des variations du pH donne donc une indication précieuse sur l'état sanitaire de l'eau.

Le pH du Léman subit un certain nombre de variations saisonnières et — selon la profondeur — qui nous

renseignent sur l'intensité des phénomènes biologiques qui ont lieu en son sein.

On constate que les variations (7,34 à 7,97 : moyenne = 7,52) les plus importantes concernent les rives du lac où la densité de population est la plus forte.

La partie orientale du Haut-lac présente les valeurs de pH les plus élevées, ce qui peut correspondre à une activité biologique accrue dans l'épilimnion, du fait des déversements des eaux usées et des apports du Rhône.

On observe le long de toute la rive nord du lac un abaissement général moyen du pH d'année en année et une diminution de ses valeurs d'amont vers l'aval. Les pH minima ont tendance à diminuer également. Ces phénomènes sont à relier à une capacité insuffisante du pouvoir auto-épurateur de l'eau.

Les phénomènes sont beaucoup moins sensibles dans le reste du lac. On peut cependant noter qu'en moyenne, le pH du Grand lac a diminué faiblement de 1957 à 1959. Il est remonté en 1960, mais non jusqu'au niveau de 1957, par exemple.

En ce qui concerne la région pélagique profonde, on constate une faible diminution, mais constante d'année en année, des valeurs de pH. Ce phénomène, particulièrement sensible en fin d'année (septembre et novembre), est à mettre en parallèle avec une forte baisse de la concentration de l'oxygène et avec l'accumulation de composés phosphorés, qui se produisent dans les mêmes régions et aux mêmes époques, avec une intensité accrue d'année en année, et dont il sera fait mention ultérieurement.

L'oxygène

L'oxygène dissous dans l'eau des lacs a une double origine. Une partie, la plus importante, et aussi la plus constante, provient de sa diffusion dans l'eau à partir de l'atmosphère, échange favorisé par l'action des vents, l'agitation du lac, les vagues, etc. Cet échange est relativement lent. Un autre apport, exogène, peut également provenir des affluents, mais il ne constitue pas à proprement parler un grand enrichissement, puisqu'il est utilisé principalement à l'évolution de l'eau qui l'a apporté. C'est ainsi que l'oxygène amené par une eau polluée, même s'il s'y trouve à l'état de sur-saturation, ne sert pratiquement à rien pour l'ensemble de la masse d'eau du lac, étant donné qu'il sera affecté à la destruction des matières organiques.

Le transport de l'oxygène de la surface vers la profondeur se fait par diffusion et par les courants divers résultant notamment du refroidissement hivernal par la surface.

Une autre fraction de l'oxygène, d'origine endogène, provient de l'activité chlorophyllienne des végétaux, algues essentiellement. Cette fraction peut varier dans de très fortes proportions. Elle est maxima pendant l'été, au moment de la forte prolifération du plancton.

L'oxygène présent est continuellement consommé par l'activité respiratoire des végétaux et animaux, et par les processus biologiques d'oxydation des matières organiques.

L'oxygène que l'on dose chimiquement dans les échantillons représente donc le « bilan » des divers processus énumérés ci-dessus. Il est très difficile, voire impossible, de déterminer la part respective que prennent dans ce bilan les différentes activités.

Il faut tenir compte également du fait que la teneur en oxygène de l'eau est limitée par sa solubilité, fonction de la pression atmosphérique et de la température. Pour un lac donné, l'influence de la pression atmosphérique peut être regardée comme pratiquement constante. La variation de température, au contraire, joue un grand rôle. Lorsque la température de l'eau s'élève, la solubilité de l'oxygène diminue. Ainsi, dans le cas du Léman (pression atmosphérique moyenne de 730 mm Hg), la solubilité varie de 11,85 mg/l à 5°C à 8,53 mg/l à 20°C ; il y a donc une diminution de solubilité de 30 % environ pour une élévation de température de 15°C.

Lors du réchauffement de l'eau dès le printemps, on a une diffusion de l'oxygène hors de l'eau du lac dans l'atmosphère. Les vitesses d'échange atmosphère-eau et vice versa sont mal connues. Elles doivent être relativement lentes, à en juger par les sursaturations que l'on observe en été à la surface.

L'activité photosynthétique ne développe pratiquement son intensité que dans l'épilimnion et surtout en été, époque à laquelle règne la stagnation de l'eau, obstacle à la diffusion de l'oxygène en profondeur.

Il s'ensuit que les phénomènes de production d'oxygène sont limités à l'épilimnion et que ce gaz vital peut faire défaut, du moins en partie, dans la profondeur, siège des phénomènes de consommation d'oxygène.

L'épilimnion est donc à la fois consommateur d'oxygène, mais surtout producteur. Mais la surproduction estivale ne peut guère profiter aux couches profondes.

L'hypolimnion n'est normalement que consommateur. Il vit donc de façon quasi indépendante sur ses réserves d'oxygène faites pendant la période de circulation hivernale.

Dans le Léman

Il convient de noter tout d'abord que la teneur globale en oxygène n'est pas nécessairement le gage d'une bonne oxygénation du lac, au contraire. A quoi sert-il, en effet, que le phytoplancton produise une forte quantité d'oxygène dans les couches superficielles, si ce surplus ne pénètre pas suffisamment dans les couches profondes qui en ont besoin et dont la réserve diminue ?

La teneur moyenne en oxygène des couches superficielles a tendance à baisser d'année en année :

	1957	1958	1959	1960
Moyennes à 10 m :	10,45	11,04	10,67	10,54 mg/l

Il en est de même pour les zones profondes :

	1957	1958	1959	1960
250 m :	8,84	8,78	8,36	7,07 mg/l
300 m :	8,05	6,62	6,78	5,77 »

Par contre, pris dans son ensemble, le lac paraît encore relativement riche en oxygène (800 000 à 900 000 tonnes). L'année 1960 a été la plus pauvre en oxygène des quatre années considérées. Les variations d'une année à l'autre peuvent atteindre 50 000 tonnes, soit environ 6 %. La variation annuelle de l'oxygène par rapport au tonnage total est très grande. L'enrichissement en oxygène est de 1,85 mg/l en moyenne pendant la période de circulation, soit 165 000 tonnes ;

quantité qui disparaît au cours de l'été. Un cinquième de l'oxygène présent dans le Léman se renouvelle chaque année.

Il convient d'attacher une grande attention aux phénomènes observés dans le métalimnion (20 ou 30 m de profondeur), lorsque la période de stagnation est bien établie. Cette zone se caractérise souvent par une régression de la concentration en oxygène, accompagnée d'autres phénomènes encore. Cette « désoxygénation » est l'indice d'une tendance à un affermissement de la stagnation chimique, augmentant les difficultés d'échange entre les couches trophogènes et les couches tropholytiques.

La rive nord du lac présente une concentration en oxygène supérieure à la moyenne, conséquence de la grande intensité des phénomènes photosynthétiques, donc d'une plus grande pollution secondaire.

Il faut considérer avec une grande inquiétude la variation de concentration de l'oxygène observée dans la région pélagique profonde. Non seulement la teneur en oxygène diminue fortement au cours de l'année jusqu'en novembre, et d'année en année, mais encore il semble que l'enrichissement de cette zone profonde durant la période de circulation hivernale ne se fait plus à un degré satisfaisant. La concentration minima observée a été de 3,65 mg/l au mois de novembre 1959.

Il est à craindre que la couche stagnante du fond, actuellement encore saisonnière, ne devienne, à la longue, permanente.

Il ne paraît pas, à première vue, que la teneur globale en oxygène du Léman soit inférieure aux concentrations observées autrefois. Ce qui est inquiétant, c'est le déséquilibre qui apparaît entre les couches superficielles et les couches profondes, phénomène caractéristique de la tendance à l'eutrophisation.

Le taux de saturation en oxygène du Léman ne semble pas être aussi élevé qu'on le pense généralement. Il n'est que de 84,8 % (valeur moyenne de quatre années). Il tend à s'élever d'année en année dans la tranche allant de la surface à 50 m de profondeur (et surtout de la surface à 10 m). En moyenne, le lac est sursaturé en oxygène dans la couche allant de la surface à 10 m de profondeur. En revanche, à partir de 150 m de profondeur, les taux baissent régulièrement d'année en année (45 % en moyenne annuelle en 1959, 30,9 % au minimum de novembre).

Il faut donc mettre l'accent sur la diminution sensible du taux de saturation en oxygène dans les couches profondes. Cette diminution apparaît actuellement en moyenne dans le 16 % du volume total du Léman. Elle affecte jusqu'à 30 % du volume total en fin d'année. Cette diminution, si elle continue à être régulière, et directement en fonction du temps, induira incontestablement une modification progressive et inéluctable des populations micro- et macroscopiques planctoniques et benthiques.

L'azote minéral

C'est très certainement dans le fonctionnement du cycle de l'azote que l'on rencontre au Léman les modifications les plus importantes. L'apparition d'ammoniacque puis de nitrites est bien l'indice que le processus de minéralisation de la matière organique azotée ne se réalise plus dans des conditions acceptables.

L'azote ammoniacal

L'apparition de l'ammoniaque dans le Léman est récente. On peut la situer aux environs de 1953-1954, tout au moins dans le Grand lac. Sa teneur tend à augmenter d'année en année.

	1957	1958	1959	1960
NH ₃ /mg . . .	0,0033	0,0044	0,0066	0,0111

On en rencontre dans le Petit lac, dans la partie orientale et sur toute la rive nord du Grand lac. Il ne semble pas pour le moment que la région pélagique ou la rive sud soit atteinte.

L'influence des apports du Rhône paraît très importante dans le Haut-lac.

L'ammoniaque se manifeste surtout à la fin de l'été et en automne, et dans les couches superficielles, mais elle tend à envahir les zones plus profondes.

Elle augmente d'année en année, d'une manière inquiétante:

93 tonnes en 1957
127 » » 1958
190 » » 1959
316 » » 1960

Sa fréquence augmente également. Elle a passé de 19 % en 1957 à 35 % en 1960.

L'ammoniaque se rencontre abondamment dans le Petit lac. Dans le Grand lac, la rive valaisanne est la plus atteinte, presque autant que le Petit lac. Sur la rive vaudoise, la fréquence ou la concentration diminuent au fur et à mesure que l'on va vers l'est. Il y a bien des chances que l'ammoniaque s'étende et apparaisse dans l'ensemble du lac ces années prochaines.

Les nitrites

Alors qu'ils pouvaient passer pour accidentels il y a très peu d'années encore, ils sont à l'heure actuelle presque de règle dans l'ensemble du Léman, en tout cas pour les couches superficielles de la surface à 50 m de profondeur.

	1957	1958	1959	1960
NO ₂ ⁻ exprimés en mg N/l . . .	0,0030	0,0041	0,0027	0,0030

La production globale de nitrites peut être évaluée à :

1957 :	85 tonnes
1958 :	127 »
1959 :	81 »
1960 :	84 »

Ils occupent pour le moment tout le Petit lac, et aussi le Grand lac, mais à des degrés divers.

Ils ont envahi depuis plusieurs années déjà les rives valaisannes du lac (décelés pour la première fois en 1953, en fortes quantités). Leur apparition sur les rives françaises a été signalée deux à trois ans après leur observation sur la rive nord.

Dans la région pélagique et sur la rive sud du Grand lac, les nitrites sont encore en faible concentration. Il n'y en a pratiquement pas dans les couches inférieures à 50 m.

L'évolution future des nitrites est incertaine. On peut se demander s'ils n'ont pas atteint un palier, dans le sens que leur concentration ne paraît pas augmenter pour le moment, mais qu'ils vont se généraliser sur tout le lac.

Les nitrates

Ils sont un des principaux éléments fertilisants du lac. Leur concentration moyenne tend à s'accroître d'année en année :

0,26 mg/l N en moyenne, soit 23 000 tonnes en 1957
0,28 » » » » » 25 000 » » 1958
0,31 » » » » » 27 000 » » 1959
0,36 » » » » » 32 000 » » 1960

Il semble bien que cette augmentation — spectaculaire — n'est pas due uniquement à des différences dans leur assimilation par le phytoplancton, mais vraiment à un enrichissement en matières azotées fertilisantes, ainsi que paraissent le montrer les bilans globaux.

Les nitrates sont en faible concentration sur la rive valaisanne du lac ; en plus forte teneur sur la rive vaudoise, où ils sont répandus de manière uniforme sur toute la rive, sans augmentation sensible au cours des années. Ils y peuvent disparaître complètement dans l'épilimnion au mois de septembre, et devenir ainsi un facteur limitant.

Dans la région pélagique, et sur la rive sud du Léman, la concentration des nitrates, inférieure en 1957 à celle observée sur la rive nord, s'est accrue d'année en année, pour atteindre et même dépasser en 1960 la concentration enregistrée sur la rive nord.

Le Petit lac est plus riche en nitrates que le Grand lac. La concentration y est assez uniforme, soit géographiquement, soit suivant les années.

Le phosphore total

Il n'est pas inutile de rappeler l'importance déterminante que joue le phosphore dans l'eutrophisation des lacs. Dans le Léman, la teneur globale est encore faible :

0,0125 mg P/l en moyenne, soit 1110 tonnes en 1957
0,0124 » » » » » 1103 » » 1958
0,0105 » » » » » 940 » » 1959
0,0158 » » » » » 1400 » » 1960

Le problème du métabolisme du phosphore doit encore être étudié à fond au cours des prochaines années, car de nombreuses questions restent encore en suspens.

Le Petit lac est le plus riche en phosphore, à toute saison et à toute profondeur. Cette « richesse » explique l'ampleur des phénomènes biochimiques qui se produisent dans cette région. Une faible augmentation de l'amont vers l'aval paraît être décelable.

La rive valaisanne est la plus pauvre en phosphore.

Sur la rive vaudoise, on observe que les régions situées près des fortes agglomérations urbaines (Montreux, Vevey, Lausanne) sont plus riches en phosphore que les régions telles que Lavaux ou La Côte. Sur cette rive nord, la concentration en phosphore semble s'accroître d'année en année.

La région pélagique est plus pauvre en phosphore que la rive nord. Il faut mettre l'accent sur l'accumulation de phosphore qui se produit près du fond vers la fin de la période estivale. Les concentrations deviennent très élevées. Ce phénomène doit être mis en parallèle avec la forte diminution d'oxygène rencontrée aux mêmes époques.

Il convient de noter encore que l'on observe fréquemment pendant l'été, à la profondeur de 20 ou 30 m,

des « pointes » de phosphore total. Cette augmentation, en corrélation avec d'autres variations, laisse penser que le métalimnion est le siège de phénomènes fortement tropholytiques.

Constatation d'ordre bactériologique

De toutes les observations faites durant les campagnes de 1957 à 1960, on peut tirer les conclusions générales suivantes :

Il n'y a pas, tant pour les germes habituels que pour les micro-organismes d'origine fécale présumée, d'augmentation quelconque.

Il n'y a ni augmentation, ni diminution progressives, statistiquement démontrables, du nombre des bactéries usuelles ou des coliformes de la surface au fond, même jusqu'à 300 m, ou inversement du fond à la surface.

La zone la plus souillée par les eaux usées, et de façon quasi permanente, est celle du Petit lac. Elle récolte, en effet, les contaminations du Grand lac, dont l'homogénéisation détermine dans ces eaux la fréquence moyenne en coliformes la plus élevée.

De même, les zones lacustres s'étendant au large du Bouveret et de Clarens, ainsi que celles d'Evian, sont très manifestement polluées par l'apport massif et continu d'eaux résiduaires.

Enfin, au large d'Ouchy, de Rivaz, de Vevey, près des trois quarts des prélèvements révèlent la présence de germes d'origine fécale probable.

Si l'on compare les résultats bactériologiques du présent rapport à ceux obtenus par Dienert en 1913 pour la même région du Petit lac, l'on remarque que la richesse en coliformes est 45 fois plus élevée actuellement qu'il y a une cinquantaine d'années environ.

En ce qui concerne les rives d'Ouchy, la pollution est tout aussi accusée présentement que lors des recherches de Monod (1953-1955).

Quant aux eaux du Petit lac, proches de la rade de Genève, elles montrent également une très nette augmentation et du nombre global des germes et, surtout, de la richesse en bactéries d'origine fécale entre les années 1893 (travaux de Massol) et 1948 (travaux de Novel).

Enfin, il ressort de ces diverses constatations que l'on ne saurait trouver actuellement un lieu quelconque dans le Léman — qu'il s'agisse du Haut-lac, du Grand lac ou du Petit lac — où, à n'importe quelle profondeur que ce soit, on ne puisse rencontrer de coliformes à une époque quelconque de l'année.

Ainsi, la pollution bactériologique du Léman s'est indiscutablement aggravée et surtout étendue à toutes les eaux de l'ensemble du Léman durant les dernières décennies.

Conclusions

Il y a incontestablement une rupture d'équilibre dans le chimisme et la biologie des eaux du Léman.

Les quantités absolues de matières polluantes contenues dans le volume total du lac Léman, calculées à partir des concentrations mesurées, tendent à augmenter d'année en année. Malgré l'approximation inévitable de pareils calculs extrapolés, la variation est sensible et quasi toujours dans le même sens. Les observations ultérieures viendront sans doute confirmer cette constatation.

Le lac reçoit plus de matières polluantes qu'il n'en peut digérer par l'auto-épuration. La population riveraine (sédentaire ou de passage) augmentant sans cesse, le phénomène va en s'accroissant dangereusement.

Il faut absolument prendre des mesures tendant, d'une part à enrayer l'augmentation incessante des apports pollutifs, et si possible — par la suite — à faire en sorte que ces apports diminuent.

En un mot, il faut cesser de déverser des eaux usées sans station d'épuration efficace. Pareille exigence est sujette à des nuances d'interprétation. Telle petite agglomération ne nécessite pas forcément une station complète d'épuration avec processus mécanique, chimique et biologique.

Ce sera précisément la tâche des autorités compétentes de faire les discriminations indispensables dans les exigences à formuler auprès des communes, des particuliers riverains, ou des industries. Elles doivent pouvoir compter sur les résultats des observations faites.

L'interdiction générale de déversement direct, l'épuration des eaux usées ne seront rien si les autorités compétentes ne conseillent pas les communes d'une manière éclairée afin d'éviter une dispersion des efforts qui nuirait à l'efficacité du tout. Il faut prévoir l'aménagement des territoires riverains par la conception rationnelle de plans directeurs d'égouts.

L'épuration sera meilleure si elle est réalisée par des stations complètes, conçues pour un grand nombre d'habitants, que si elle est effectuée par de petites installations plus nombreuses, et à cause de cela incomplètes, projetées pour la même population. Il faut créer des réseaux intercommunaux. Il y a là une politique à défendre par tous les Etats compétents riverains du Léman. L'inversion du déséquilibre constaté dans le chimisme et la biologie de l'eau, et le retour à une meilleure faculté d'auto-épuration, est à ce prix.

Des délais ont été impartis pour réaliser ces plans directeurs. Des stations sont à l'étude, d'autres en construction. Il faut souhaiter que les délais seront tenus. Encore faut-il réaliser en même temps l'indispensable concentration des égouts et la station d'épuration, sans quoi on court le risque d'aggraver dangereusement la pollution de l'eau au point unique de déversement, aussi longtemps que la station ne sera pas à même de traiter les eaux ainsi réunies.

Seule la mise en service simultanée de la concentration et de l'épuration peut être efficace à court terme. //

Dès ce moment, l'aspect hygiénique de l'épuration aura été résolu.

Cependant, un autre aspect du problème devra trouver une solution. Il faudra réglementer sur le plan national, voire même européen, la fabrication des détergents trop riches en phosphates et l'emploi des engrais superphosphatés.

En effet, sans cette mesure, on court le risque de voir proliférer les algues vertes dans une eau épurée...

Enfin, il faudra modifier la composition des principes tensio-actifs (composés aryl-alkyl-sulfonés) qui sont à la base des détergents modernes, pour rechercher des produits tout aussi efficaces mais qui n'entravent pas le rendement des stations d'épuration par des mousses abondantes.