

Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 68 (1962-1964)
Heft: 310: À la mémoire de F.-A. Forel

Artikel: Evolution du cycle de l'oxygène dans le Léman
Autor: Monod, René
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-275442>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 20.11.2024

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

Evolution du cycle de l'oxygène dans le Léman

PAR

RENÉ MONOD

chimiste au Laboratoire cantonal

Comme tout ce qui a trait au Léman, les problèmes des gaz dissous dans l'eau, et en particulier de l'oxygène, n'ont pas échappé à F.-A. FOREL, dont les renseignements nous sont encore très précieux.

Afin de situer le problème, il convient de rappeler brièvement quelques phénomènes si évidents qu'on en oublie parfois le rôle et la signification dans l'évolution de l'oxygène :

L'oxygène présent dans l'eau a une double origine. Une partie, la plus importante, est d'origine exogène et physique. Il s'agit de l'oxygène atmosphérique qui pénètre dans l'eau par diffusion, à une vitesse dépendant de l'état physique de la surface, en particulier de la température et des mouvements divers : vagues, courants, vents. Les matières flottant à la surface (pollen, hydrocarbures, etc.) jouent également un rôle dans la diffusion, en ce sens qu'elles peuvent opposer un obstacle à une diffusion normale.

Une autre fraction de l'oxygène est d'origine endogène et biologique. Il s'agit de l'oxygène libéré par l'activité chlorophyllienne des végétaux, algues et diatomées. Nous verrons par la suite que cette source d'oxygène prend de plus en plus d'importance au cours de l'évolution, et qu'elle subit de fortes fluctuations au cours de l'année, étant maxima au printemps et en automne, minima en hiver.

D'autre part, l'oxygène est continuellement consommé par l'activité respiratoire des organismes vivants et aussi par les processus biologiques d'oxydation des matières organiques.

L'oxygène que le chimiste dose dans l'eau, lors de ses campagnes d'étude, à toute saison, à toute profondeur et en tout point du lac, ne représente donc que le bilan des divers processus que nous venons d'énumérer. Il est souvent très difficile de déterminer la part de chacun de ces phénomènes dans le chiffre global du bilan, chacun des éléments agissant dans une proportion variable suivant les saisons ou les profondeurs. Une étude détaillée à ce sujet reste à faire.

De plus, nous devons tenir compte du fait que la concentration en oxygène de l'eau est limitée par sa solubilité, laquelle est directement proportionnelle à la pression atmosphérique, et inversement proportionnelle à la température de l'eau et à la concentration en sels dissous.

Nous laissons de côté l'influence de la pression atmosphérique, qui varie peu autour d'une valeur moyenne, et dont on peut admettre qu'elle est pratiquement une constante pour un lac donné. Quant à la concentration en sels dissous, elle est également relativement constante, et les valeurs de solubilité de l'oxygène que nous utilisons tiennent compte du fait qu'il s'agit d'eau douce, et non d'eau chimiquement pure. Nous n'avons donc à tenir compte que de la variation de température.

Dans le cas du Léman (altitude moyenne 372,00 m, avec une pression barométrique moyenne, selon les travaux de P.-L. MERCANTON, de 730 mm de mercure), la température de l'eau peut varier suivant les saisons et les profondeurs de 5°C à 23°C. Pour cette amplitude de 18°C, la solubilité de l'oxygène dans l'eau douce varie de 11,85 milligrammes par litre à 5° à 8,08 milligrammes par litre à 23°. On a donc une variation possible de solubilité de l'oxygène de 3,78 milligrammes par litre, donc d'environ 30 % de la concentration maxima. Il est bien évident qu'il faudra attacher une grande importance à ce phénomène physique dans l'interprétation des résultats.

Il convient d'ajouter que dans le cas où l'on observera une sursaturation en oxygène près de la surface de l'eau, la mesure faite n'indiquera qu'un état instantané, et non pas la valeur exacte d'une surproduction biologique, puisque nous sommes incapables, pour le moment tout au moins, de déterminer quelle est la proportion d'oxygène qui diffuse dans l'atmosphère.

Nous devons insister encore sur le fait que l'oxygénation du lac, par ces deux processus physique et biologique, est limitée à ses couches superficielles. L'activité photosynthétique n'a une grande intensité que dans les dix ou vingt mètres supérieurs de la couche d'eau, c'est-à-dire dans l'épilimnion, et cela seulement pendant la période chaude de l'année, où, ainsi que M. BOSSET le montre dans son travail, règne la stagnation de l'eau, qui oppose une barrière très efficace à la diffusion en profondeur.

Il en résulte que, d'une part les couches supérieures de l'eau sont surtout productrices d'oxygène, alors que les couches sous-jacentes, qui représentent le plus gros volume du lac, sont surtout consommatrices ; et d'autre part qu'une surproduction éventuelle d'oxygène en surface ne va pratiquement pas profiter aux couches profondes, qui seront obligées de vivre sur les réserves accumulées pendant l'hiver.

Abordons maintenant l'évolution annuelle globale actuelle du Léman, sans tenir compte de ce qui peut se passer de particulier à la surface ou en profondeur. Le lac est le plus riche en oxygène au mois de mars, à la fin de la période de circulation, qui est en fait celle de la réoxygénation physique. Lors du réchauffement de l'eau, il y a perte d'oxygène dû à l'abaissement de solubilité ; mais cette baisse est presque compensée à cette époque par une forte augmentation de l'oxygène

d'origine biologique, le plancton se développant abondamment à cette saison.

Il en résulte que de mars à mai environ, la teneur observée en oxygène du lac ne s'abaisse que peu. Mais dès le mois de juin, l'abaissement est beaucoup plus fort, le lac continuant à se réchauffer, alors que la production de plancton subit un ralentissement. Le lac atteint sa teneur minima en oxygène aux mois de septembre et octobre. Dès novembre commence la période de circulation hivernale et de réapprovisionnement en oxygène. Tel est, esquissé brièvement, le cycle annuel de l'oxygène, bien connu d'ailleurs, depuis longtemps, des limnologues.

La somme des observations accumulées ces dernières années par la sous-commission technique de la Commission internationale du Léman nous permet de chiffrer, avec une relative précision, l'ampleur des variations. On calcule que la provision d'oxygène du lac s'abaisse de 1,85 milligramme par litre de mars à novembre, ce qui représente, pour les 89 milliards de mètres cubes du Léman, une perte d'environ 165 000 tonnes d'oxygène. Ce sont ces 165 000 tonnes que le lac devra récupérer pendant la circulation d'hiver. Rappelons encore une fois que ce chiffre est le bilan des diverses activités précédemment mentionnées. La teneur moyenne annuelle en oxygène du Léman est de l'ordre de 850 000 tonnes. La perte estivale est donc de l'ordre de 20 % de l'oxygène total. Un cinquième de la provision totale en oxygène du Léman doit donc être renouvelée chaque année, et ceci pendant trois ou quatre mois de l'année seulement.

Si l'on examine les choses de plus près, en comparant par exemple ce qui se passe près de la surface du lac à ce qui est observé dans les profondeurs, on note que la teneur moyenne en oxygène passe de 10,75 milligrammes par litre à 5 mètres de profondeur à 6,42 milligrammes par litre à 300 mètres de profondeur. Il y a donc une amplitude annuelle moyenne de 4,33 milligrammes par litre, soit plus de 40 %. Mais encore plus frappantes sont les valeurs extrêmes observées, c'est-à-dire 14,80 milligrammes par litre près de la surface en 1959 par exemple, et 3,65 milligrammes par litre en minimum absolu près du fond. A noter qu'en 1962 et 1963, les maxima absolus ont été encore plus élevés.

On peut donc constater d'ores et déjà qu'il y a de fortes différences dans la concentration entre la surface et le fond, donc un déséquilibre relativement important.

D'une part, la couche superficielle du lac est en moyenne très oxygénée, d'autre part, dans les couches profondes, on observe un abaissement croissant. Il y a du reste non seulement diminution au cours de l'année, mais aussi, et cela est beaucoup plus grave, d'année en année. Il semble donc que l'approvisionnement en oxygène des couches profondes ne se fait plus actuellement qu'avec de grandes difficultés, comme

si l'on assistait à la formation d'une couche stagnante, qui aurait à la longue de moins en moins de relations avec les couches susjacentes, ce qui est le pire qui puisse arriver à un lac.

Si maintenant, nous prenons en considération la solubilité théorique de l'oxygène aux températures mesurées, nous pouvons établir une commune mesure permettant des comparaisons entre des eaux présentant des températures différentes. Cet élément de comparaison nous est fourni par le *taux de saturation*, qui est le rapport, exprimé en pourcentage entre l'oxygène réel mesuré et l'oxygène théorique à saturation.

L'étude de ce taux de saturation permet les constatations suivantes :

Le taux de saturation moyen en oxygène du Léman est actuellement de 84 à 85 %, en moyenne annuelle, soit plus bas que l'on ne pensait généralement. Mais il est de 112 % environ près de la surface et seulement de 50 à 52 % à 300 mètres de profondeur, en moyenne annuelle toujours.

Le maximum observé a été de 147 % en 1959 près de la surface, et le minimum la même année de 31 % seulement près du fond ; un tel taux est incompatible avec la vie du poisson.

Ces quelques chiffres nous permettent de nous rendre compte de la situation actuelle :

Dans les couches supérieures de l'eau, allant de la surface à 50 mètres au maximum, le Léman est sursaturé en oxygène au moment de la forte prolifération du plancton, de mars à juillet, c'est-à-dire pendant cinq mois de l'année ; il est en déficit d'oxygène les sept autres mois de l'année. Pour les couches plus profondes, c'est-à-dire pour la plus grande masse de l'eau, l'oxygène est en déficit pendant toute l'année.

Or, il apparaît clairement qu'une surproduction énorme d'oxygène, qui d'ailleurs va croissant d'année en année, dans les couches superficielles, où l'on a observé des taux dépassant 160 % en 1962, n'est pas l'indice d'un lac sain, puisque cette sursaturation est due à l'augmentation de la masse de plancton, prolifération qui est la conséquence de l'augmentation des éléments fertilisants azotés et surtout phosphorés.

Dans les couches profondes, on assiste à un déficit croissant : à 300 mètres par exemple :

67 % en 1957	45 % en 1959
56 % en 1958	49 % en 1960

soit donc en moyenne 52 % pour les quatre ans.

En moyenne pour les quatre années, nous n'avons que 66 % du taux de saturation au fond du lac au mois de mars, soit au début de la saison, et seulement 36 % au mois de novembre. La consommation de l'oxygène s'accroît, alors que l'approvisionnement devient de plus en plus précaire.

Il nous reste maintenant à déterminer comment le lac a évolué depuis les travaux magistraux de F.-A. FOREL :

A la fin du siècle passé, l'état du Léman était tout à fait satisfaisant. Il était même un modèle du genre. L'eau était saturée pratiquement de la surface au fond. On n'observait pas de grande sursaturation en surface, ni de déficit important en profondeur, où le lac était encore saturé à 90 % à la fin de la période estivale (10,6 milligrammes par litre). Les amplitudes entre la surface et le fond étaient donc minimes.

En 1913, selon les travaux de DIENERT, la situation avait peu évolué.

En 1932-1937, on pouvait observer un début de modification. Le taux de saturation près de la surface pouvait atteindre au maximum 110 à 115 %, et au minimum 63 % en novembre (environ 7,5 milligrammes par litre). Les amplitudes étaient déjà plus grandes, mais la situation pouvait passer encore pour satisfaisante.

Pour ces dernières années, nous venons d'en citer les chiffres plus haut :

taux de saturation maximum en surface supérieur à 140 % et pouvant même atteindre parfois 160 % ;

taux de saturation minimum dans le fond de 31 %, correspondant à 3,65 milligrammes par litre.

Abaissement du taux de saturation moyen du lac, de 100 % à l'époque de FOREL à 85 % de nos jours.

Cette évolution brusque des dernières décennies se schématise par les phénomènes suivants :

- 1) très forte surproduction biologique d'oxygène près de la surface ;
- 2) déficit permanent et croissant en profondeur, pouvant affecter plus de 16 % du volume du lac, et même 30 % en fin de saison estivale, d'où :
- 3) déséquilibre permanent entre la surface et le fond ;
- 4) tendance à la création d'une couche stagnante dans le fond du lac.

Cette évolution dans un sens défavorable n'est pas l'apanage de l'oxygène. L'examen de l'évolution d'autres éléments, tels que les composés azotés minéraux et organiques, les composés phosphorés, etc., confirme pleinement les observations faites à propos de l'oxygène.

Le tableau que nous avons brièvement peint peut paraître sombre à quelques-uns. Il ne représente pas moins la réalité.

