

Influence des apports sur le stock de phosphore dans le lac Léman et sur son eutrophisation

Evolution of nutrient inputs in lake Lemman: influence upon the trophic level

F. Rapin, P. Blanc et C. Corvi

Volume 2, numéro 4, 1989

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/705051ar>
DOI : <https://doi.org/10.7202/705051ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Université du Québec - INRS-Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE)

ISSN

0992-7158 (imprimé)
1718-8598 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Rapin, F., Blanc, P. & Corvi, C. (1989). Influence des apports sur le stock de phosphore dans le lac Léman et sur son eutrophisation. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 2(4), 721–737. <https://doi.org/10.7202/705051ar>

Résumé de l'article

L'eutrophisation due au phosphore a débuté à la fin des années 50. Les concentrations en phosphore étaient de 10 µg/l avant 1960 et ont atteint 90 µg/l vers 1976-1979. Depuis 1979, on note une diminution de 31 % (62 µg/l en 1988).

Les apports en phosphore particulaire par les affluents principaux suivent parfaitement l'hydraulicité, mettant ainsi en évidence leur origine principalement érosive. Par contre, les apports en phosphore dissous, qui sont plus liés à l'activité humaine, ont présenté une forte croissance au début des années 1960 et se sont maintenus à un niveau élevé jusqu'en 1975. Depuis cette époque ils sont en forte décroissance (- 56 % depuis 1975). Cette décroissance est liée à la mise en service des stations d'épuration pratiquant la déphosphatation et à la mesure d'interdiction des phosphates dans les produits de lavage textiles en Suisse (01.07.1986), qui a conduit à réduire de 40 à 45 % les quantités de phosphore rejetées dans les eaux superficielles par les réseaux d'assainissement.

La transparence moyenne estivale (mai-septembre) a régulièrement diminué depuis les années 1960. Lorsque les conditions climatiques sont favorables à la croissance du phytoplancton le Léman est susceptible de se comporter comme un lac eutrophe. Malgré la nette baisse des concentrations en phosphore dans le lac, il n'a pas encore été relevé de diminution de la production algale. Ceci est en accord avec les études effectuées sur d'autres lacs qui ont montré qu'il est nécessaire d'abaisser ces concentrations en-dessous de 20 à 30 µg/l pour limiter la croissance du plancton.

Influence des apports sur le stock de phosphore dans le lac Léman et sur son eutrophisation

Evolution of nutrient inputs in lake Lemman : influence upon the trophic level

F. RAPIN(1)*, P. BLANC(2), C. CORVI(3)

RÉSUMÉ

L'eutrophisation due au phosphore a débuté à la fin des années 50. Les concentrations en phosphore étaient de 10 $\mu\text{g/l}$ avant 1960 et ont atteint 90 $\mu\text{g/l}$ vers 1976-1979. Depuis 1979, on note une diminution de 31 % (62 $\mu\text{g/l}$ en 1988).

Les apports en phosphore particulaire par les affluents principaux suivent parfaitement l'hydraulicité, mettant ainsi en évidence leur origine principalement érosive. Par contre, les apports en phosphore dissous, qui sont plus liés à l'activité humaine, ont présenté une forte croissance au début des années 1960 et se sont maintenus à un niveau élevé jusqu'en 1975. Depuis cette époque ils sont en forte décroissance (- 56 % depuis 1975). Cette décroissance est liée à la mise en service des stations d'épuration pratiquant la déphosphatation et à la mesure d'interdiction des phosphates dans les produits de lavage textiles en Suisse (01.07.1986), qui a conduit à réduire de 40 à 45 % les quantités de phosphore rejetées dans les eaux superficielles par les réseaux d'assainissement.

(1) Commission internationale pour la protection des eaux du Léman, C.P. 80, CH-1000 Lausanne 12, Suisse.

(2) Institut de Limnologie (INRA), B.P. 11 F, 74203 Thonon-les-Bains, France.

(3) Laboratoire Cantonal de Chimie, C.P. 166, CH-1211 Genève 4, Suisse.

La transparence moyenne estivale (mai-septembre) a régulièrement diminué depuis les années 1960. Lorsque les conditions climatiques sont favorables à la croissance du phytoplancton le Léman est susceptible de se comporter comme un lac eutrophe. Malgré la nette baisse des concentrations en phosphore dans le lac, il n'a pas encore été relevé de diminution de la production algale. Ceci est en accord avec les études effectuées sur d'autres lacs qui ont montré qu'il est nécessaire d'abaisser ces concentrations en-dessous de 20 à 30 $\mu\text{g/l}$ pour limiter la croissance du plancton.

Mots clés : lac Léman, phosphore, oxygène dissous, eutrophisation, apports, assainissement, phosphates lessives.

SUMMARY

The water quality of Lake Lemman (Lake of Geneva), relatively good at the end of the fifties, has rapidly deteriorated, due to an increase of nutrient inputs. Eutrophication, resulting from increased phosphorus inputs, reached a critical stage during the period 1976 to 1979. The phosphorus concentration increased from 12 $\mu\text{g/l}$ in 1960 to 90 $\mu\text{g/l}$ during this period. Since 1980, a decline in the concentrations has been observed, i.e. 62 $\mu\text{g/l}$ (31 % less than the 1979 level).

Hydraulic paths of principle affluents seem to indicate that the major source of particulate phosphorus is erosion. However dissolved reactive phosphorus inputs, originating from anthropogenic sources, rose during the interval 1963 to 1975. On the other hand, from 1975, concentrations of dissolved reactive phosphorus have decreased by 56 %. This decline is attributed to tertiary wastewater treatment and to the ban on phosphates in detergents in Switzerland (01-07-1986), ca. 40 - 45 % being due to the latter.

The average transparency of water during the summer season (May - September) was found to diminish continuously since 1960. Under climatic conditions favorable for phytoplankton growth, the lake may behave like a eutrophic one.

The winter turnover seldom affects the entire water column of Lake Lemman because of its great depth (309 m). Near anoxia in the bottom waters was observed from 1976 to 1978 owing to incomplete turnover during the years 1972 to 1978 and to a substantial increase in the biomass in surface waters.

In spite of the decrease in phosphorus concentrations in the lake, no significant decrease in the algal production has been observed. These observations are in agreement with those in other lakes indicating that the phosphorus concentrations must be lowered below 20 to 30 $\mu\text{g/l}$ to inhibit plankton growth.

Key-words : Lake Lemman, phosphorus, dissolved oxygen, eutrophication, inputs, quality restoration, phosphate detergents.

INTRODUCTION

Le Léman est le plus grand lac d'Europe Occidentale. Le très grand volume du lac par rapport aux apports hydriques annuels des affluents fait que le temps de séjour théorique des eaux approche douze ans, ce qui est considérable.

La partie principale et la plus profonde du lac (Grand Lac, cf. figure 1) a une superficie de 503 km² et un volume de 86 km³.

Le lac est alimenté par quatre affluents principaux (figure 1) qui sont le Rhône (182 m³/s), la Dranse (23,2 m³/s), l'Aubonne (6,6 m³/s) et la Venoge (5,3 m³/s). Ces quatre rivières représentent environ 90 % des apports hydriques du bassin versant. Le Rhône et la Dranse sont deux rivières alpines à régime torrentiel ; par contre, l'Aubonne et la Venoge ont une origine karstique (résurgences au pied de la chaîne jurassienne/nord-ouest du lac).

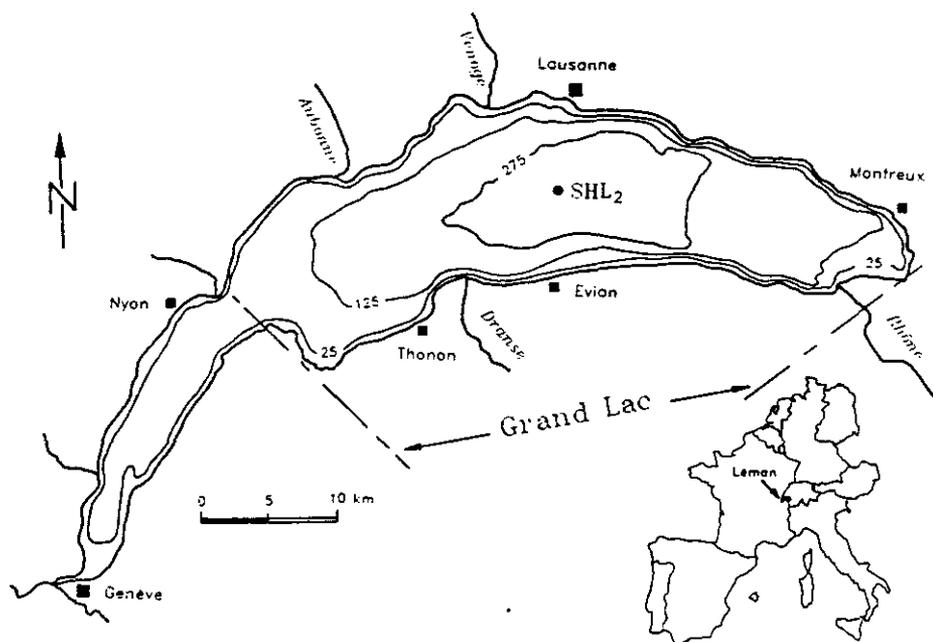


Figure 1. - Situation de la station d'échantillonnage (SHL2).

Figure 1. - Location of the sampling station (SHL2).

Quelques caractéristiques concernant le lac et son bassin versant

Lac Léman

Surface	582.4 km ²
Profondeur maximum	309.7 m
Profondeur moyenne	152.7 m
Volume	89.0 10 ⁹ m ³
Débit moyen à l'exutoire	244 m ³ /s
Temps de séjour théorique	11.9 ans

Bassin versant du lac Léman

Surface	7'975 km ²
Altitude moyenne	1'670 m
Altitude maximale	4'634 m
Population totale (sédentaire + tourisme)	1'280'000
Nombre de stations d'épuration	136
Pourcentage de la population raccordée à un système d'épuration (situation 01.01.1988)	= 80 %

Historique des principales études en relation avec le phosphore entreprises dans le bassin lemanique

Le lac Léman a fait l'objet de recherches et de surveillance systématique dès 1957 dans le cadre de l'Union Générale des Rhodaniens et dès 1960 pour le compte de la Commission Internationale pour la Protection des Eaux du Léman (C.I.P.E.L.).

Dès le début, les études ont reposé sur des analyses physico-chimiques des eaux du lac et sur l'évolution du phyto- et zooplancton.

Au vu de l'évolution défavorable de l'état du lac qui montrait des premiers signes d'eutrophisation, la Commission internationale a voulu en connaître l'origine et elle a fait entreprendre diverses études (CIPEL, 1984) :

- dès 1963, apports par les affluents ;
- dès 1971, études sur les rejets des principales stations d'épuration ;
- dès 1973, évaluation de la production primaire du lac ;
- dès 1976, examen des phénomènes de diffusion du phosphore à l'interface eau-sédiment ;
- dès 1981, détermination du stock de phosphore contenu dans les sédiments superficiels.

Dès 1986, les programmes de recherches et de surveillance ont été orientés de façon à pouvoir mettre au point une modélisation dynamique du cycle du phosphore dans le lac (FAHRNI et RAPIN, 1986) et à cet effet les flux de nutriments particuliers dans la colonne d'eau ont été déterminés (GANDAIS et VERNET, 1988 ; GANDAIS, 1989), ainsi que les concentrations dans l'eau des formes particulières du carbone organique, du phosphore et de l'azote organique (BLANC *et al.*, 1988).

Le but du présent article est de faire une synthèse de l'évolution des apports en phosphore au lac Léman, de l'impact des actions entreprises pour l'assainissement de son bassin versant et des réactions du lac.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Pour le lac, une station de mesure est utilisée depuis 1957. Elle est située dans la partie la plus profonde, au centre du Grand Lac, entre Evian et Lausanne (point : SHL 2, figure 1). Après diverses études, ce point a été admis comme représentatif du Grand Lac.

Profondeur et fréquence d'échantillonnage pour le lac

Le suivi de la qualité des eaux s'effectue aux profondeurs suivantes :

0 - 2.5 - 5 - 7.5 - 10 - 15 - 20 - 30 - 50 - 100 - 200 - 250 - 275 et 309 m.

De plus, pour suivre les phénomènes liés à l'état d'oxygénation des eaux du fond, les niveaux complémentaires suivants sont échantillonnés régulièrement depuis 1981 :

280 - 285 - 290 - 295 - 300 - 305 m.

Dès la même année, la fréquence des prélèvements correspond au cycle biologique du lac : mensuelle de décembre à février, mois où l'activité biologique est réduite ; bimensuelle de mars à novembre, où l'activité est intense et subit de fortes et rapides fluctuations ; soit 21 campagnes d'échantillonnage par année. Précédemment, la fréquence était mensuelle.

Les prélèvements sont effectués par l'Institut de Limnologie (INRA) de Thonon-les-Bains, qui procède également aux mesures "in situ".

Pour assurer une meilleure fiabilité des résultats, les échantillons prélevés sont analysés, pour les paramètres les plus importants, dans deux laboratoires (Institut de Limnologie de Thonon-les-Bains et Service des Eaux et de la Protection de l'Environnement - Lausanne).

Techniques et fréquence d'échantillonnage pour les rivières et les stations d'épuration

Initialement, l'échantillonnage des eaux des quatre affluents principaux du Léman (Rhône-Dranse-Venoge-Aubonne) était effectué de façon instantanée de une à quatre fois par mois.

Depuis 1975 pour le Rhône, 1976 pour la Dranse et 1980 pour la Venoge et l'Aubonne les prélèvements sont effectués en continu, avec volumes échantillonnés proportionnellement au débit, et intégrés sur une semaine.

Pour les stations d'épuration, seuls les résultats de ces dernières années sont réellement représentatifs et utilisables, soit depuis que la fréquence d'échantillonnage en continu est devenue suffisante. Pour les six principales stations (= 400'000 hab. raccordés), la fréquence des prélèvements "entrée-sortie" va de 110 à 348 échantillons de 24 heures par année. Pour les plus petites, cette fréquence est de 4 à 50 échantillons par année.

Méthodes analytiques pour le phosphore

Le phosphore est dosé selon la méthode standard AFNOR (Association Française de Normalisation) :

- dosage des orthophosphates selon MURPHY et RILEY (1962) ;
- phosphore total dosé selon la même méthode, mais après minéralisation au persulfate en autoclave, en milieu acide.

En fonction de leur disponibilité potentielle pour les végétaux, les formes du phosphore particulaire dans les apports ont été déterminées selon la méthode proposée par WILLIAMS *et al.* (1978), modifiée, d'après VIEL (1983). Cette technique permet de mettre en évidence trois formes de phosphore particulaire, soit :

1. phosphore particulaire inorganique non apatitique : PINA
2. phosphore particulaire organique : POP
3. phosphore particulaire inorganique apatitique : PIA

Les deux premières formes du phosphore peuvent être mises à disposition des végétaux lors de variations des conditions d'oxydo-réduction et/ou par l'activité bactérienne. Par contre, la forme apatitique est inerte du fait de la très faible solubilité de ce minéral, elle ne participe donc pas au phénomène d'eutrophisation.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Evolution des principaux paramètres dans le lac

Les éléments majeurs liés à la géologie du bassin versant n'ont pas évolué de façon significative depuis que des analyses régulières sont effectuées. Le calcium qui est le cation majoritaire provenant à la fois de la dissolution des carbonates et des roches sulfatées n'a pas subi de variation de concentration significative depuis 1963 (figure 2). La conductivité électrique qui est en relation directe avec la minéralisation totale des eaux reste constante depuis 1960 (figure 2). Des analyses plus anciennes confirment aussi cette stabilité (MEYBECK, 1970).

En revanche, les éléments et composés nutritifs (azote et phosphore) très liés à l'activité humaine (rejets physiologiques, agriculture, élevage et industrie) ont subi de fortes augmentations de leurs concentrations depuis le début des années 60 (figure 2), il en est de même de

certaines éléments conservatifs, tels les chlorures dont l'origine est liée à l'activité ménagère, industrielle et au salage des routes.

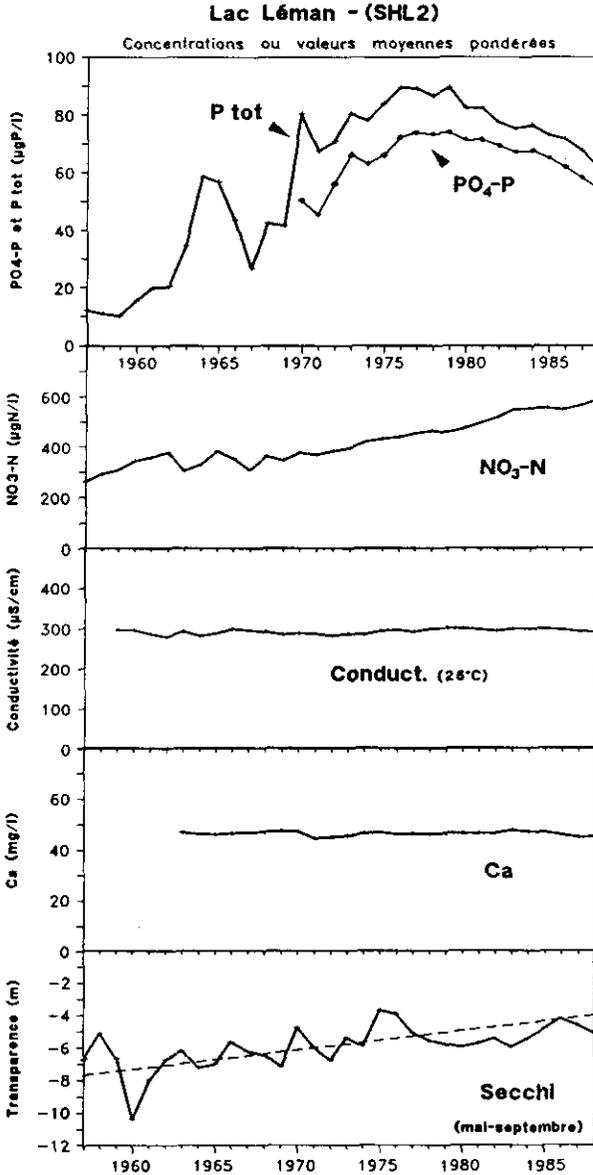


Figure 2. - Léman (Grand Lac) - Concentrations ou valeurs moyennes pondérées.

Figure 2. - Léman (Grand Lac) - Average concentrations.

Dans le lac, le phosphore dissous (orthophosphates) est la forme la plus abondante, elle représente en moyenne 88 % du phosphore total.

De 10 µg/l avant 1960, la concentration moyenne du phosphore total dans le lac s'est accrue jusqu'à 90 µg/l en 1979. Depuis cette époque, le phosphore total a amorcé une baisse régulière (figure 2) pour arriver en 1988 à 62 µg/l, soit une décroissance de 31 %.

La transparence estivale moyenne (mai-septembre), qui est l'indice de production végétale le plus aisé à mesurer, passe de 7,5 m au début des années 60 à 4 m en 1986. A l'époque de F.A. FOREL en 1874-1891, celle-ci était de 7,3 m (FOREL, 1892-1904).

Dans la couche trophogène l'oxygène, lié à la production primaire du phytoplancton, peut présenter de fortes sursaturations (un maximum de 200 % a été observé le 20 mai 1986). En profondeur, l'importance de la biomasse provoque une forte consommation de l'oxygène dissous. La vitesse de consommation de l'oxygène au fond du lac entre le maximum hivernal après brassage et le minimum automnal est devenu de plus en plus rapide au cours de ces trois dernières décennies (figure 3). La période la plus critique a été observée de 1976 à 1978 suite à l'absence de brassage hivernal durant les années 1972 à 1978, qui n'a pas permis de réoxygéner les eaux profondes. Les conditions étaient alors proches de l'anoxie.

Depuis une série d'hivers bénéfiques a permis la réoxygénation des couches profondes. Cependant la situation reste précaire comme le montre la figure 3. Des années sans brassage (1982-1983 ou 1986-1987) suffisent à créer de mauvaises conditions d'oxygénation au fond (par exemple 2,5 mg/l le 5 octobre 1987).

Evolution des apports en phosphore et rôle de l'assainissement dans le bassin versant

Des quatre principaux affluents du Léman, le Rhône représente près de 90 % des apports en phosphore total et 70 % des apports en phosphore dissous. BURRUS (1984) a montré que dans le Rhône, 85 % du phosphore particulaire est sous forme apatitique et que le flux de cette forme de phosphore est en relation directe avec le débit pour les années 1982 et 1983.

La figure 4 montre que pour le flux de phosphore particulaire total, pour les années 1963 à 1987, on obtient le même type de relation avec le débit. Par contre, le flux de phosphore dissous est indépendant du débit (figure 5).

La figure 6a met en évidence une grande variabilité interannuelle des apports en phosphore total qui, comme on l'a vu ci-dessus, sont directement dépendants des variations de débits.

L'évolution des apports en phosphore dissous (figure 6a), qui eux ne sont pas dépendants du débit, peut être décomposée en trois périodes :

- une période d'augmentation de 1964 à 1966 que l'on peut relier à l'augmentation de la population, à la construction des réseaux d'égouts avec rejets directs dans les rivières et surtout à l'introduction des produits de nettoyage phosphatés, la consommation globale des tripolyphosphates en France ayant triplé pendant les années 1960 (BENNETON, 1984) ;

Lac Léman - (SHL2) (-309 m.)

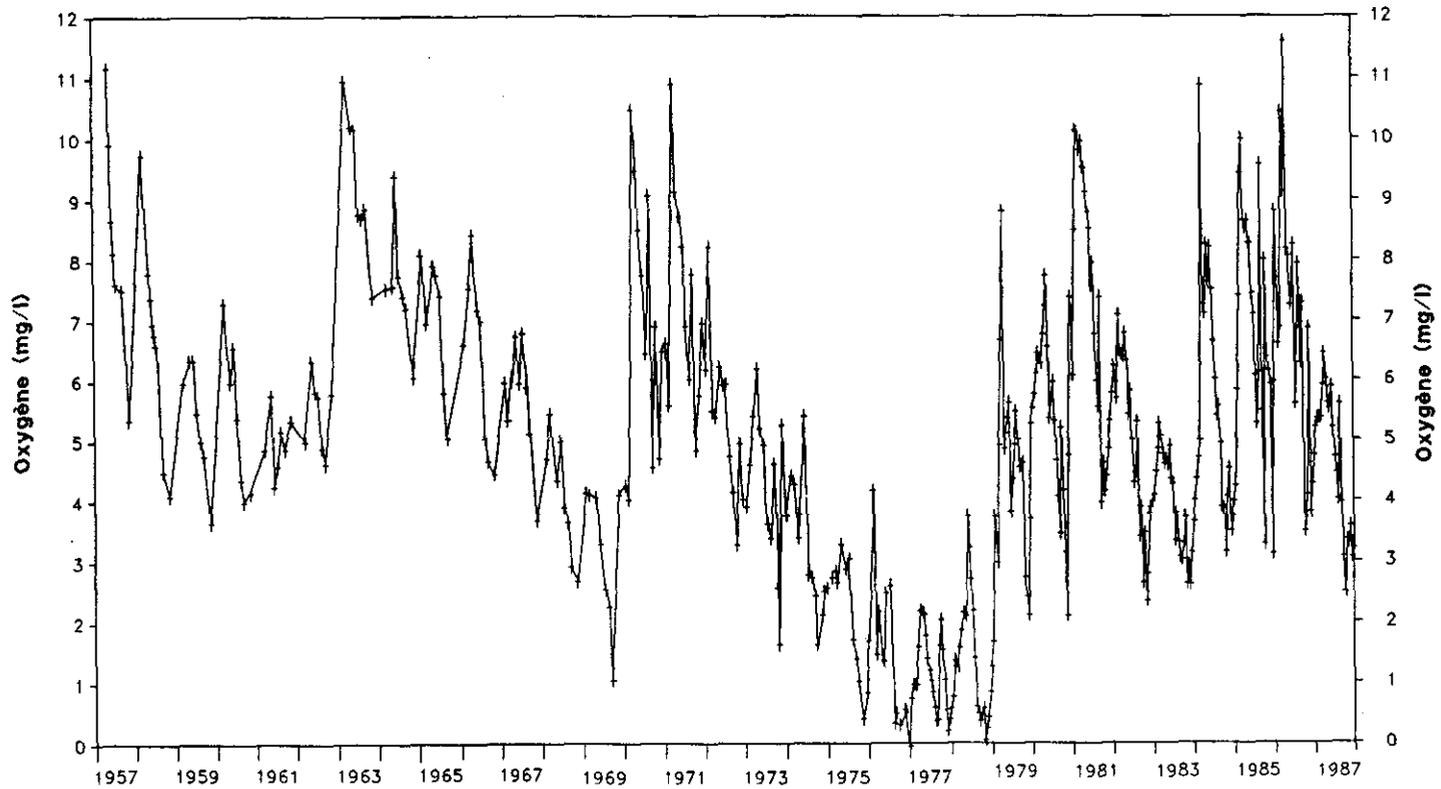


Figure 3. - Evolution de la concentration en oxygène dissous au fond du Léman - Station SHL2 (- 309 m).
 Figure 3. - Evolution of the dissolved oxygen concentrations in bottom waters - Station SHL2 (- 309 m).

- . une période d'apports élevés jusqu'en 1975 ;
- . une période de décroissance continue dès 1976 qui est à mettre en relation avec la construction des stations d'épuration pratiquant la déphosphatation (figure 6b) qui a fortement progressé entre 1975 et 1981.

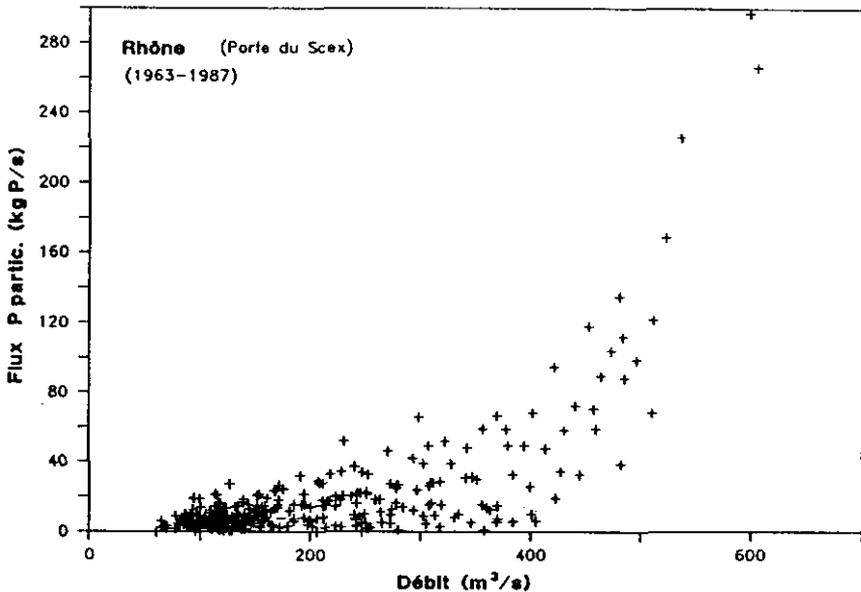


Figure 4. - Evolution du flux de phosphore particulaire en fonction du débit pour le Rhône (1963-1987).

Figure 4. - Evolution of particulate phosphate inputs in relation to the flow rate of the Rhone River.

Plus récemment les phosphates ont été interdits dans les produits de lavage textiles en Suisse (1er juillet 1986). Cette mesure s'est marquée de façon spectaculaire sur les charges en phosphore dans les réseaux d'égouts du bassin versant qui ont baissé de près de 50 % suite à cette interdiction (figure 7). Cette mesure a fait baisser d'environ 40 % les apports en phosphore dissous par les rejets des stations d'épuration et des déversoirs d'orage pour l'ensemble du bassin versant lémanique (figure 8).

Si l'on étudie séparément les apports dans les quatre affluents principaux (figure 9), on constate une diminution dans les rivières du bassin versant suisse (Rhône, Venoge, Aubonne) et au contraire une légère augmentation dans la Dranse qui draine le Chablais français.

Influence des apports sur les teneurs en phosphore dans le lac

Il n'est pas possible de mettre en relation l'évolution des concentrations en phosphore dans le lac avec les variations des apports en phosphore total (figures 2 et 6a). Par contre, pendant la période des apports en phosphore dissous les plus importants (1965 à 1976) on relève

une augmentation continue des concentrations en phosphore dans le lac. Dès la décroissance de ces apports (dès 1976), on observe une stabilisation puis une diminution des stocks dans le lac. Cette baisse s'accroît dès 1987 (6 %) pour atteindre 9 % en 1988. Cette accélération de la décroissance peut raisonnablement être mise en relation avec l'interdiction des phosphates dans les produits de lavage des textiles en Suisse.

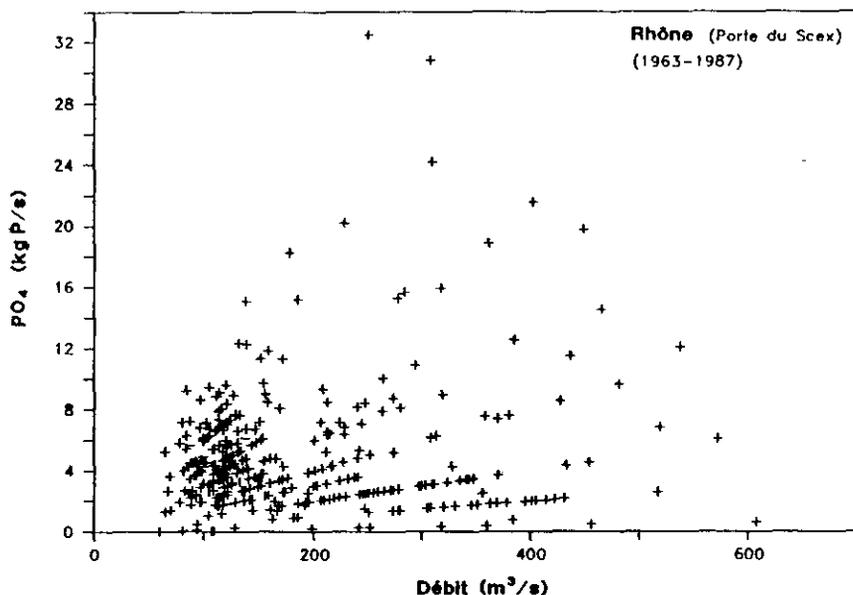


Figure 5. - Evolution du flux de phosphore dissous (PO_4) en fonction du débit pour le Rhône (1963-1987).

Figure 5. - Evolution of dissolved phosphorus inputs in relation to the flow rate of the Rhone River.

Le pic des concentrations en phosphore dans le lac observé en 1964-1965 pourrait correspondre à des hivers très rigoureux provoquant un brassage très violent ayant pu remettre en suspension des sédiments fins du fond. Le pic de 1970 pourrait être expliqué par un brassage complet succédant à une période de plusieurs années sans brassage accompagnée de la première désoxygénation grave mesurée dans les eaux profondes (1,05 mg/l le 16 septembre 1969), conditions favorables à un relargage de phosphore fixé dans le sédiment.

L'évolution du stock de phosphore dans les eaux du lac semble donc liée à la seule fraction dissoute des apports en phosphore. Ce phénomène peut s'expliquer dans le cas du Léman par la dominance de la forme apatitique (80 %) dans les apports en phosphore particulaire. Cette forme n'étant pas susceptible d'être solubilisée elle ne participe donc pas aux phénomènes de remobilisation.

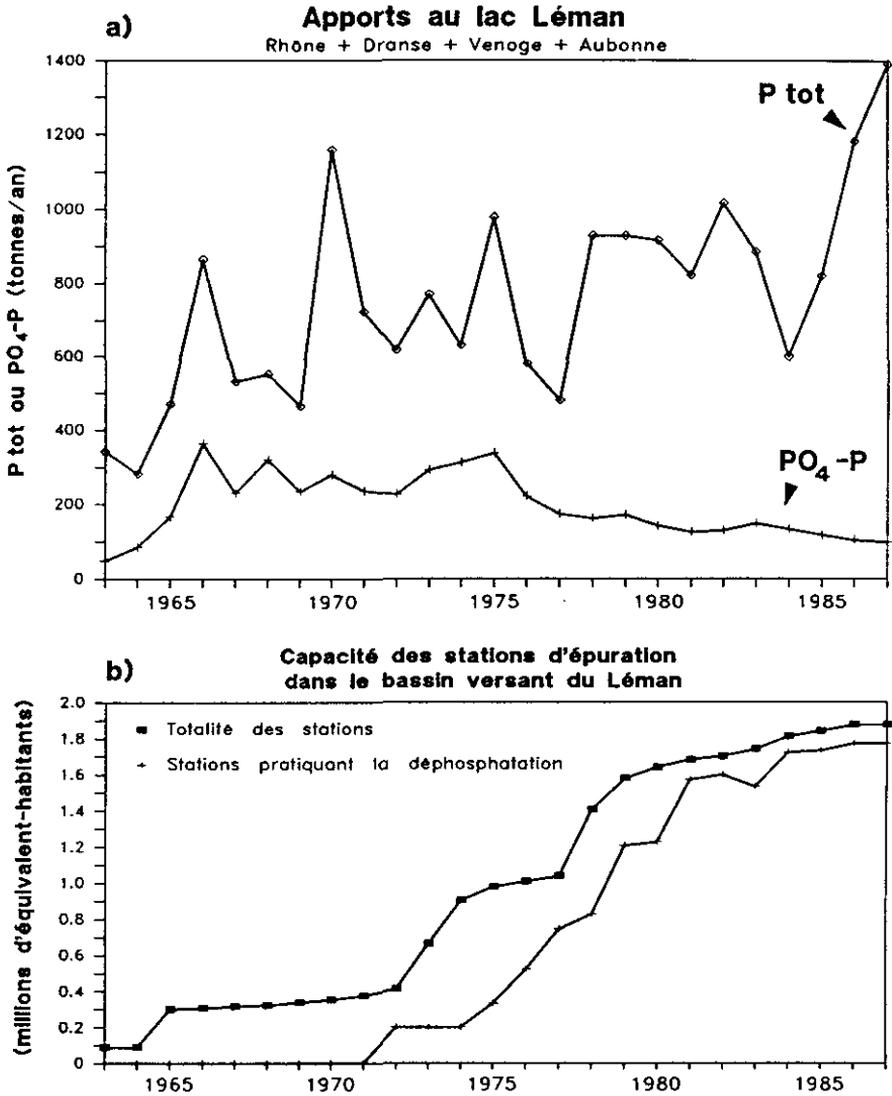


Figure 6a. - Apports en phosphore total et en phosphore dissous (PO_4) au Léman par les 4 affluents principaux.

Figure 6b. - Evolution de la capacité des stations d'épuration.

Figure 6a. - External total and dissolved reactive phosphorus loading from the 4 main tributaries.

Figure 6b. - Evolution of wastewater treatment plants capacity.

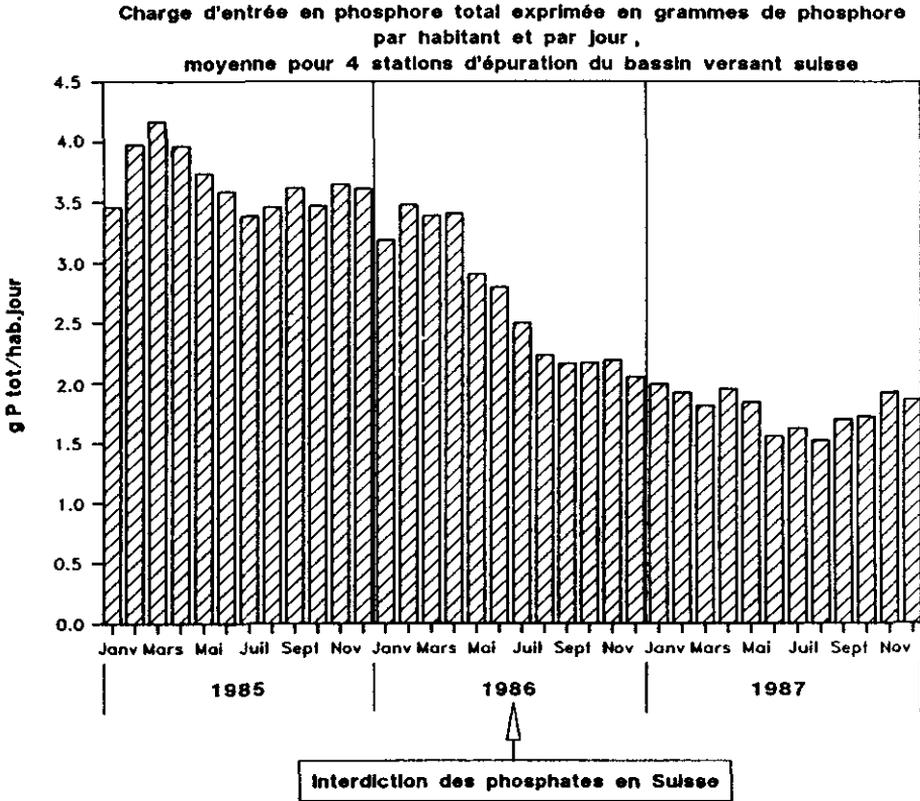


Figure 7. - Moyenne des charges d'entrée en phosphore total de 4 stations d'épuration suisses.

Figure 7. - Average loading inputs in total phosphorus for 4 wastewater treatment plants in Switzerland.

Evolution de l'eutrophisation dans le lac

L'observation de la transparence estivale moyenne (figure 2) montre une diminution sensible de la fin des années 50 jusqu'aux années 80. Cette évolution est le résultat de l'augmentation des biomasses algales ayant son origine dans l'accroissement des concentrations en substances nutritives, notamment le phosphore.

La baisse de concentration du phosphore depuis 1980 n'a pas encore conduit à une amélioration sensible du niveau trophique dans ses manifestations liées au phytoplancton. En effet la concentration du phosphore est encore plus que suffisante pour permettre une production primaire élevée et ceci d'autant plus que des facteurs climatiques favorables à la production des algues peuvent intervenir : températures printanières élevées permettant un démarrage précoce et un niveau élevé de la production. Simultanément, des conditions hydrodynamiques caractérisées par une agitation modérée des eaux superficielles peuvent permettre de donner à la couche trogène tout à la fois un calme favorable au développement algal et une agitation suffisante pour que le thermocline ne

s'établit pas très nettement, permettant une réalimentation des couches superficielles en éléments fertilisants après leur consommation lors des périodes de forte croissance. Ces situations se sont présentées lors des années 1986 et 1987.

**Apports de phosphore dissous par les stations
d'épuration et les déversoirs d'orage
dans le bassin hydrographique du Léman**

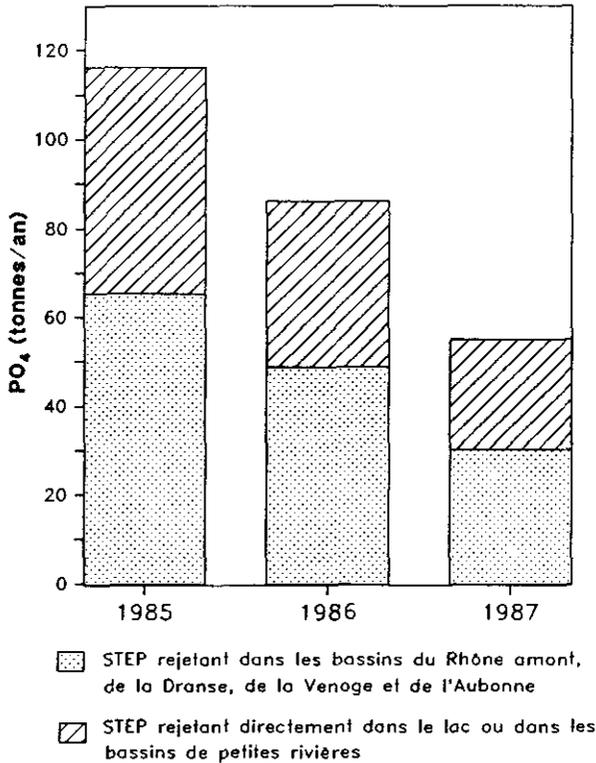


Figure 8. - Apports de phosphore dissous (PO_4) par les stations d'épuration et les déversoirs d'orage dans le bassin hydrographique du Léman.

Figure 8. - Dissolved reactive phosphorus loading from sewage treatment plants and sewer overflows in watershed of Lake Lemman.

Si l'on se réfère aux études effectuées sur d'autres plans d'eau ayant subi des actions d'abaissement de leurs teneurs en phosphore par divers procédés, on peut constater avec UTTOMARK et HUTCHINS (1980) que des baisses réelles du niveau trophique ne sont généralement obtenues que si les concentrations en phosphore sont ramenées aux environs de $20 \mu\text{g/l}$. Pour le lac Washington (EDMONDSON et LEHMAN, 1981), qui est l'un des exemples les plus typiques de réhabilitation par détournement des apports d'eaux usées, on ne relève une diminution sensible des concentrations en chlorophylle que lorsque les concentrations en phosphore sont inférieures à $30 \mu\text{g/l}$.

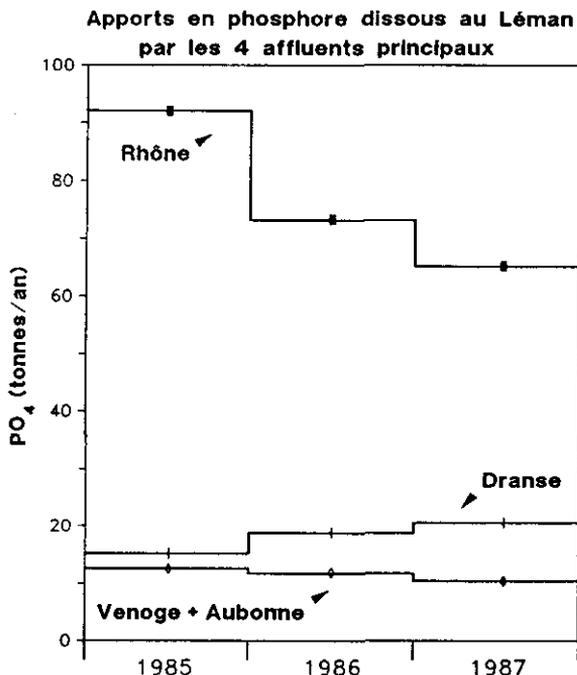


Figure 9. - Apports en phosphore dissous (PO₄) au Léman par les 4 affluents principaux.

Figure 9. - External dissolved reactive phosphorus loading from the 4 main tributaries.

Dans les grands lacs nord-américains (lac Erié et lac Ontario), il a été observé (COMMISSION MIXTE INTERNATIONALE, 1987) une bonne corrélation entre les teneurs en chlorophylle et en phosphore total lors de l'abaissement de ces dernières. Cependant, les concentrations initiales en phosphore étaient très basses (25 µg/l) comparées à celles du Léman.

Pour le lac de Constance dont les concentrations en phosphore ont subi une évolution identique à celles du Léman depuis les années 60, les productions algales sont actuellement très élevées et l'on ne note pas de diminution de celles-ci bien que la concentration en phosphore ait été abaissée de 87 µg/l en 1979 à 58 µg/l en 1987 (INTERNATIONALE GEWASSERSCHUTZKOMMISSION FÜR DEN BODENSEE, 1988).

CONCLUSIONS

L'eutrophisation progressive des eaux du Léman dès les années 60 amène le lac à un état critique à la fin des années 70.

Depuis 1979, on constate une baisse régulière des concentrations du phosphore dans ses eaux. Les concentrations suivent l'évolution des apports en phosphore dissous (PO₄). Cette amélioration résultant des

efforts entrepris pour l'assainissement du bassin versant est amplifiée dès 1987 par l'interdiction des phosphates dans les lessives en Suisse. Cette mesure a provoqué une très nette chute des apports en phosphore dans les rejets des réseaux d'assainissement (déversoirs d'orage et rejets d'eaux traitées par les stations d'épuration) dans le bassin versant helvétique.

La baisse de 31 % des concentrations en phosphore dans le lac depuis 1979 n'a pas encore eu d'effet significatif sur la production algale.

Le comportement biologique du lac durant ces dernières années montre que la teneur en phosphore est encore beaucoup trop élevée et qu'il se comporte comme un lac eutrophe lorsque les conditions climatiques sont favorables à la croissance du phytoplancton.

Comme conséquence de cette croissance algale trop importante, la minéralisation des détritiques en profondeur provoque une forte consommation d'oxygène. Pour maintenir des conditions d'oxygénation correctes (> 4 mg/l) des eaux du fond, il est actuellement nécessaire d'avoir un brassage complet chaque hiver. Dans le cas du Léman, cette condition n'est pas assurée du fait de sa grande profondeur.

Les observations effectuées sur les lacs ayant été soumis à des mesures de réhabilitation par diminution des apports en éléments nutritifs ont montré qu'il n'était possible de limiter la production algale que si les concentrations en phosphore dans le lac étaient abaissées en dessous de 20 à 30 µg/l. Un essai de modélisation du cycle du phosphore dans le Léman (FAHRI et RAPIN, 1986) a prévu qu'avec l'état de l'assainissement actuel et l'interdiction des phosphates dans les produits de lavage des textiles on atteindrait des concentrations en phosphore dans le lac de l'ordre de 40 à 50 µg/l en 1995.

En conséquence, il est indispensable de compléter les mesures actuelles afin d'accélérer la décroissance des apports en phosphore soluble de toutes origines : industrielles, ménagères et agricoles.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BENNETON J.P. (1984). Eutrophisation des plans d'eau. Inventaire des principales sources de substances nutritives azotées et phosphorées. Etude bibliographique. Rapp. de recherche LPC, No 130. Labo. Central des Ponts et Chaussées, Paris, 72 p.

BLANC P., CORVI C., RAPIN F. (1988). Evolution physico-chimique des eaux du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1987 : 25-46.

CIPEL (1984). Le Léman, Synthèse 1957-1982. Ed. par Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Lausanne, 650 p.

CIPEL (1988). Rapport de l'étude des pollutions d'origine diffuse dans le bassin lémanique. Ed. par Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Lausanne, 127 p.

COMMISSION MIXTE INTERNATIONALE (1987). Rapport de 1987 sur la qualité de l'eau des Grands Lacs. Ed. par Comm. mixte int., Conseil de la Qualité de l'Eau des Grands Lacs, Windsor (Ontario), 230 p.

EDMONDSON W.T., LEHMAN J.T. (1981). The effect of changes in the nutrient income on the condition of Lake Washington. *Limnol. Oceanogr.*, 26/1 : 1-29.

- FAHRNI H.P., RAPIN F. (1986). Modélisation du cycle du phosphore dans le Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1985 : 153-190.
- FOREL F.A. (1892-1904). Le Léman Monographie limnologique. Ed. par : F. Rouge, Lausanne, T. 1 : 543 p. (1892), T. 2 : 561 p. (1895), T. 3a et b : 715 p. (1904).
- GANDAIS V., VERNET J.P. (1988). Détermination des flux de nutriments sous forme particulaire dans le Léman à l'aide de trappes à sédiments. Rapp. Comm. Int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1987 : 97-118.
- GANDAIS V. (1989). Origine et variations spatio-temporelle des flux de matière particulaire au centre du Léman. Thèse Fac. Sci., Univ. Genève, 112 p.
- INTERNATIONALE GEWÄSSERSCHUTZKOMMISSION FÜR DEN BODENSEE (1988). Limnologischer Zustand des Bodensees. *Jber. Int. Gewässerschutzkomm. Bodensee*, 14, 68 p.
- MEYBECK M. (1970). Bilan hydrochimique et géochimique du lac Léman. Thèse 3ème cycle, Univ. Paris VI, 245 p.
- MURPHY J.U., RILEY J.P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analyt. Chim. Acta.*, 27 : 31-36.
- UTTOMARK P.D., HUTCHINS M.L. (1980). Input/output models as decision aids for lake restoration. *Water Res. Bull.*, 16 : 494-500.
- VIEL M. (1983). Etude sédimentologique et géochimique des dépôts récents du lac Majeur. Thèse No 2083, Fac. Sci., Univ. Genève, 129 p.
- WILLIAMS J.D.H., JAQUET J.M., VERNET J.P. (1978). Influence des rejets de deux stations d'épuration sur la teneur en phosphore des sédiments côtiers du Léman. *Schweiz. Z. Hydrol.*, 40 (2) : 361-373.