

# Aspects nouveaux de la composition chimique de l'eau du Léman

Autor(en): **Monod, René**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles**

Band (Jahr): **66 (1954-1957)**

Heft 294

PDF erstellt am: **09.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-274733>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## **Aspects nouveaux de la composition chimique de l'eau du Léman**

PAR

*René MONOD*

(Séance du 18 avril 1956)

### *Note préliminaire.*

Lors d'un travail récent présenté sous forme de thèse de doctorat à la Faculté des Sciences de l'Université de Lausanne<sup>1</sup>, nous avons mis en évidence un certain nombre de fluctuations de la composition chimique de l'eau du Léman, sans pouvoir développer à notre gré des chapitres qui paraissaient d'importance primordiale. Il a paru dès lors intéressant de traiter de façon plus approfondie dans cet exposé de deux phénomènes mal connus et qui jettent un jour nouveau sur l'évolution du Léman. Nous voulons parler des variations de l'oxygène et de l'apparition des nitrites.

Les études limnologiques requièrent un appareillage spécialisé et coûteux. Grâce à l'appui financier du Fonds Forel de la Société vaudoise des Sciences naturelles, nous avons pu nous procurer divers appareils de la plus grande utilité. Nous saisissons l'occasion qui nous est offerte pour remercier vivement le Comité du Fonds Forel de l'aide précieuse qu'il nous a accordée. Les appareils de limnologie ont été déposés au laboratoire d'hydrobiologie de l'Institut Galli-Valerio, où ils sont à la disposition des chercheurs.

### INTRODUCTION.

La limnologie, cette science expérimentale créée par F.-A. FOREL à la fin du siècle passé, s'est développée dans le monde entier, et les travaux de son initiateur servent encore de base aux recherches. Cette constatation réjouissante nous fait d'autant plus regretter que dans notre pays les chercheurs aient été si peu nombreux à poursuivre l'étude du Léman. Nous ne

<sup>1</sup> Voir bibliographie.

voulons pas dire par là qu'il y ait eu désintérêt complet. Il y a eu au contraire beaucoup de chercheurs qui se sont efforcés d'éclaircir bien des problèmes, surtout biologiques. Mais en ce qui concerne la chimie du Léman, les données sont fort rares, et du fait de la dispersion dans le temps et dans l'espace des indices recueillis, il est difficile de rassembler les matériaux nécessaires à l'établissement de la genèse des phénomènes et de leur évolution.

De plus, il ne faut jamais perdre de vue qu'un phénomène limnologique quel qu'il soit est toujours lié à d'autres phénomènes. Sa cause est souvent multiple et il déploie souvent plusieurs effets. Si l'on réfléchit que les causes et les effets peuvent appartenir à des sciences très différentes comme la physique, la météorologie, la chimie, la botanique, la géologie, la bactériologie, etc., on concevra que l'explication d'un seul phénomène pris isolément ne soit pas facile, et reste même incomplète. En limnologie en effet, il y a presque obligatoirement des faits qui échappent à l'investigation; le limnologue est réduit souvent à formuler des hypothèses qu'il devra vérifier par la suite. Chaque problème qu'il croit avoir résolu en pose d'autres qu'il devra résoudre.

Ajoutons encore pour ce qui concerne la chimie du Léman, que l'évolution des méthodes analytiques et du mode d'expression des résultats complique la tâche. Il n'est donc pas aisé de comparer les données actuelles avec celles des chercheurs précédents.

Notre intention dans ce travail est de faire le point de la situation actuelle du Léman en ce qui concerne l'oxygène et les nitrites, de déterminer, si possible, dans quelle mesure une évolution s'est produite depuis l'époque de FOREL, c'est-à-dire depuis une soixantaine d'années.

### L'OXYGÈNE.

Ce gaz joue dans la vie d'un lac le même rôle indispensable que dans la vie en général. Sa concentration détermine les espèces animales et végétales qui pourront vivre dans l'eau. C'est donc un facteur limitant. Le taux d'oxygène est un des indices utilisés à la classification sanitaire des lacs.

Un lac dit en bonne santé (oligotrophe) est riche en oxygène jusque dans ses couches profondes; inversement un lac «malade» (eutrophe) s'appauvrit en oxygène au fur et à mesure que l'on descend dans les profondeurs. Certains lacs eutrophes sont même totalement dépourvus d'oxygène dans

leur zone profonde. La présence ou l'absence d'oxygène détermine l'action des bactéries dégradant la matière organique :

En présence d'oxygène, la dégradation a lieu par oxydation sous l'action de bactéries aérobies. Les matières hydrocarbonées sont oxydées en gaz carbonique et eau; les matières azotées en nitrates, en passant par les stades intermédiaires d'ammoniaque et de nitrites; les matières soufrées en sulfates.

En absence d'oxygène, la dégradation a lieu par réduction sous l'action de bactéries anaérobies: les matières hydrocarbonées sont réduites en hydrocarbures dont le principal est le méthane, gaz inflammable; la minéralisation des matières azotées reste au stade d'ammoniaque, ou éventuellement de nitrites, avec réduction des nitrates minéraux; les matières soufrées sont réduites en hydrogène sulfuré; les sulfates minéraux sont souvent même réduits. Les diverses substances produites sont toxiques.

Du point de vue physicochimique, la dégradation aérobie ne modifie que peu le pH du milieu, la dégradation anaérobie abaisse le pH et tend à acidifier le milieu (fermentation acide). Les variations de pH ont une influence notable sur la vie aquatique.

Du point de vue physique, la solubilité de l'oxygène dans l'eau est en raison inverse de la température et en raison directe de la pression atmosphérique.

Pour les zones superficielles d'un lac, où les échanges atmosphère-eau paraissent faciles, la teneur en oxygène est donc maxima quand le lac est froid (hiver) et minima quand le lac est chaud (été). La solubilité augmente par beau temps (pression élevée) et diminue par mauvais temps (pression basse). Le cycle annuel est ainsi régi par le climat.

Les échanges d'oxygène entre l'atmosphère et l'eau ne sont pas immédiats. La vitesse d'échange est liée à l'état de la surface. L'oxygénation est plus rapide si le lac est agité; elle est considérablement ralentie si la surface est recouverte d'une fine pellicule, même d'une épaisseur infinitésimale, d'huile ou de mazout par exemple.

De toute manière, l'expérience montre que les échanges atmosphère-eau, dans un sens ou dans l'autre, sont très lents même dans la zone superficielle.

Pour le Léman, ne considérant que l'aspect de la solubilité, la teneur en oxygène en surface sera maxima en février-mars (environ 11,8 mg/l pour une température de 5° C) et minima en juillet-août (environ 8 mg/l pour une température de 23° C).

Pour les zones profondes à température constante (4 à 5° C), la teneur en oxygène devrait être d'environ 12 mg/l.

L'oxygène de l'eau n'est pas seulement d'origine atmosphérique. L'activité chlorophyllienne des organismes végétaux (phytoplancton) en produit une certaine quantité. Le problème en l'occurrence est de savoir quelle est actuellement la part physique et la part biologique dans l'ensemble du cycle de l'oxygène ; et aussi si les proportions relatives des deux phénomènes ont varié depuis la fin du siècle dernier.

Les données précises sur les variations saisonnières réelles du taux d'oxygène du Léman manquent. L'interprétation des teneurs en oxygène ne peut être donnée que si l'on connaît la température au moment du prélèvement. Nous ne connaissons malheureusement que peu de séries où les deux éléments oxygène et température sont réunis.

F.-A. FOREL s'est déjà heurté à ces difficultés à la fin du siècle dernier, où les méthodes d'investigation étaient loin d'atteindre la précision qu'elles ont actuellement :

« Les résultats sont trop discordants pour que nous puissions en tirer grand chose.

La moyenne de ces diverses analyses des gaz dissous est :

Oxygène	7,8 cm <sup>3</sup>
Azote	15,4
Acide carbonique	8,7
Somme d'azote et d'oxygène	23,2
Somme totale des gaz dissous	31,9

L'eau de la surface est en rapport tellement intime avec l'air atmosphérique que nous devons la croire saturée. C'est ce qui semble, en effet, avoir lieu, pour autant que nous pouvons en juger, au milieu des divergences des diverses analyses. D'après la formule de Bunsen, l'eau pure en contact avec l'air atmosphérique, sous une pression de 730 mm de mercure (pression moyenne à la surface du Léman), contiendrait à saturation, en centimètres cubes de gaz dans un litre :

		Oxygène	Azote	Gaz carbonique
à	5°	7,3	13,6	0,6
	10°	6,5	12,2	0,5
	20°	5,7	10,7	0,3

En comparant ces chiffres avec les résultats moyens des analyses, je constate que ces dernières indiqueraient un état de saturation et souvent de sursaturation pour l'oxygène et pour l'azote, et un excès énorme pour l'acide carbonique.

Nous allons revenir sur cette question..., (T. II, p. 618).

Plus loin, se référant à une série d'analyses plus digne de foi, FOREL conclut (p. 628) :

« Quant aux gaz dissous, les eaux lacustres, ramenées à la pression de surface, sont à l'état de saturation pour l'oxygène et l'azote, à l'état de sursaturation pour l'acide carbonique. »

Notons en passant que la question de la sursaturation de l'acide carbonique mériterait, à la lumière des connaissances actuelles, étude et critique.

Plus près de nous, les travaux de VIVIER (1931-1932) apportent des données précises. La méthode chimique de dosage de l'oxygène analogue à la méthode actuelle et des recherches systématiques permettent une meilleure comparaison avec les résultats récents. C'est en avril que le lac est le plus riche en oxygène et en octobre qu'il est le plus pauvre. On peut observer dans la zone superficielle du Léman une teneur en oxygène atteignant en été le 115 % de la valeur théorique.

VIVIER donne une interprétation biologique de cette sursaturation :

« En regardant les variations mensuelles superficielles, on remarque un maximum printanier, dû sans doute à l'oxygène libéré par le phytoplancton très abondant à cette époque. »

Nous verrons plus loin que ce maximum printanier n'est qu'apparent, et que le maximum d'intensité de l'activité du phytoplancton se situe en réalité plus tard.

HUBAULT (1937) a procédé à une série de mesures au début et à la fin de la stagnation estivale. Il trouve pour l'eau de surface :

le 7 juin : 10,04 mg/l, soit 112 % de la saturation (excès de 1,08 mg/l) ;

le 1<sup>er</sup> octobre : 10,04 mg/l, soit le 102,5 % de la saturation.

En profondeur, l'oxygène est toujours en déficit, mais la teneur ne descend pas au-dessous de 7,5 mg/l (62 %) à une profondeur de 280 m. La concentration en oxygène s'abaisse graduellement au fur et à mesure que l'on descend dans la profondeur.

Un bilan sommaire de l'évolution jusqu'en 1937 donne l'esquisse suivante, pour l'eau de surface en été :

*Epoque de FOREL* : eau saturée en oxygène, probablement parfois sursaturée.

Données imprécises et douteuses.

*Travaux de VIVIER et HUBAULT (1932-1937) : eau saturée en oxygène, au maximum de 112 à 115 % (excès d'environ 1 mg/l).*

Données précises et concordantes.

\* \* \*

Nous avons effectué régulièrement de septembre 1953 à février 1955 (18 mois) plusieurs centaines de dosages.

La méthode utilisée est celle de WINCKLER modifiée : une adjonction d'azoture de sodium aux réactifs permet d'éviter l'interférence des nitrites.

Le calcul du taux de saturation a été effectué selon les tables habituelles de SCHMASSMANN (1948-1949). Ces tables empiriques de solubilité sont données pour l'eau distillée et pour une atmosphère sèche. Ces conditions ne sont pas réalisées en pratique : le limnologue a affaire à une eau plus ou moins chargée de substances dissoutes et à une atmosphère plus ou moins saturée d'eau. Dans ces conditions réelles, la solubilité de l'oxygène est légèrement plus faible. MORTIMER (1956) a publié de nouvelles tables de solubilité qui tiennent compte de ces réalités.

Les taux de saturation que nous indiquons sont en conséquence légèrement inférieurs à la réalité. Il faut les considérer comme des minima.

La correction de pression atmosphérique est donnée par la formule :

$$x = \frac{n \cdot p}{760}$$

où  $x$  = valeur de saturation à la pression observée;  
 $n$  = valeur de saturation donnée par les tables;  
 $p$  = pression observée.

L'Observatoire météorologique de Lausanne (Champ de l'Air) a fourni les indications de pression atmosphérique. Elles ont été ramenées au niveau du Léman selon les indications de MERCANTON. Ce dernier indique le taux moyen d'augmentation de la pression atmosphérique de 0,087 mm Hg par mètre de dénivellation (variation de 0,084 à 0,090 mm suivant les mois).

Les résultats obtenus sont représentés graphiquement, selon le système de « courbes isobathes » préconisé par MERCIER et GAY. Ce système a l'avantage de donner sur un seul diagramme l'évolution du facteur étudié pour une campagne de recherches de n'importe quelle durée et pour toutes les pro-

fondeurs envisagées. En abscisse, on porte le temps, et en ordonnée le phénomène étudié.

La variation cyclique qui nous intéresse se présente sous forme de courbes dites « en cloche », pour une étude d'une année. Si les recherches sont poursuivies pendant une période plus étendue, les courbes ont grossièrement l'allure d'une sinusoïde.

Quelques-uns des résultats obtenus sont reportés dans la figure 1 pour un point situé au large de Vidy (154) à environ 330 m de la rive et sur un fond de 32 m environ. Les mesures ont été effectuées tous les 10 mètres.

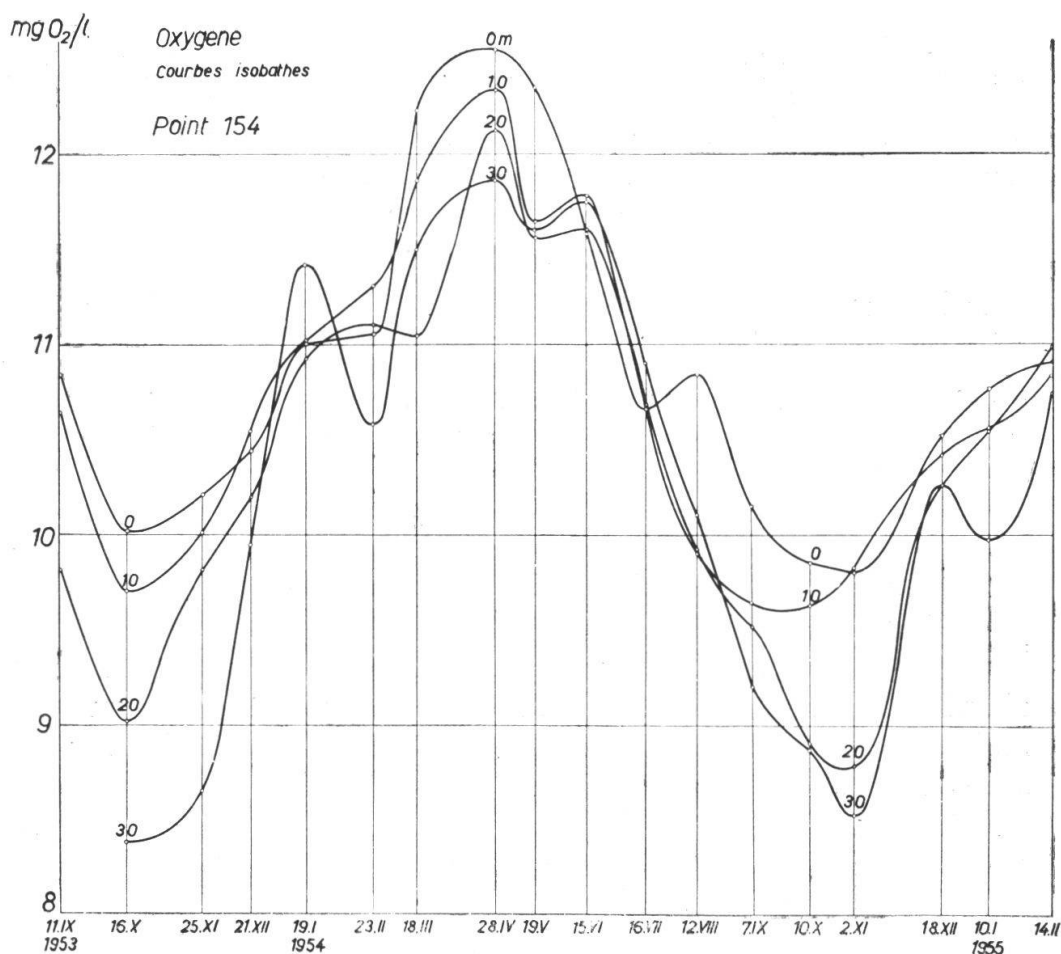


FIG. 1.

Bornons-nous pour le moment à la description de l'allure des courbes :

Elles passent par un maximum absolu au mois d'avril, avec une teneur en surface de 12,5 mg/l.

Le minimum absolu se situe en octobre-novembre (en surface 9,8 mg/l).



Les diverses fluctuations de la surface sont dues au climat. Le palier du 19 janvier au 23 février 1954 par exemple est causé par la stabilisation correspondante de la température. Le minimum du 15 juillet suivi du maximum du 12 août correspond à un refroidissement intempestif du lac (mauvais temps en août 1954).

Les figures 2 et 2 bis font mieux ressortir encore les différences entre l'oxygène théorique et l'oxygène réel. Les valeurs correspondant aux diverses profondeurs sont reportées sur des graphiques différents.

Sont représentées en courbes isobathes :

1. Les variations mesurées de température  $t^0$ .
2. Les variations théoriques de l'oxygène à la saturation (calculées à partir de la température  $t^0$  et de la pression)  $O_2 \text{ sat.}$
3. Les variations réelles de l'oxygène dosé  $O_2$ .

Les courbes d'oxygène ont une forme sensiblement pareille à celles de température, mais inversée.

La différence essentielle se trouve dans le fait que la courbe réelle de l'oxygène ne coïncide pas du tout, même grossièrement, avec la courbe théorique. Elle est décalée de deux à trois mois :

Maximum théorique : février      Minimum théorique : juillet-août  
Maximum réel : avril              Minimum réel : octobre-novembre.

Tout se passe comme si les phénomènes d'oxygénation se produisaient dans le lac avec un retard de deux à trois mois sur la cause qui les a déterminés. Ce retard ne peut être expliqué par des phénomènes purement physiques.

En effet, nous pouvons observer que la valeur maxima d'avril est notablement supérieure à la valeur théorique du mois de février. Le phénomène n'est pas passager, il dure au contraire deux saisons, printemps et été.

En gros, le lac est riche en oxygène à la période chaude, de mars à octobre ; pauvre en période froide, d'octobre à mars, alors que la théorie physique voudrait le contraire (enrichissement en hiver, appauvrissement en été).

La seule interprétation plausible de ces divergences est l'activité chlorophyllienne du phytoplancton, déjà signalée par VIVIER.

En reprenant l'étude de l'allure des courbes, il est alors possible d'expliquer les variations observées. L'enrichissement en oxygène d'octobre à février est dû à un phénomène physique. L'eau se refroidissant, la solubilité de l'oxygène croît. La saturation n'est toutefois jamais atteinte, parce que l'oxy-

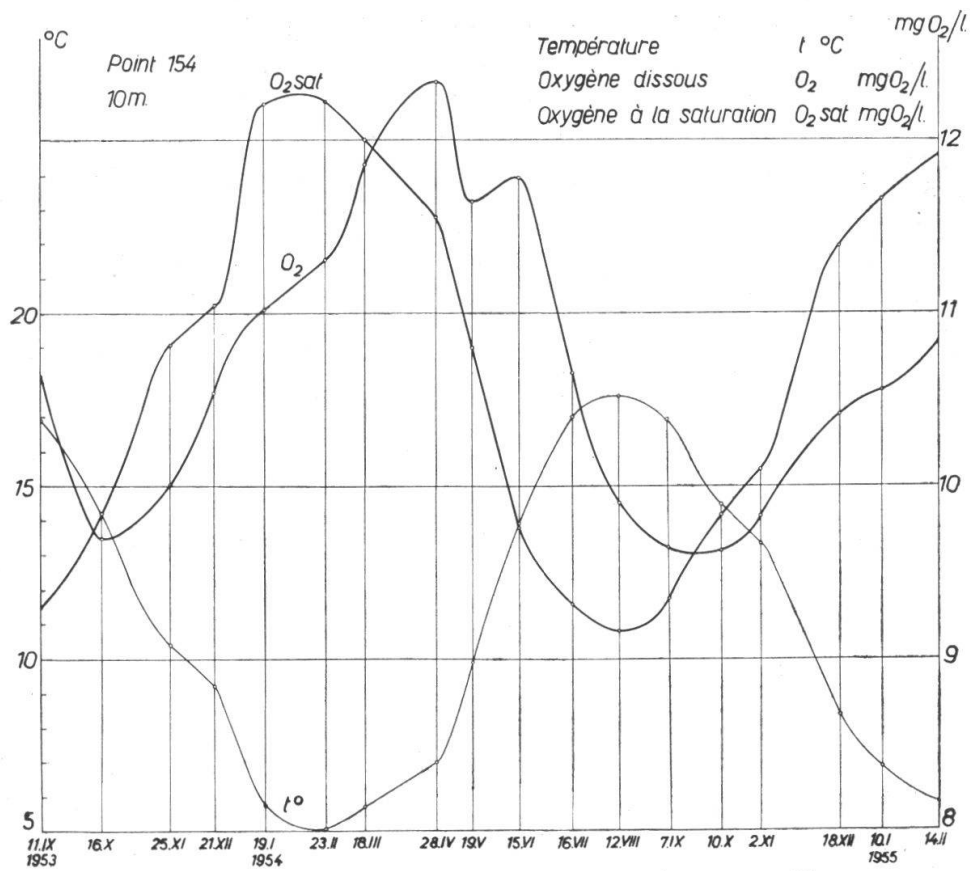
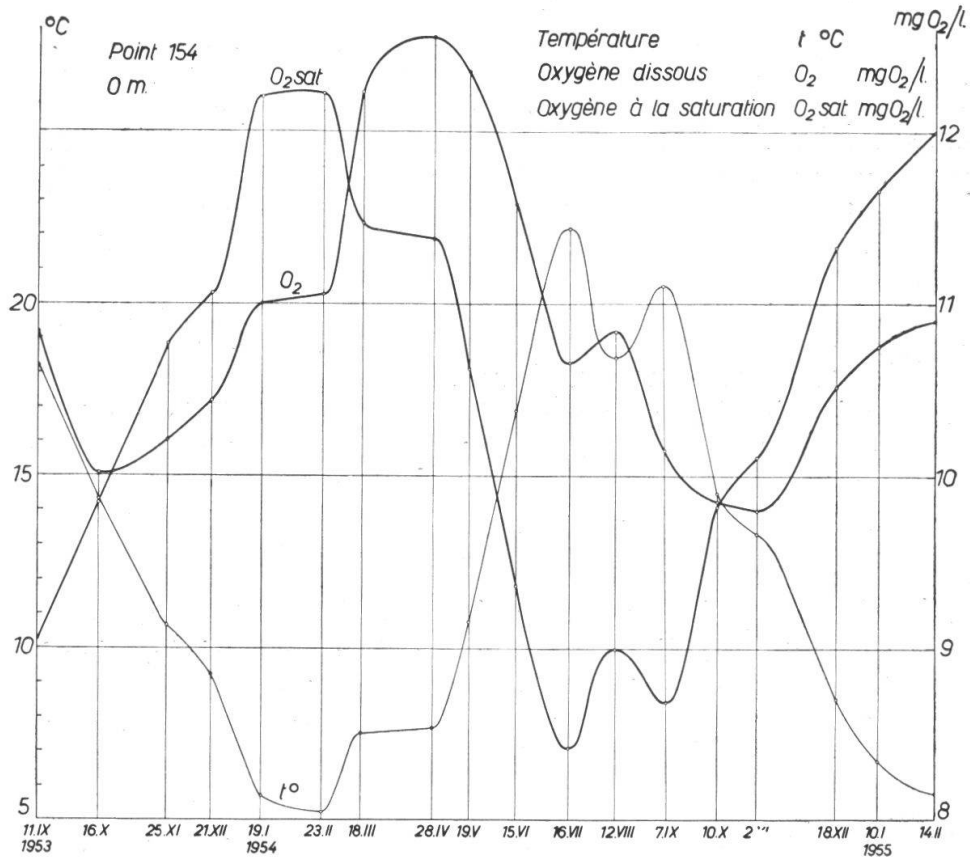


FIG. 2.

gène diffuse dans la profondeur pendant la période de circulation et qu'une partie est consommée par les micro-organismes minéralisant la matière organique morte présente. Le phytoplancton étant rare en hiver, son activité chlorophyllienne est restreinte. La production d'oxygène est faible. Elle est sans influence notable sur l'allure du phénomène.

Dès février, la courbe de l'oxygène réel monte rapidement. Cela provient de l'accroissement subit au printemps de la quantité des organismes végétaux.

A partir d'avril, la courbe réelle redescend. Elle est à nouveau parallèle à la courbe théorique. Elle est le résultat d'un compromis entre la surproduction biologique d'oxygène et la désoxygénation physique due à l'augmentation de la température.

L'excès d'oxygène est effectif jusqu'en automne. En septembre et octobre, l'eau commence à se refroidir, l'activité chlorophyllienne ralentit et la consommation reprend le dessus. Puis commence la période de circulation et d'enrichissement physique. Il y a déficit en oxygène. Le cycle recommence...

En surface, la teneur réelle en oxygène n'est égale à la teneur théorique qu'à deux époques de l'année, au mois d'octobre et à fin février, au moment où les deux courbes se coupent.

Les phénomènes de sursaturation se font également sentir en profondeur, avec une intensité faiblissant à mesure que l'on s'éloigne de la surface de l'eau. On peut encore observer un faible excès à 30 m de profondeur.

La durée de la sursaturation à une profondeur de 10 m est à peu près égale à celle de la surface (8 mois).

A 20 m., elle dure environ 5 mois (mi-avril à fin août).

A 30 m, environ 3 mois (mi-avril à mi-juillet).

### *Causes du développement du plancton.*

Quels sont les phénomènes qui déclenchent rapidement le développement du phytoplancton ?

Il y a d'abord le début du réchauffement du lac. La hausse de température favorise la fonction chlorophyllienne.

Cependant, le facteur physique primordial est certainement l'influence du soleil. Nous avons montré ailleurs que ce n'est pas seulement la durée journalière d'insolation qui entre en jeu, mais également l'intensité de cette insolation. Il semble que le phytoplancton commence à se développer

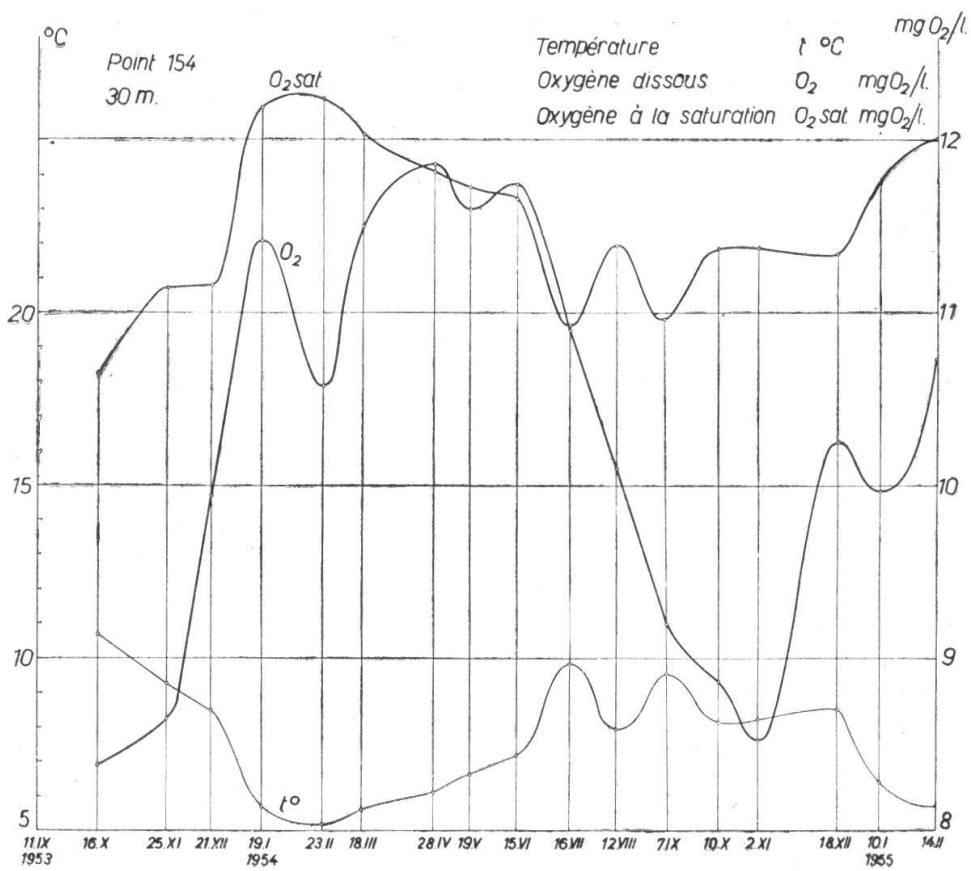
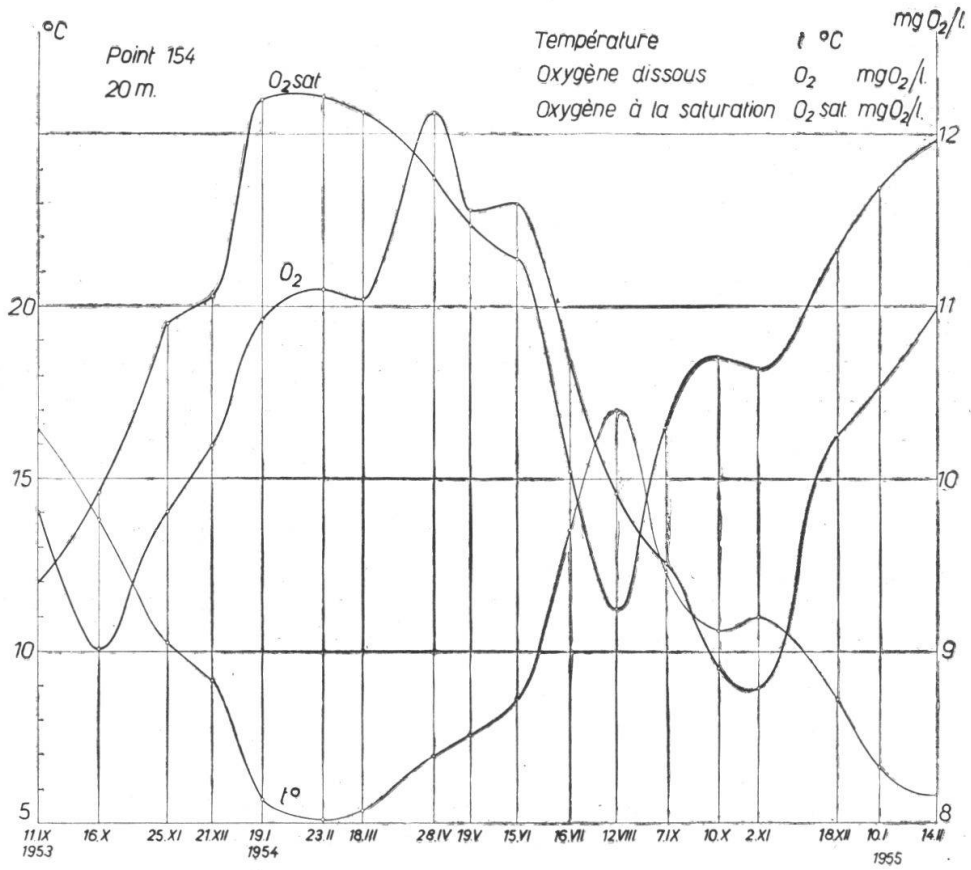


FIG. 2 bis.

intensément dès le moment où la durée du jour dépasse celle de la nuit (équinoxe de printemps) et où, le soleil ayant une certaine hauteur sur l'horizon, la proportion de rayons solaires réfractés dans l'eau atteint une certaine valeur.

Au début de la prolifération du plancton, l'angle d'incidence des rayons solaires atteint  $45^{\circ}$ , l'angle de réfraction  $33^{\circ}$ .

Au mois de juin, l'intensité solaire est maxima : 16 heures de jour, 8 heures de nuit; l'angle d'incidence des rayons solaires atteint  $23^{\circ}$ , l'angle de réfraction  $17^{\circ}$ . Il devrait donc y avoir en juin, si notre interprétation est exacte, un maximum d'activité chlorophyllienne, donc une production maxima d'oxygène.

Une autre cause de la prolifération du plancton est très certainement la présence au printemps d'une quantité relativement grande d'éléments nutritifs azotés et phosphorés, mis en liberté par les phénomènes de minéralisation de l'hiver. Ces éléments sont rapidement assimilés. La durée de vie relativement courte des éléments planctoniques fait que les mêmes éléments seront dégradés et réutilisés immédiatement par une nouvelle génération. Ils ne seront pratiquement remis en solution dans l'eau qu'au cours de l'hiver suivant.

#### *Intensité de la production d'oxygène.*

Elle est pratiquement impossible à déterminer avec exactitude. En effet, les résultats analytiques ne donnent que le bilan de l'ensemble des phénomènes.

L'excès d'oxygène est le résultat de la différence entre l'oxygène réellement produit et celui qui disparaît par consommation par les êtres vivants, par diffusion en profondeur, ou encore par diffusion dans l'atmosphère lors du réchauffement de l'eau. La consommation par les êtres vivants peut être estimée par mesure de la demande biochimique d'oxygène. Celle-ci varie avec les saisons. Elle ne dépasse pas 0,2 à 0,3 mg d'oxygène par litre et par jour. Cette valeur est elle-même le résultat global de divers phénomènes. Quant aux valeurs des diffusions, il n'est pas possible à l'heure actuelle de les évaluer.

Nous nous contenterons donc d'étudier le bilan, c'est-à-dire l'excès d'oxygène.

La figure 2 donne les valeurs absolues d'excès en oxygène :

23 février	déficit de	1,16 mg/l
18 mars	excès de	0,74 »
28 avril	»	1,15 »

19 mai	»	1,53	»
15 juin	»	2,20	»
16 juillet	»	2,22	»
12 août	»	1,82	»
7 septembre	»	1,45	»
10 octobre	»	0	»
2 novembre	déficit de	0,31	»
.....	»	...	

L'excès maximum d'oxygène se produit en juin-juillet. Ces résultats vérifient l'hypothèse formulée plus haut de l'action des rayons solaires. Le maximum d'oxygène de printemps n'est donc qu'un maximum apparent. L'intensité maxima se trouve en réalité en juin-juillet.

La variation du taux de saturation, exprimée en % de la solubilité théorique, peut être représentée en courbes isobathes (fig. 3). Les graphiques sont établis pour des points situés sur une ligne droite de plus en plus loin de la rive, respectivement :

Point	00	:	180	m env.
	54	:	230	m env.
	104	:	280	m env.
	154	:	330	m env.

Le taux de saturation maximum atteint et même dépasse 130 %. En moyenne annuelle, l'eau est sursaturée jusqu'à 10 m de profondeur. Plus profondément, l'oxygène est en moyenne en déficit.

La moyenne annuelle de 0 à 30 m est d'environ 100 %. Il faut cependant se garder d'un optimisme exagéré à la constatation de ces moyennes. A une augmentation de la sursaturation en été correspond fatalement une diminution en hiver (due aux phénomènes de minéralisation). Cette diminution est très inquiétante.

\* \* \*

On peut se demander quelle est la quantité d'oxygène produite en un jour, et par quelle quantité de phytoplancton. La réponse apporterait des éclaircissements sur tous ces phénomènes encore quelque peu obscurs. Une telle étude sera envisagée sous peu.

Des objections peuvent également être élevées du fait que les échantillons proviennent de régions relativement proches de la rive. De nouveaux prélèvements ont été effectués en 1955, plus au large, à l'occasion d'études effectuées par le Laboratoire cantonal pour le Service des Eaux de la Ville de Lausanne. Les résultats confirment pleinement ceux acquis

entre 1953 et 1955 près des rives. Il est à peu près certain que le phénomène atteint la même intensité dans tout le Grand Lac.

On pourrait également douter qu'une quantité de plancton relativement faible (quelques milligrammes en poids par litre) soit capable d'engendrer un phénomène d'une telle intensité. Les comptages de plancton effectués par G. MATTHEY permettent de se rendre compte du nombre d'individus contenus dans un litre d'eau. Nous avons emprunté à sa documentation les chiffres suivants :

Le 1<sup>er</sup> septembre 1954, à environ 500 m de la rive, et à une profondeur de 5 m, le plancton décanté en 24 heures occupait un volume de 0,0344 cm<sup>3</sup>/l. Le nombre d'individus végétaux comptés s'élevait à 750 000/l.

Le 10 novembre 1954, on mesurait au large, à une profondeur de 5 m un volume de 0,019 cm<sup>3</sup>/l avec 3100 individus par litre.

Le volume maximum a été mesuré le 20 mai 1955 : 0,104 cm<sup>3</sup>/l.

Le nombre des individus agissants suffit à expliquer l'intensité de l'activité chlorophyllienne. Il faut encore signaler que l'activité bactérienne peut entrer en jeu en plus ou en moins dans ces phénomènes, l'eau pouvant contenir plusieurs centaines de milliers de bactéries par litre.

Ainsi, nous pouvons constater que le taux de saturation est passé en moins de 20 ans (1937-1954) de 115 % à 130 %.

Quelle est la cause de cette augmentation ?

Faut-il l'attribuer au fait certain que la flore planctonique s'est modifiée et que les espèces dominantes actuelles ne sont plus celles d'autrefois ? Il semble plutôt que cette modification de la flore est une conséquence de ce que l'on désigne communément du terme vague et général de «vieillesissement» du lac.

Une variation du climat n'est évidemment pas en cause.

Il faut voir la cause de cette augmentation dans le fait que la concentration des facteurs limitants de croissance (en particulier matières azotées et phosphorées) s'est élevée, et ceci pour au moins trois raisons :

1. Le déversement des eaux d'égouts dans le lac et ses affluents.

2. Le déversement d'eaux industrielles chargées en phosphates et autres engrais dans le lac et ses affluents.

3. Le fait que la technique de culture des sols a évolué et qu'une partie des engrais utilisés est drainée et amenée au lac par ses affluents.

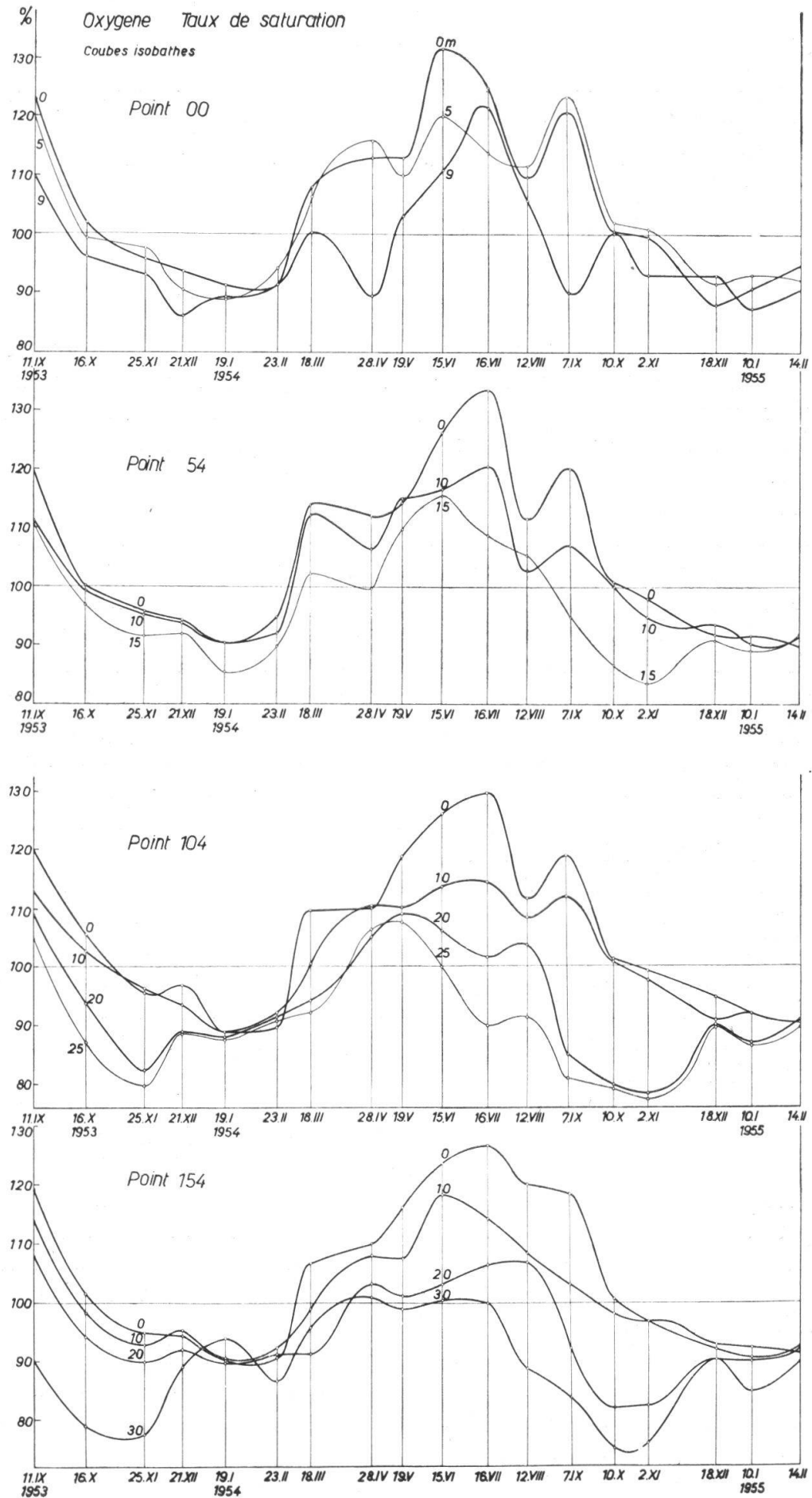


FIG. 3.



Le phénomène de surproduction d'oxygène n'est qu'un des multiples éléments du vieillissement des lacs.

Un autre fait tout aussi spectaculaire pour le chimiste réside dans l'apparition décelable à l'analyse des stades intermédiaires de la nitrification.

### LES NITRITES.

La littérature ne signale pas de nitrites dans le Léman. Il faut toutefois signaler les analyses de CHUARD et JACCARD, cités par FOREL, qui auraient trouvé au Léman en janvier 1894 de fortes quantités de nitrites (1,0 à 2,5 mg/l) et d'ammoniaque (0,4 à 0,5 mg/l). Il n'est pas possible d'admettre ces résultats sans plus. Ce sont des concentrations analogues à celles rencontrées dans les eaux ménagères brutes. FOREL est du reste surpris de ces chiffres, et il leur oppose, sans se prononcer, les analyses d'autres auteurs, en particulier celles de SEILER, qui, à la même époque et dans les mêmes lieux, n'a jamais trouvé de nitrites ou d'ammoniaque. Il faut probablement incriminer la non spécificité des méthodes alors appliquées. Jusqu'à ce que les recherches bibliographiques aient éclairci ce point, il faut admettre qu'il n'y a pas eu de nitrites dans le Léman jusqu'aux récentes recherches. Dans les analyses plus récentes que nous avons pu connaître, il n'en a jamais été fait mention.

Les nitrites sont l'avant-dernier stade de la minéralisation des matières azotées. Ils sont recherchés par la méthode spécifique de GRIESS. Il y a formation d'un colorant azoïque rouge dont la concentration peut être déterminée avec précision par colorimétrie. La méthode est très sensible, elle permet de déceler des quantités très faibles, jusqu'à 0,004 mg ion nitrite par litre.

Les résultats obtenus pendant la campagne 1953-1955 pour le point 154 sont reproduits dans le tableau ci-contre.

Il existe nettement un cycle annuel. En hiver, il n'y a presque pas de nitrites. Ils apparaissent au mois de mars, peu de temps après la prolifération du plancton. La concentration faible au début ne s'élève vraiment qu'à partir de juin. Elle est maxima en septembre (2 à 3 mois après le maximum d'intensité de l'activité chlorophyllienne). La concentration décroît progressivement au début de la saison froide.

L'apparition des nitrites se fait d'abord près de la surface, de mars en mai. Dès le mois de juin, la concentration augmente progressivement et simultanément avec le temps et la

*Nitrites au point 154.*

Dates		Surface	10 m	20 m	30 m
Octobre	1953	0,012	0,013	0,016	0,006
Novembre	»	0,004	0,004	0,002	0
Décembre	»	0,010	0,010	0,012	0,006
Janvier	1954	0,006	0,004	0,004	0
Février	»	0	0	0	0
Mars	»	0,006	0,002	0	0
Avril	»	0,007	0,002	0,005	0
Mai	»	0,002	0	0	0
Juin	»	0,008	0,010	0,008	0,008
Juillet	»	0,008	0,014	0,028	0,012
Août	»	0,018	0,018	0,020	0,018
Septembre	»	0,012	0,026	0,036	0,014
Octobre	»	0,018	0,020	0,004	0,002
Novembre	»	0,018	0,026	0,024	0,002
Décembre	»	0,012	0,012	0,014	0,016
Janvier	1955	0	0	0	0
Février	»	0	0	0	0

profondeur jusqu'à 20 m environ. En automne, la teneur en nitrites baisse rapidement en profondeur.

Quelle est l'origine de ces nitrites ?

Leur concentration est très faible pendant la période de forte sursaturation en oxygène, jusqu'au mois de juin. Ils sont soit transformés rapidement en nitrates, soit assimilés de nouveau. Ils peuvent aussi parfois réagir avec des acides aminés présents et dégager de l'azote. Dès le début de l'été, la quantité de matière organique provenant du plancton mort est grande et la température de l'eau élevée. Les phénomènes de décomposition des organismes sont accélérés, mais pas à tous les stades. La minéralisation en ammoniacque et nitrites est relativement rapide, l'oxydation des nitrates est plus lente. Il y a stockage momentané du surplus de nitrites. Ils ne seront éliminés que lorsque l'équilibre sera rétabli et que la vitesse d'oxydation sera à nouveau supérieure à la vitesse de formation.

On peut se demander si la zone des nitrites n'est pas localisée et due à la proximité du lieu de déversement massif des eaux usées de la ville de Lausanne. Les essais subséquents déjà mentionnés ont montré qu'il n'en est rien. Des nitrites ont été décelés en maints endroits du lac.

Les résultats obtenus montrent que l'apparition du phénomène est récente. Il semble, à comparer les résultats obtenus

dans les diverses campagnes, qu'il ne remonte pas à plus de 5 ans en arrière, 10 ans au maximum.

L'évolution est rapide. Alors qu'en 1954, le maximum de nitrites décelé se montait à 0,036 mg/l, nous en avons trouvé en 1955, à peu près dans les mêmes lieux, jusqu'à 0,070 mg/l, et même ailleurs jusqu'à 0,1 mg/l.

Le Grand Lac tout entier participe à l'évolution. Deux ans après leur découverte sur la rive suisse, leur présence a été signalée en 1956 sur la rive française.

D'autre part, nous avons pu rencontrer en 1955 par-ci par-là des traces d'ammoniaque.

L'apparition des nitrites est un stade nouveau de l'évolution du lac; en limnologie, nous devons considérer *tout phénomène nouveau comme anormal et inquiétant*. La présence des nitrites est une nouvelle preuve irréfutable de la défaillance du pouvoir autoépurateur du Léman. L'évolution normale s'accélère, indice d'un vieillissement prématuré.

#### CONCLUSIONS.

Les deux phénomènes que nous venons de décrire de façon imparfaite et incomplète sont deux indices parmi bien d'autres de *la pollution secondaire* du Léman.

Alors que *la pollution primaire*, due au déversement massif d'eaux usées ne semble affecter pour le moment que des zones très localisées, quoique étendues, des rives du lac, et ne modifie à l'heure actuelle que la composition des sédiments lacustres, *la pollution secondaire*, phénomène plus subtil qui en est une conséquence, affecte tout le Grand Lac. (Il doit en être de même pour le Petit Lac, mais faute de données, nous n'osons pas l'affirmer).

Si l'on a pensé longtemps que les dimensions du lac (profondeur, volume d'eau), les courants, le taux d'oxygène, etc., garantissaient un pouvoir autoépurateur suffisant (et cette opinion est encore très répandue), les jugements doivent être révisés entièrement.

Répetons-le, suroxygénation et nitrites sont les indices de la prolifération excessive du plancton, elle-même due à l'excès de matières nutritives azotées et phosphorées provenant pour la plus grosse part des déversements massifs d'eaux usées.

Il est d'une extrême urgence de remédier à cet état de choses par l'épuration des eaux. Chaque année de retard augmente les difficultés de retour à l'état antérieur. Dans l'état actuel, on ne peut affirmer que la suppression de la pollution

primaire va supprimer ipso facto la pollution secondaire. Tout au plus peut-on espérer qu'elle sera ralentie et que l'autoépuration sera améliorée.

Il faut également chercher, par l'établissement de recherches systématiques, à susciter à nouveau l'intérêt des divers milieux scientifiques pour la limnologie.

Le début de ce travail a fait ressortir la carence des renseignements pour diverses époques. L'histoire du Léman est faite d'une succession d'états entre lesquels il y a des «trous».

Il existe une possibilité de reconstituer cette histoire, du moins dans une certaine mesure, car il subsiste des « témoins du passé » : les sédiments. Une étude approfondie des sédiments prélevés à grande profondeur par carottage de plusieurs mètres d'épaisseur, effectuée par une équipe de chercheurs : géologues, biologistes, chimistes, ingénieurs, etc., permettrait de résoudre bien des problèmes.

---

#### BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- FOREL F.-A. — Le Léman, monographie limnologique. Tome second. Lausanne, F. Rouge éd., 1895.
- HUBAULT E. — Etudes thermiques, chimiques et biologiques des eaux des lacs de l'Est de la France. *Ann. de l'Ecole Nat. des Eaux et Forêts*, T. X, 1947, fasc. 2.
- MERCANTON P.-L. — Données et indications pour le réglage des baromètres usuels dans la région lausannoise. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.* 62, 1943, 241.
- MERCIER P. et GAY S. — Effets de l'aération artificielle sous-lacustre au lac de Bret. *Rev. suisse d'hydrol.*, XVI, 1954, 248.
- MONOD R. — Contribution à l'étude des variations de la composition chimique de l'eau du lac Léman. Phénomènes de pollution et d'autoépuration à l'embouchure du Flon à Vidy (thèse). *Ann. de la Stat. Centr. d'hydrobiologie.* 6, Paris, 1956.
- MORTIMER C.-H. — The oxygen content of air-saturated fresh waters, and aids in calculating percentage saturation. Association internationale de limnologie théorique et appliquée. 1956. Communication n° 6.
- VIVIER P. — Température et oxygène dissous dans le Léman français. *Travaux du Lab. d'Hydrobiologie de Grenoble*, années 1942-1944.
- La vie dans les eaux douces. Les Presses universitaires de France édit., Paris, 1946.
-