

# Evolution physico-chimique du Léman

## de 1957 à nos jours

Jérôme LAZZAROTTO<sup>1</sup>

### Abstract

**Physico-chemical evolution of the Léman lake from 1957 to nowadays** - The long-term physico-chemical dataset of lake Geneva and its catchment area allowed a rigorous monitoring of the evolution of the lake, its various cycles and trophic state. The catchment area of lake Geneva underwent a strong human impact resulting in an important input of nutrients, such as phosphorus, to the lake. In ten years, between the 1960's and the 1970's, the situation worsened, resulting in lake eutrophication, associated with strong algal concentrations and low transparencies. In order to reduce the phosphorus input, which is the eutrophication limiting factor, measures have been taken since the 1970's (treatment of phosphorus in the sewage stations of the catchment area, prohibition of phosphated detergents in Switzerland). As a result, inputs were reduced and the stock of phosphorus of the lake decreased as soon as the 1980's. The lake, now within a re-oligotrophication process, could be considered, from its phosphorus concentrations, as mesotrophic. However, the biological compartment does not respond to the nutrient limitation as quickly as what it used to respond to the nutrient increase during eutrophication. For that matter, there is still a crucial need to maintain and reinforce our efforts to detect, identify and control all potential phosphorus sources to the lake, in order to reach a state without any important algal concentrations.

**Keywords:** limnology, Léman, chemistry, eutrophication

### Résumé

La chronique importante des données physico-chimiques du Léman et de son bassin versant ont permis un suivi rigoureux de l'évolution du Léman, de ses différents cycles et de son état trophique. Le bassin versant du Léman a subi une forte anthropisation qui a généré des apports en nutriments importants, dont le phosphore. En l'espace d'une dizaine d'années, entre les années 1960 et 1970, la situation du lac s'est rapidement détériorée jusqu'à l'eutrophisation, avec de fortes proliférations algales et de faibles transparences. Afin de limiter les apports en phosphore, facteur limitant du phénomène d'eutrophisation, des mesures ont rapidement été prises dès les années 1970 (déphosphatation dans les stations d'épuration du bassin versant, interdiction des lessives phosphatées en Suisse). Les apports ont donc diminué et le stock en phosphore du lac a diminué ensuite à partir des années 1980. Le Léman est en cours de réoligotrophisation, il est actuellement à un stade mésotrophe. Les processus biologiques réagissent plus lentement à la baisse des apports qu'à la hausse. Les efforts de lutte et de détermination des apports doivent donc être maintenus et renforcés afin d'atteindre un état sans prolifération algale trop importante.

**Mots-clés:** limnologie, Léman, chimie, eutrophisation

### Introduction

Le Léman a été l'objet de plusieurs études scientifiques depuis le XIX<sup>e</sup> siècle et sa physico-chimie est suivie de manière régulière depuis 1957. En cinquante ans, la chimie du lac a beaucoup évolué et son état trophique a changé. Les apports, principalement en éléments nutritifs, ont évolué et entraîné des modifications des processus biologiques, dont de fortes proliférations algales. Plusieurs actions ont été menées afin d'améliorer l'état du lac. Nous présente-

rons ici les cycles et les évolutions constatées, notamment du statut trophique, des eaux du Léman depuis environ 50 ans.

### Le Léman et son bassin versant

Le Léman est le plus grand lac d'Europe occidentale avec un volume de 89 km<sup>3</sup> d'eau. Il résulte d'un surcreusement d'une vallée glaciaire au front du chevauchement des Préalpes et occupe une cuvette formée

<sup>1</sup> INRA UMR CARTELE, 74200 THONON, FRANCE

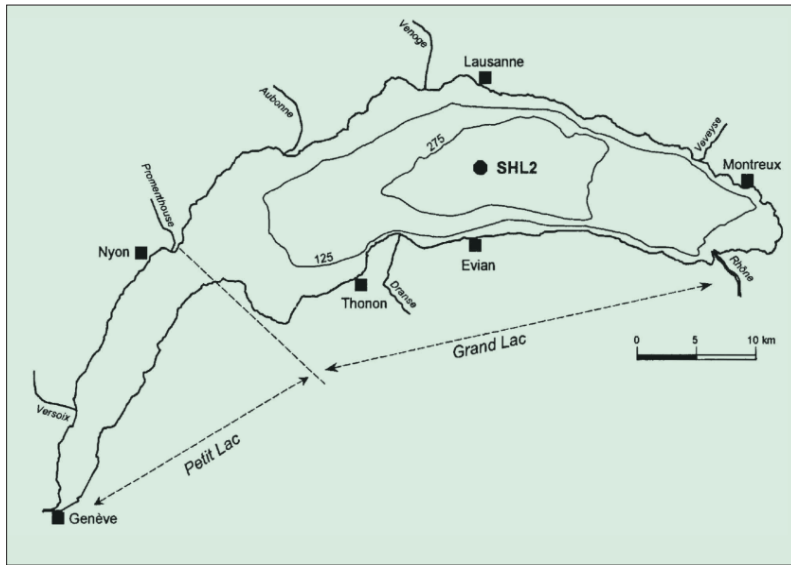


Fig. 1. Léman et situation du point de prélèvement SHL2.

dans un bassin molassique (ère tertiaire) entre l'arc alpin et la chaîne jurassique. Le Léman est situé à une altitude moyenne de 372 m, sa surface est de 582 km<sup>2</sup>, sa profondeur moyenne est de 152 m et sa profondeur maximale de 309.7 m (Fig. 1) (Pourriot et Meybeck 1995).

Le Léman est composé de 2 unités géographiques distinctes:

- Le Petit Lac à l'ouest. Sa profondeur moyenne est de 40 m et il représente 3,4% du volume total du lac.
- Le Grand Lac à l'est avec une profondeur moyenne de 179 m.

Le temps de séjour théorique des eaux est de 12 ans, des mesures de datation au tritium ont permis de déterminer des temps de séjour allant de 5 ans dans les couches superficielles à environ 20 ans au fond (Hubert 1972).

Le Léman est considéré comme un lac creux, avec un indice de creux de 6.3 (rapport entre la profondeur moyenne et la superficie), ce qui rend difficile les brassages. Le Léman est, du fait de son altitude et de sa morphologie, un lac monomictique chaud: il ne présente qu'une seule période de brassage en hiver. Les brassages complets de la colonne d'eau ne sont pas fréquents et nécessitent un hiver froid et des vents vigoureux: depuis les années 1970 cinq brassages complets ont été observés (1970, 1971, 1981, 1986 et 2005). La dynamique du lac est donc très sensible aux conditions climatiques hivernales.

Le rapport entre la surface du bassin versant (7393 km<sup>2</sup>) et celle du lac est de 13. Les activités et les modes d'occupation des sols du bassin versant

(terres non cultivées, forêts, pâturages, terres cultivables et glaciers) et son urbanisation (plus de 950 000 habitants permanents) sont donc importants pour l'écosystème du lac. Le Rhône est le principal tributaire du Léman et lui apporte  $\frac{3}{4}$  du flux hydrique total. Il représente plus de 90 % des apports en phosphore total. Les apports du bassin versant présentent une saisonnalité importante, une grande partie des apports en phosphore est réalisée lors des premières crues de reprise hydrologique dues à la fonte des neiges dans la période avril-juin.

Depuis 1708, le Léman fournit une partie de l'eau potable de Genève. Aujourd'hui le lac fournit en eau potable plus de 600 000 personnes, soit environ 100 millions de m<sup>3</sup> par an. Le Léman est aussi le siège d'activités de pêche et de tourisme. Son bassin versant a subi une urbanisation de plus en plus importante au cours du siècle dernier. Le danger grandissant des apports entraînés par l'urbanisation et des activités aux abords et sur le lac a entraîné la prise de conscience des spécialistes, notamment avec la dégradation de la qualité des eaux du Léman dans la zone littorale en 1949. L'Union Générale des Rhodaniens commença des études régulières des variations physico-chimiques du Léman, puis la Commission Internationale de Protection des Eaux du Léman (CIPEL) lui succéda en 1960.

Les objectifs de la CIPEL sont de:

- réduire l'eutrophisation du lac
- maintenir la qualité des eaux pour la baignade et la boisson
- protéger les milieux aquatiques

Afin d'atteindre ces objectifs, la CIPEL réalise l'auscultation et le suivi de l'évolution du Léman et de ces principaux tributaires (Rhône, Dranse, Venoge,...), elle émet des recommandations aux gouvernements suisse et français et prend des résolutions.

### ■ Le suivi physico-chimique du Léman

Le Léman a fait l'objet de plusieurs études générales et spécifiques depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, notamment avec les importants travaux en 1892 de F.-A. Forel qui donna le jour à la limnologie (Forel 1904; Novel 1949; Monod 1956). Le Léman a été étudié par différents scientifiques depuis cette époque et un suivi régulier est effectué depuis 1957. Les différentes

méthodes d'analyses utilisées par les laboratoires suisses et français ont été uniformisées et coordonnées par l'Union Générale des Rhodaniens en 1950 puis par la CIPEL depuis 1960 (CIPEL 1964).

Un prélèvement est effectué au centre du Grand Lac (Fig. 1) entre Lausanne et Evian (Station SHL2) de manière mensuelle à bimensuelle à l'aide de bouteilles cylindriques fermantes descendues avec d'un treuil compteur. L'échantillonnage correspond à une vingtaine d'échantillons entre la surface et le fond (309.7 m). Des points à diverses profondeurs ont été ajoutés et d'autres supprimés depuis 1957. Les paramètres analysés sur ces échantillons prélevés le long de la colonne d'eau sont principalement: les nutriments ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{N}_{\text{total}}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{P}_{\text{total}}$ ), le carbone organique dissous (COD), les ions conservatifs et majeurs ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ), le titre alcalimétrique complet (TAC) et les paramètres globaux (température, pH, conductivité et oxygène dissous). Depuis 2003, les profondeurs de prélèvements des bouteilles sont contrôlées par une sonde de pression couplée à la bouteille. Depuis 1991, un profil de sonde physico-chimique est effectué à chaque campagne de prélèvement afin de connaître l'évolution mètre par mètre dans la colonne d'eau des paramètres suivants: pH, conductivité, température, turbidité, fluorescence et oxygène dissous. (CIPEL 1984; Blanc et al. 1994; CIPEL 2006)

Ces mesures *in situ*, prélèvements et analyses en laboratoire sont couplés à des mesures des différents compartiments biologiques lors de chaque campagne de prélèvement (phytoplancton, zooplancton...). Le Léman présente une des plus importantes chroniques d'observations de lac, dont des données de suivi physico-chimique comparables depuis 50 ans. Ces données permettent d'observer l'évolution de ses stocks, de son état, de ses cycles et de son statut trophique.

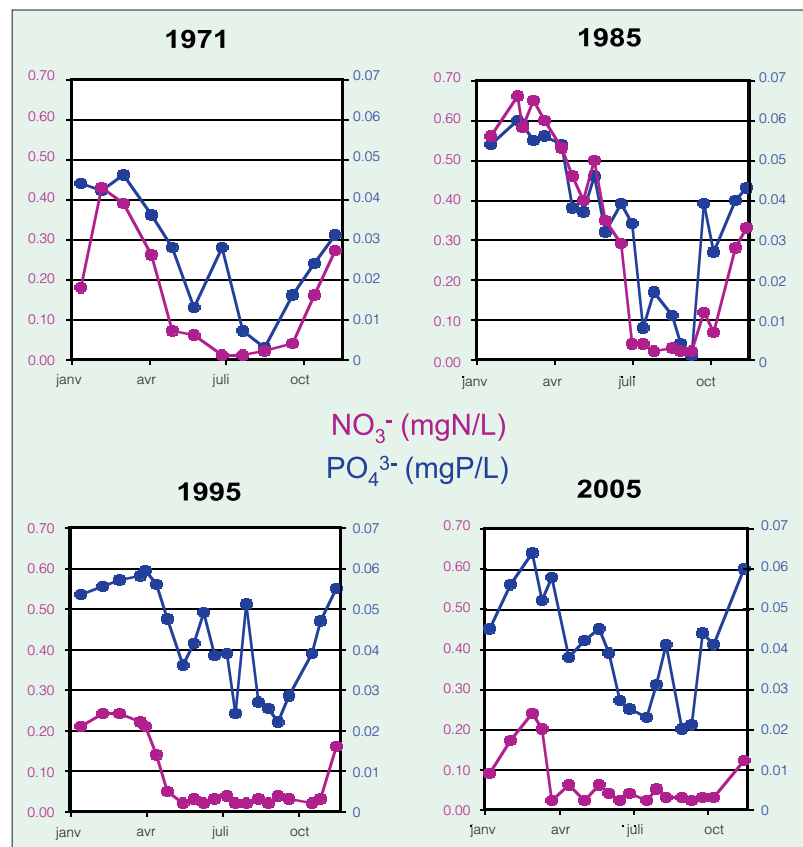
### Le cycle annuel du Léman

Le lac est le siège d'un cycle annuel comportant 3 mécanismes biologiques fondamentaux: la production, la consommation et la décomposition. Ces trois mécanismes s'enchaînent le long de la colonne d'eau et au cours de l'année. Le climat est le paramètre explicatif, contrôlant ces mécanismes biologiques.

Au début du printemps, la distribution des nutriments est homogène le long de la colonne d'eau. Avec l'augmentation de la température, les eaux superficielles se réchauffent, la production est alors possible. La production est surtout effectuée par le plancton végétal qui transforme par photosynthèse les nutriments présents dans les couches superficielles, principalement l'azote, le phosphore et le carbone, en matière organique vivante. Le réchauffement de plus en plus important des couches superficielles entraîne la stratification du lac: la colonne d'eau est séparée en deux couches distinctes au niveau physique et chimique. L'épilimnion en surface est caractérisé par des eaux chaudes et un appauvrissement des concentrations en nutriments dû à la production; l'hypolimnion est situé en dessous du saut thermique et présente des eaux froides (vers 5°C) avec des concentrations en nutriments assez homogènes.

La fig. 2 permet l'observation de la consommation des nutriments à -10 m à partir du printemps pour différentes années. L'orthophosphate est consommé jusqu'à des valeurs quasi-nulles et est toujours le facteur limitant de la production. La production entraîne l'oxygénation de l'épilimnion (couche superficielle chaude) et la diminution de la transparence de l'eau. Il s'ensuit la consommation qui est la transformation

Fig. 2 . Evolution annuelle de l'azote nitrique et de l'orthophosphate à 10 m en 1971, 1985, 1995 et 2005.



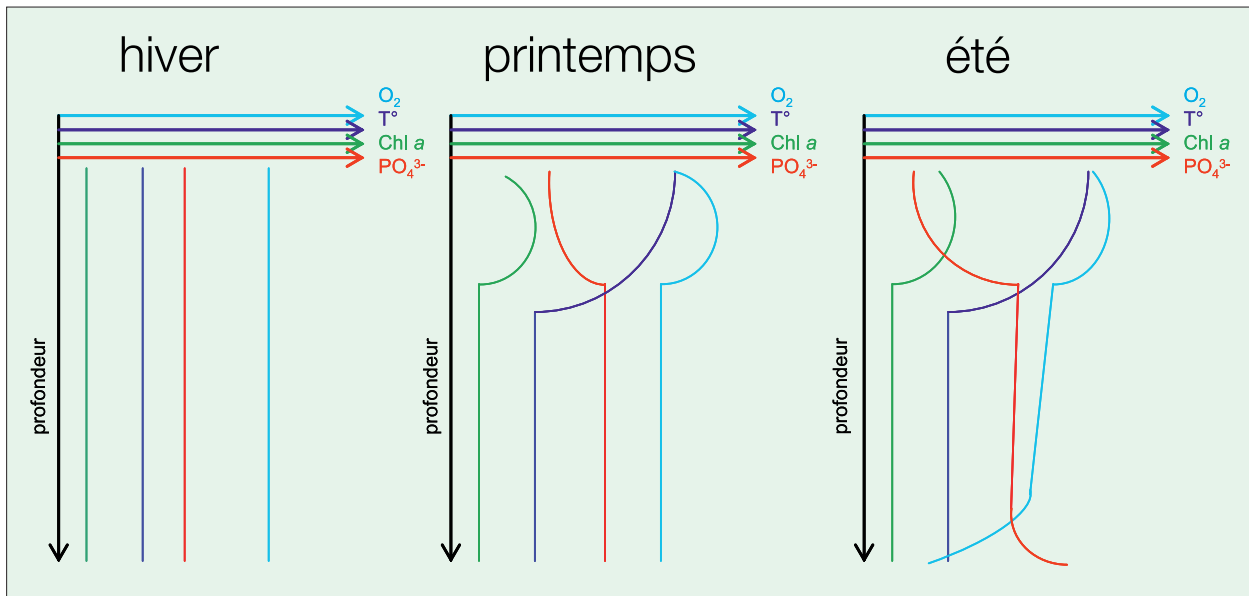


Fig. 3. Schéma de principe d'évolution des profils en température, oxygène dissous, chlorophylle a et orthophosphate dans l'année avec un brassage complet.

de la matière organique végétale en matière organique animale, dont le premier maillon est le zooplancton, puis les poissons etc... La matière organique est ensuite décomposée par les bactéries en substances minérales, ces substances minérales pourront ainsi être remises à disposition pour la production. La minéralisation consomme l'oxygène dissous ou à défaut d'autres composés pouvant être réduits.

Du printemps à l'automne, les espèces de phytoplancton et de zooplancton se succèdent avec notamment la période des eaux claires en été lorsque le zooplancton consomme une grande partie du phytoplancton et augmente ainsi la transparence de l'eau. Au fur et à mesure que la production et la consommation s'enchaînent, la matière organique morte sédimente vers l'hypolimnion et est décomposée. Cette décomposition consomme de l'oxygène. L'hypolimnion étant séparé de l'épilimnion par le saut thermique (thermocline), il n'est pas réapprovisionné en oxygène par l'atmosphère et les vents de surface. Ainsi la réserve en oxygène dissous diminue au fond du lac jusqu'à parfois atteindre des valeurs quasi nulles. L'appauvrissement en oxygène du fond du lac est à la source de plusieurs problèmes, dont la réduction des oxydes de fer des sédiments. Le phosphore présent dans l'eau interstitielle des sédiments et une partie du phosphore adsorbé sur les sédiments ne sont alors plus retenus et sont diffusés dans les eaux du fond du lac. Ce phénomène est une source supplémentaire de phosphore et correspond à la charge interne, à la différence de la charge externe provenant du bassin versant.

En hiver, les couches superficielles refroidissent jusqu'à atteindre la même température que les eaux profondes. Il n'y a dès lors plus de saut thermique et un vent fort permet le brassage complet de la colonne d'eau et une remise à disposition en surface des nutriments provenant de la décomposition. Les conditions morphologiques du lac et son altitude rendent difficile un brassage complet de la colonne d'eau, il est fréquent que le brassage hivernal ne dépasse pas -250 m. Si l'eau du fond a été fortement désoxygénée et si le brassage est important, une partie du phosphore des sédiments est remis à disposition dans l'ensemble du lac. Cette charge interne peut augmenter significativement le stock total du lac en phosphore (Barroin 1982, 1988).

La fig. 3 représente un schéma de ce cycle en indiquant les comportements typiques de la température, l'oxygène dissous, l'orthophosphate et la chlorophylle a au cours de l'année dans l'épilimnion et l'hypolimnion avec un brassage complet, soit une réoxygénation totale des eaux profondes. Ce cycle n'est cependant pas immuable et aussi rigoureux que ce schéma comme nous pouvons l'observer sur la fig. 2: les périodes de consommation des nutriments ne sont pas complètement répétables dans le temps.

### ■ L'eutrophisation du Léman

L'eutrophisation d'un lac est la conséquence de concentrations trop importantes en nutriments. Elle se manifeste par une augmentation de la production primaire et donc de très fortes concentrations algales

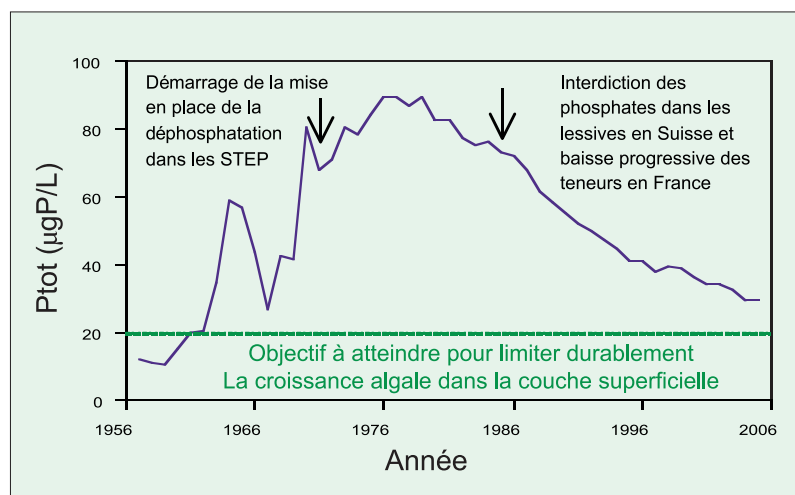
et une désoxygénation des eaux du fond. L'eutrophisation entraîne le comblement du lac. Beaucoup de lacs du monde ont, comme le Léman, subi une eutrophisation plus ou moins importante au cours du siècle dernier du fait des apports importants par les bassins versants qui se sont urbanisés. Depuis les années 1970, il est admis que le phosphore est le facteur limitant de l'eutrophisation dans les eaux douces, du fait qu'il est le facteur limitant du processus de production. La détermination du statut trophique, d'oligotrophe à eutrophe, d'un lac est complexe et souvent dépendant du paramètre observé: les espèces phytoplanctoniques en présence, la concentration moyenne en phosphore, la transparence, la vitesse de consommation de l'oxygène dans l'hypolimnion... (Schindler 1977)

Au long du siècle dernier, le statut trophique du Léman a fortement évolué. Cela a entraîné le choix des scientifiques et de la CIPEL à suivre son évolution avec une forte fréquence. La fig. 4 représente l'évolution de la concentration moyenne annuelle en phosphore total du Léman depuis 1957, avec l'objectif à 20 µgP/L pour limiter les proliférations algales. Le Léman présentait tous les indices d'un lac oligotrophe avant les années 1950. Depuis, les apports du bassin versant ont augmenté, les concentrations en phosphore total du Léman augmentèrent de façon spectaculaire et irrégulières de 10 µgP/L à 40 µgP/L dans les années 1960 et les communautés algales changèrent au profit d'espèces telles que les chlorophycées du genre *Mougeotia* et les *Oscillatoria rubescens*. Dans les années 1970, les volumes de plancton devinrent très importants et la transparence diminua. La concentration moyenne annuelle en phosphore total atteignit des extrêmes de l'ordre de 90 µgP/L.

Les apports en phosphore du Léman proviennent pour plus de 90% du Rhône amont. Des études ont déterminé que la fraction de phosphore biodisponible, c'est-à-dire directement assimilable pour la production, constitue une faible part (de l'ordre de 15%) de l'ensemble du phosphore apporté par le bassin versant. Ce phosphore biodisponible provient en grande partie des rejets domestiques, avec l'importance des détergents phosphatés dans ces apports ponctuels. Les concentrations en orthophosphate, fraction minérale en solution directement biodisponible du phosphore, des apports ne sont pas en corrélation avec le débit et augmentent de 1963 à 1966 et restent stables et élevés jusqu'en 1975 du fait de l'urbanisation, de l'utilisation de détergents phosphatés et de rejets directs sans traitement dans les rivières. D'après plusieurs critères, le lac a ainsi évolué d'un état oligotrophe vers un état mésotrophe puis eutrophe en un temps très court, entre 1965 et 1975. (CIPEL 1984; Pelletier et al. 1991; Anneville et al. 2001).

Les faits que le lac est assez creux et que la réoxygénation totale des eaux profondes est rare ont aggravé la situation en apportant chaque année la charge interne en phosphore du lac en plus de la charge externe. La fig. 5 permet d'observer l'impact de la désoxygénation des eaux du fond avec une augmentation des concentrations en phosphore total. Ce phénomène est observé jusqu'à chaque brassage complet (1970, 1971, 1981, 1986 et 2005) réoxygénant totalement les eaux du fond et du même fait remettant à disposition l'ensemble du phosphore relargué par les sédiments. L'eutrophisation entretient la désoxygénation des eaux profondes: plus la production est importante, plus la minéralisation de la matière organique sédimentée est importante et plus l'oxygène dissous est consommée.

Fig. 4. Evolution de la moyenne annuelle en phosphore total du Léman de 1957 à 2005.



Au vu de cette situation, des dispositions ont été prises par les gouvernements suisse et français, dont la déphosphatation dans les stations d'épuration du bassin versant à partir de 1972 et l'interdiction des lessives phosphatées en Suisse en 1986. Le temps de séjour de l'eau a ralenti les effets de ces actions, mais la concentration du lac en phosphore s'est stabilisée en 1976 puis a diminué à partir des années 1980 avec une forte pente jusqu'aux années 1995 où la pente s'est adoucie (Fig. 4) (CIPEL 2006; OCDE 1982).

Les dynamiques des espèces biologiques et les dynamiques des concentrations en nutriments ont évolué avec les variations de cet état

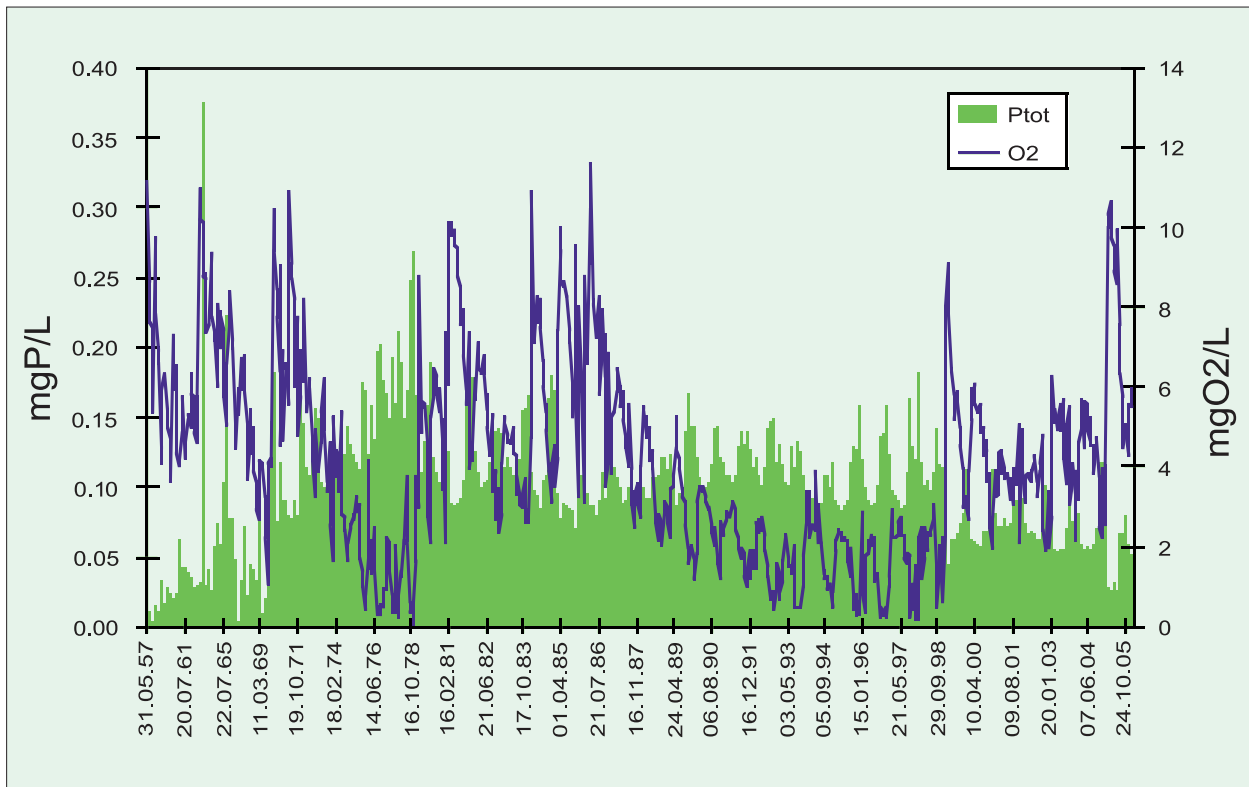


Fig. 5. Evolution de 1957 du phosphore total et de l'oxygène dissous au fond du Léman.

trophique. La fig. 2 indique que les cycles de consommation des nutriments azotés et phosphorés ne sont pas répétables entre les années 1971, 1985, 1995 et 2005. D'une manière générale: depuis le début du suivi, l'orthophosphate et l'azote nitrique étaient consommés fortement pendant le printemps jusqu'à des concentrations très faibles et la consommation diminuait en hiver; à partir de la fin des années 1980 les concentrations en orthophosphate sont plus faibles en hiver, elles diminuent au printemps avec la consommation et restent faibles toute l'année. Ces changements sont en relation avec le changement des populations biologiques, principalement le phytoplancton et de leurs cycles (Anneville et al. 1999; Anneville et al. 2001).

Le stock en azote total du Léman a augmenté jusqu'en 1985 et est stable depuis aux alentours de 0.6 mgN/L. Le stock en chlorure augmente chaque année de l'ordre de 4% pour atteindre en 2005 8.44 mg/L. Ces apports sont principalement dus aux activités industrielles et, dans une moindre mesure, au salage des routes sur le pourtour du lac. Bien qu'en constante augmentation, les teneurs actuelles en chlorure restent très inférieures aux valeurs toxiques citées dans la littérature (Gumy et De Alencastro 2001). Les autres ions majeurs ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ ) liés à la géologie du bassin lacustre ne varient pas significativement.

Nous observons actuellement une concentration moyenne de l'eau du Léman à 29,4  $\mu\text{gP/L}$  en phosphore total, mais la production primaire et les paramètres quantitatifs du phytoplancton ne présentent pas une tendance significative à l'amélioration depuis quelques années. Les différents paramètres tendent à définir actuellement le Léman comme un lac mésotrophe.

## Conclusion

Les éléments majeurs liés à la géologie du bassin versant du Léman n'ont pas évolués significativement depuis le début des suivis, à la différence des nutriments (azote et phosphore) et de certains éléments conservatifs (chlorure) liés à l'anthropisation du bassin versant qui ont augmenté avec l'essor démographique de la région.

La forte augmentation des apports en phosphore, facteur limitant de l'eutrophisation, à partir des années 1960 a entraîné une dégradation rapide de l'état du Léman jusqu'à passer d'un état oligotrophe à mésotrophe puis eutrophe. Le climat et la force du brassage hivernal sont des facteurs primordiaux d'évolution du Léman notamment à cause des apports de la charge interne dus à la désoxygénation de l'hypolimnion si le brassage n'est pas complet. Ce phénomène a renforcé l'eutrophisation.

Les suivis effectués et les mesures prises par les gouvernements à partir des années 1970, telles que la mise en place de la déphosphatation dans les stations d'épuration du bassin versant et l'interdiction des lessives phosphatées en Suisse, ont permis de limiter les apports en phosphore et d'améliorer l'état du lac jusqu'à un statut mésotrophe.

Le Léman est actuellement en cours de réoligotrophisation. Cependant la diminution du stock de phosphore du lac a ralenti depuis 1995. Actuellement la concentration moyenne du Léman en phosphore total est de 29.4 µgP/L, l'objectif visé étant 20 µgP/L pour limiter raisonnablement et durablement les productions algales. Ainsi, malgré les résultats obtenus, il est nécessaire de poursuivre l'effort de détection, d'identification et de suppression des sources résiduelles de phosphore biodisponible.

## Remerciements

Je remercie François RAPIN, Secrétaire général de la CIPEL et l'ensemble de la CIPEL pour la relecture et l'aide apportée pour ce texte, ainsi que Marie-Elodie PERGA de l'INRA UMR CARTELE pour sa relecture.

## Bibliographie

- **ANNEVILLE O, ANGELI N, GINOT V, PELLETIER JP.** 2001. Ambiguïté sur l'état trophique du Léman: vers un indice fondé sur les associations d'espèces. In: les variables biologiques comme indicateurs de l'état de santé des hydrosystèmes. Cemagref Ed., 153-175, Lyon.
- **ANNEVILLE O, PELLETIER JP.** 1999. Vers une amélioration de la qualité des eaux du Léman? Evolution comparée d'indices trophiques. In: Découvrir le Léman, BERTOLA C, GOUMAND C Et RUBIN JF, Slatkine (Ed.), 215-227, Genève.
- **BARROIN G, BLANC P, CHASSAING B, OLIVE PH, PELLETIER JP.** 1982. A propos de la qualité des eaux du lac Léman. Eau du Québec, vol 15: 154-157.
- **BARROIN G.** 1988. Estimation du métabolisme du phosphore dans le Léman à partir de la relation phosphore-oxygène en zone profonde. In: Eutrophication and Lake Restoration. Water Quality and Biological Impacts. Balvay G. Ed.: 63-78. Thonon-Les-Bains, INRA
- **BLANC P, CORVI C, RAPIN F.** 1994. Evolution physico-chimique des eaux du Léman. Rapp. CIPEL, Campagne 1993: pp 37-64.
- **CIPEL.** 1964. Rapport sur l'état sanitaire du Léman de 1957-1960, CIPEL ed., 292 pp, Lausanne.
- **CIPEL.** 1984. Le Léman synthèse. 1957.1982 – Synthèse des travaux de la Commission internationale pour la protection des eaux du Léman contre la pollution. CIPEL Ed., 650pp, Lausanne.
- **CIPEL.** 2006. Rapports sur les études et recherches entreprises dans le bassin lémanique, Campagne 2005, CIPEL Ed., 199 pp, Lausanne.
- **FOREL FA** 1892-1904. Le Léman, Monographie limnologique, F. Rouge, Lausanne.
- **GUMY D, DE ALENCASTRO LF.** 2001. Origine de la pollution du Léman par le chlorure. Rapp. Comm. Int. Prot. Eaux Léman contre pollut., Campagne 2000: 261-278.
- **HUBERT P.** 1972. Apports du tritium à la limnologie physique. Application au Léman. – Verh. Internat. Verein. Limnol., 18: 435-441.
- **MONOD R.** 1956. Contribution à l'étude des variations de la composition chimique des eaux du lac Léman. Ann. Station centr. Hydrob. Appl., 6: 231-345
- **NOVEL E.** 1949. Etude comparative, au point de vue quantitatif, de l'eau du Léman dans le Petit-Lac, à Genève, pendant les années 1893 et 1948. Rev. Suisse Hydrob., t. II.
- **O.C.D.E.** 1982. Eutrophisation des eaux: méthodes de surveillance, d'évaluation et de lutte. OCDE, 165pp. Paris.
- **POURRIOT R, MEYBECK M.** 1995. Limnologie générale, MASSON Ed., 956 pp, Paris.
- **PELLETIER J, BLANC P.** 1991. Sensibilité des lacs aux facteurs climatiques et anthropiques. Exemple d'un grand lac, le Léman. Océanis, 17(5): 517-529.
- **SCHINDLER D.** 1977. The evolution of phosphorus limitation in lakes. Science, 195: 260-262.