

# ÉVOLUTION PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DU LÉMAN

Campagne 1997

PAR

**Paul BLANC**

INSTITUT DE LIMNOLOGIE (INRA), BP 511, F - 74203 THONON-LES-BAINS

**Claude CORVI et Sophal KHIM-HEANG**

SERVICE DU CHIMISTE CANTONAL, CP 166, CH - 1211 GENÈVE 4

**François RAPIN**

COMMISSION INTERNATIONALE POUR LA PROTECTION DES EAUX DU LÉMAN  
CP 80, CH - 1000 LAUSANNE 12

## RÉSUMÉ

*Pour la onzième année consécutive, un hiver relativement doux n'a pas permis une homogénéisation thermique de l'ensemble des eaux du Grand Lac. On peut estimer que la circulation hivernale des eaux n'a atteint que 100 mètres de profondeur et par conséquent la réoxygénation totale des eaux profondes n'a pas été réalisée. Conséquence de cette situation défavorable, la concentration maximale en oxygène des eaux du fond du Grand Lac en février 1997 est d'environ 2.25 mgO<sub>2</sub>/l et chute à 0.20 mgO<sub>2</sub>/l en fin d'année, mais n'entraîne pas, comme dans les années 70, d'augmentation importante des teneurs en phosphore dans les zones de fond.*

*Par contre, l'homogénéisation thermique et le brassage total des eaux ont eu lieu comme chaque année dans le Petit Lac.*

*Une transparence de 17.5 mètres est mesurée en février, cette valeur est la plus élevée observée depuis 1990.*

*L'activité biologique a débuté fortement dès mi-mars. La consommation importante des orthophosphates (phosphore dissous) a concerné la couche 0-20 m dès début mai. Il faut souligner que le phosphore dissous est à des teneurs presque nulles dans les 30 premiers mètres de juin jusqu'à mi-décembre, ce qui est exceptionnel. Ceci est à mettre en relation avec le développement d'algues filamenteuses dans la 2e partie de l'année.*

*En 1996, il n'était pas relevé de diminution significative du stock de phosphore dans les eaux du lac. Par contre, en 1997, on retrouve l'évolution nette à la baisse (- 8 % par rapport à 1996). Le stock, dans le Grand Lac, est de 3'230 tonnes de phosphore total contre 3'505 tonnes l'année précédente. Les concentrations moyennes annuelles sont de 38 µgP/l pour le phosphore total et de 34 µgP/l pour les orthophosphates. Ces teneurs restent encore trop élevées pour éviter les proliférations algales.*

*La stabilité des teneurs en azote nitrique se poursuit depuis quelques années.*

*Les concentrations de mercure, plomb, cadmium, chrome, cuivre, manganèse et fer ont été déterminées, à différentes profondeurs, dans les eaux du Léman après brassage hivernal et pendant la période de stagnation. Les teneurs demeurent faibles et satisfont pleinement aux exigences requises pour l'eau potable et la vie piscicole.*

*Des recherches et dosages de différentes familles de phytosanitaires, d'acide nitrilo-triacétique (NTA) et d'acide éthylène-diamine-tétracétique (EDTA) ont également été effectués. Des traces d'herbicides, atrazine, simazine et terbutylazine sont observées. Les concentrations mesurées sont inférieures aux exigences requises pour l'eau potable. Les concentrations en NTA et EDTA des eaux du lac demeurent faibles, sans évolution significative depuis 1988.*

## 1. MÉTHODES

Les stations de mesure des paramètres physico-chimiques, représentées sur la figure 1, sont les suivantes :

- . SHL 2 au centre du Grand Lac entre Evian et Lausanne (coord. : 534.70/144.95) et correspond à la partie la plus profonde du lac (- 309.7 m),
- . GE 3 au centre du Petit Lac dans la fosse de Chevrens entre Coppet et Chevrens (coord. : 506.10/128.04) (- 71 m).

La station SHL 2 est admise comme représentative du Grand Lac au point de vue physico-chimique quant à l'évolution à long terme (BLANC et al., 1993).

- ***Profondeurs et fréquence d'échantillonnage - station SHL 2 (Grand 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, 150, 200, 250, 275, 290, 300, 305 et 309 m.

La fréquence des prélèvements est adaptée au cycle biologique du lac. Elle est prévue : mensuelle de décembre à février, mois pendant lesquels l'activité biologique est réduite; bimensuelle de mars à novembre, lorsque l'activité est intense et subit de fortes et rapides fluctuations. Il y a eu 21 campagnes de prélèvements en 1997.

Les prélèvements sont effectués, selon des techniques uniformisées, par l'Institut de Limnologie de Thonon-les-Bains, qui procède également à diverses mesures "*in situ*".

Les échantillons sont prélevés en double et analysés séparément, pour les paramètres les plus importants, dans deux laboratoires : Institut de Limnologie de Thonon-les-Bains (INRA) et Service des Eaux et de la Protection de l'Environnement à Epalinges (SEPE). La validité des résultats est périodiquement testée par des analyses interlaboratoires auxquelles participent environ 20 laboratoires. En 1997, les résultats analytiques sont concordants.

De plus, lors de chaque campagne, des profils verticaux (mesures à chaque mètre) de température, oxygène dissous, conductivité électrique, pH, turbidité et chlorophylle *in vivo* sont réalisés à l'aide d'une sonde multiparamètres immergeable (BLANC et al., 1994).

Les micropolluants sont recherchés, à certaines profondeurs, après circulation des eaux (mars) et en période de stratification (septembre). Les éléments suivants ont été dosés : fer, manganèse, plomb, cadmium, chrome, cuivre et mercure.

La recherche d'herbicides décelés antérieurement dans les eaux du Léman ainsi que quelques dosages d'EDTA et de NTA ont également été effectués. Nous avons également recherché d'autres produits phytosanitaires : des insecticides et fongicides chlorés, des insecticides organophosphorés et d'autres herbicides du type triazine ou des dérivés de l'urée. La liste des produits recherchés est donnée en annexe 1. La méthodologie analytique est décrite dans CORVI et KHIM (1996).

- ***Profondeurs et fréquence d'échantillonnage - station GE 3 (Petit Lac)***

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

0 - 2.5 - 5 - 7.5 - 10 - 15 - 20 - 30 - 50 et 70 m.

La fréquence des prélèvements est mensuelle.

Les prélèvements et les analyses sont effectués, également selon des techniques uniformisées, par le Service cantonal d'écotoxicologie de Genève.

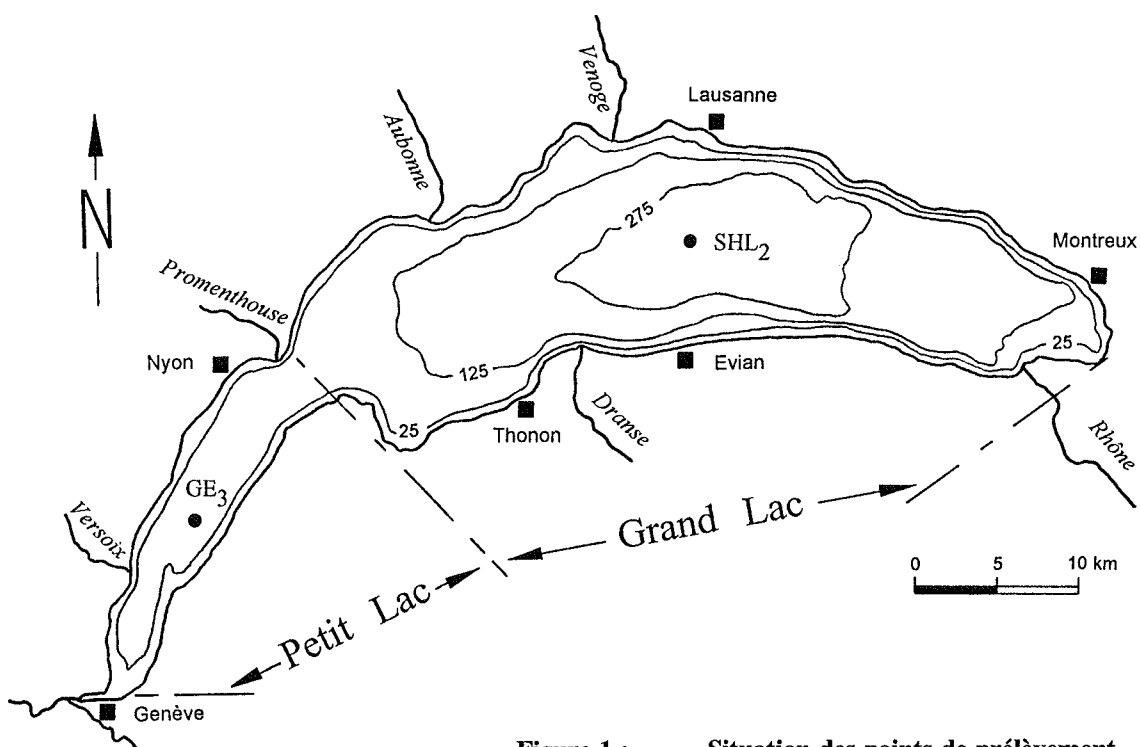


Figure 1 : Situation des points de prélèvement

## 2. RÉGIME THERMIQUE ET INFLUENCE SUR LA STRATIFICATION OU LE MÉLANGE DES EAUX

Les températures moyennes de l'air des mois de janvier à mars 1997 (figure 2) (ORAND et GAGNAIRE, 1998) sont particulièrement élevées. Le brassage hivernal du lac n'a concerné que la zone 0 à 100 m de profondeur environ en fin février-début mars 1997. L'oxygène des eaux du fond reste durant cette période à environ 2.25 mgO<sub>2</sub>/l.

Dans la couche profonde, le réchauffement amorcé depuis 1987 se poursuit (figure 4).

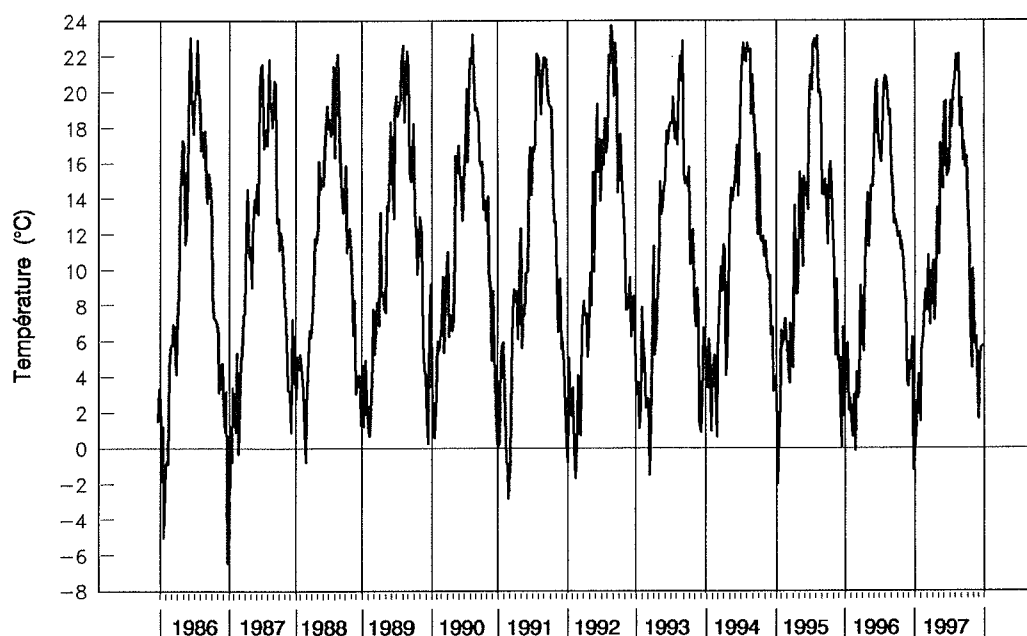


Figure 2 : Température moyenne hebdomadaire de l'air (à la station de Pully)

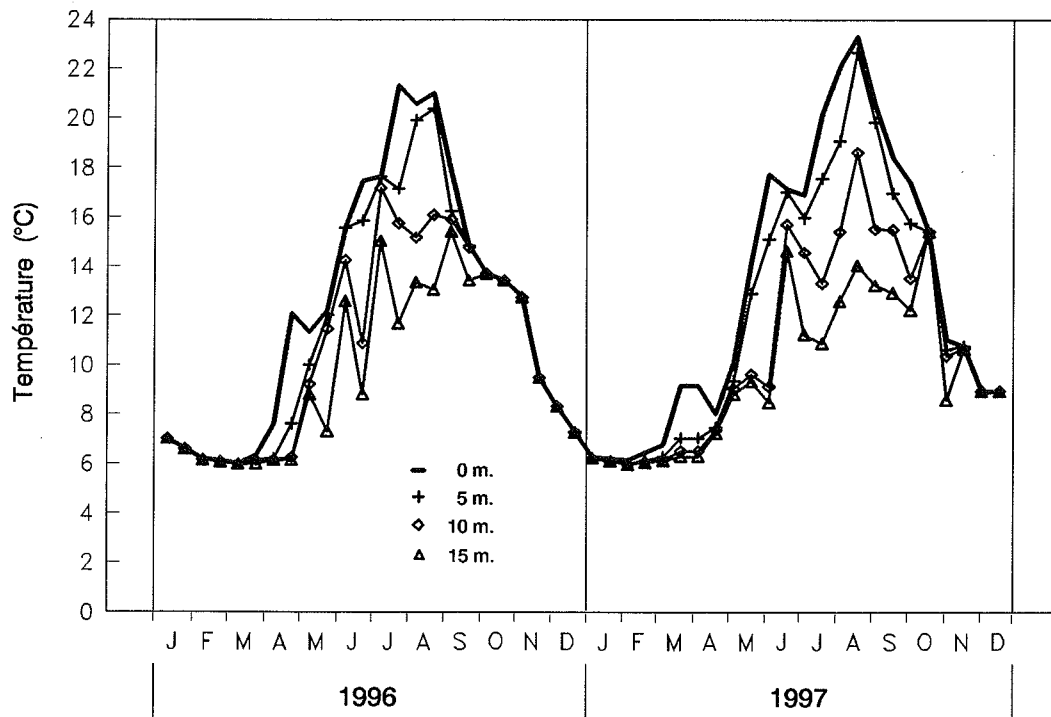


Figure 3 : Température de l'eau des couches superficielles Léman - Grand Lac (SHL 2)

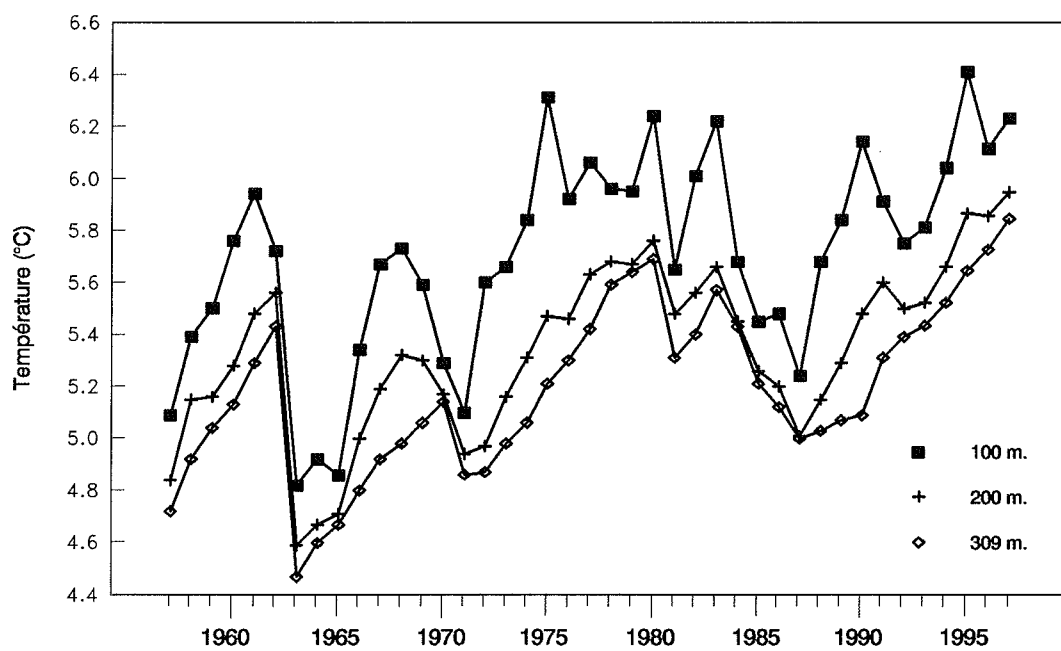


Figure 4 : Evolution de la température moyenne annuelle de l'eau du Léman - Grand Lac à 100, 200 et 309 mètres de profondeur

### 3. ÉVOLUTION SAISONNIÈRE DANS LES COUCHES SUPERFICIELLES

- *Reprise de l'activité photosynthétique au printemps*

La conséquence du brassage hivernal limité cette année est un renouvellement moindre des nutriments, en provenance de la zone profonde.

La transparence maximale de 17.5 m en février 1997 est la plus élevée observée depuis 1990.

La reprise de l'activité photosynthétique a été très précoce (lors de la 2e quinzaine de mars 1997). La transparence a chuté à 2.1 m le 17 mars, s'accompagnant dans la couche 0-5 m de la consommation quasi-totale du phosphore dissous ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) et de la silice dissoute, ainsi que d'une baisse notable des nitrates à  $300 \mu\text{gN/l}$  (figures 5, 6, 7 et 8).

Un refroidissement avec brassage superficiel lors de la 2e quinzaine d'avril (figure 3) a permis un réapprovisionnement en nutriments des couches superficielles. Il faut attendre le début mai pour observer un réchauffement notable dans ces couches.

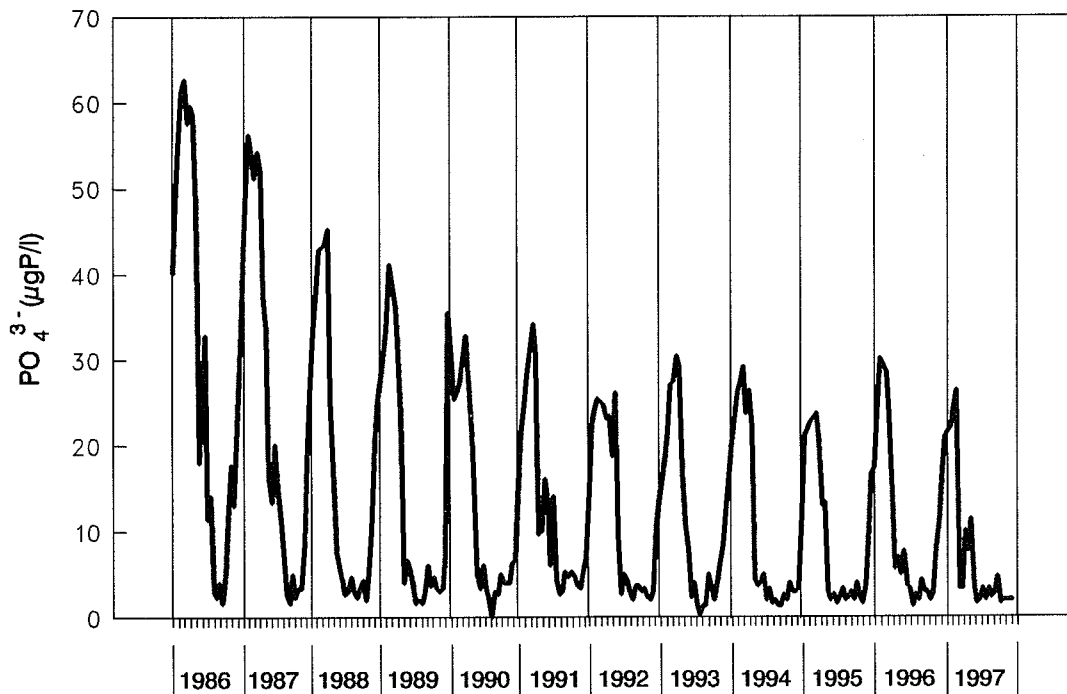


Figure 5 : Concentration en phosphore dissous ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) des eaux de la couche superficielle (moyenne 0-10 m), Léman - Grand Lac (SHL 2)

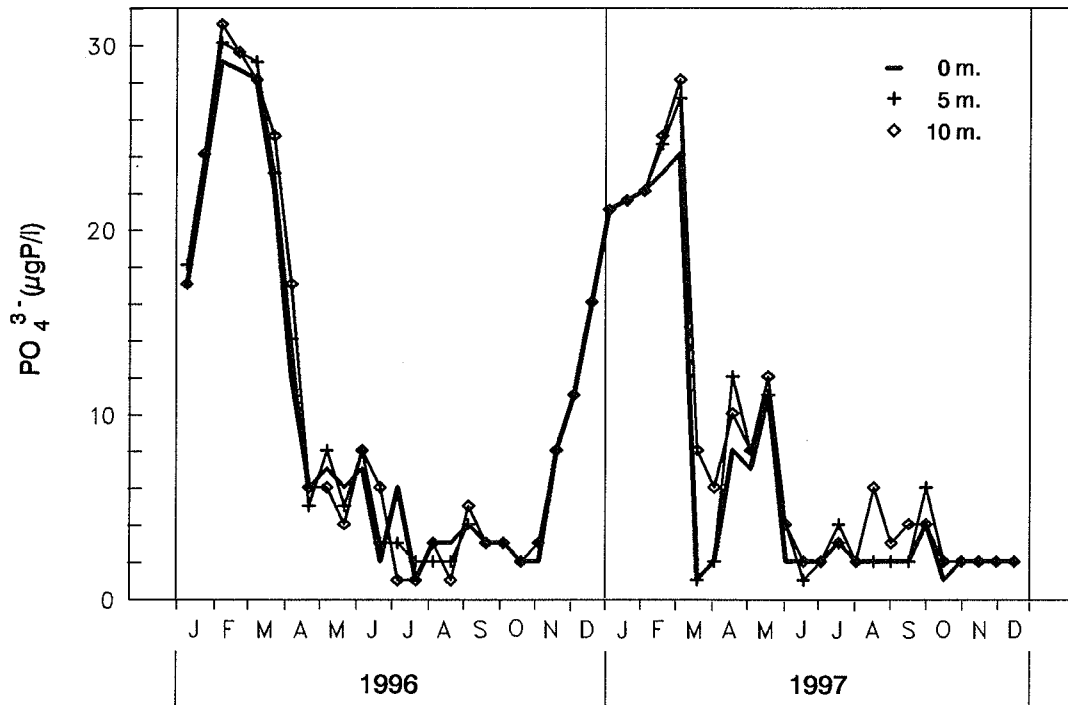


Figure 6 : Concentration en phosphore dissous ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) des eaux des couches (0, 5 et 10 m), Léman - Grand Lac (SHL 2)

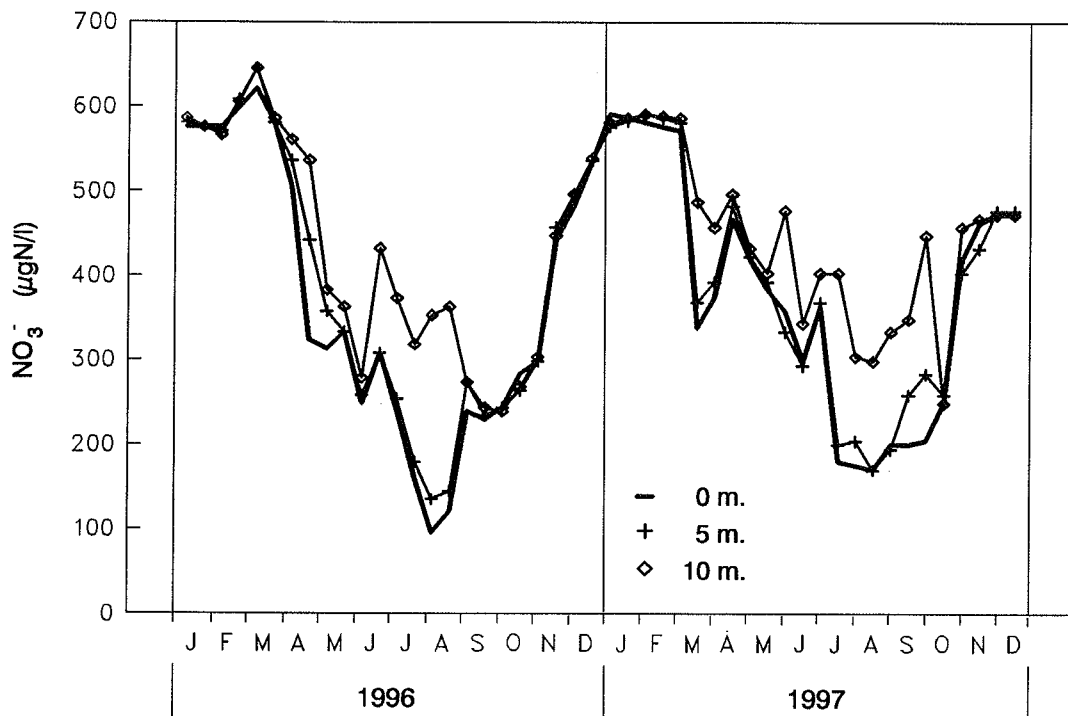
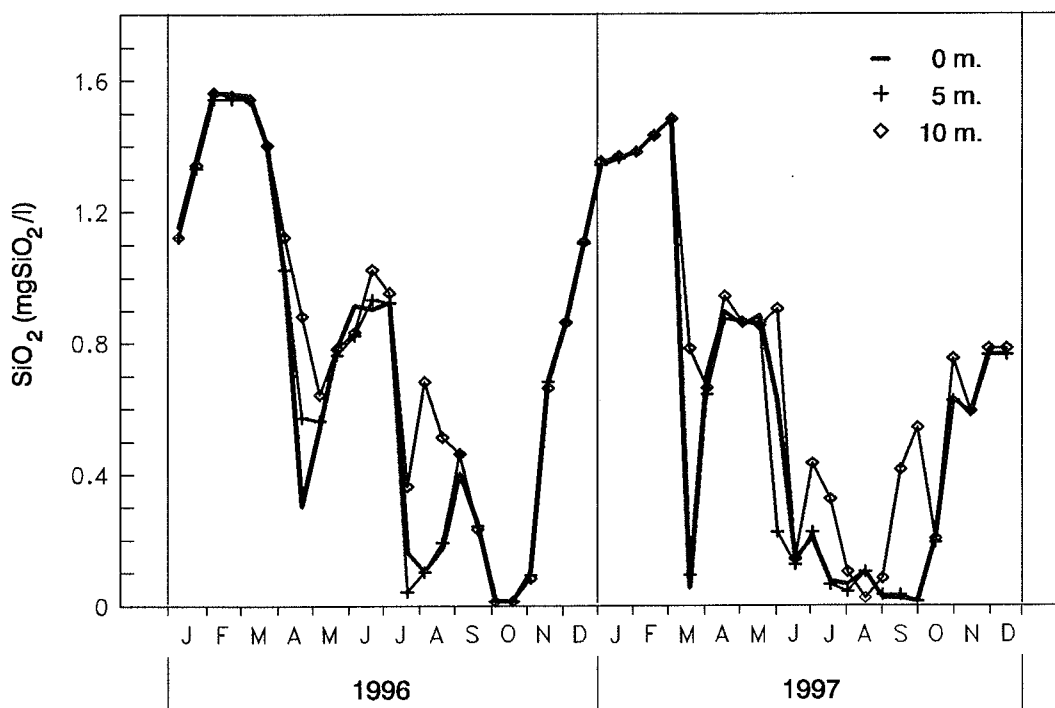


Figure 7 : Concentration en nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) des eaux des couches (0, 5 et 10 m), Léman - Grand Lac (SHL 2)



**Figure 8 :** Concentration en silice dissoute ( $\text{SiO}_2$ ) des eaux des couches superficielles (0, 5 et 10 m), Léman - Grand Lac (SHL 2)

- *Reste de l'année*

Dès le mois de mai 1997 on constate une nette augmentation de la transparence (7.5 m, le 13 mai et 11.7 m, le 21 mai) correspondant à la période des "eaux claires" qui s'est donc maintenue pendant tout le mois de mai (figure 9). On observe, lors de cette période, des concentrations en azote ammoniacal relativement importantes et homogènes dans la couche 0-50 m (figure 10) provenant des excréments du zooplancton.

Début juin 1997, le phosphore dissous ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) a à nouveau beaucoup baissé (figure 6), ainsi que la silice dissoute (figure 8). Pour les nitrates par contre, l'appauvrissement est plus limité qu'en 1996 (figure 7). Il faut souligner que le phosphore dissous est à des teneurs presque nulles dans les 30 premiers mètres de juin jusqu'à mi-décembre, ce qui est exceptionnel. Ceci est à mettre en relation avec la présence d'algues filamenteuses pendant la deuxième partie de l'année (cf. REVACLIER et al., 1998).

La consommation des nitrates a, quant à elle, été beaucoup plus modérée dans les mêmes couches.

La figure 11 montre l'évolution des teneurs en carbone organique particulaire (COP) dans les couches superficielles du lac (0-100 m). Il est relevé que les teneurs en COP sont un peu plus élevées en profondeur cette année, ce qui est lié au développement des algues filamenteuses de plus grande taille (*Tribonema*) (cf. REVACLIER et al., 1998).

La figure 12 montre l'évolution du carbone organique, de l'azote et du phosphore particuliers dans la couche 0-10 m. On constate que le rapport N particulaire / P particulaire tend à augmenter ces deux dernières années, ce qui traduit une carence en phosphore plus importante au niveau cellulaire.

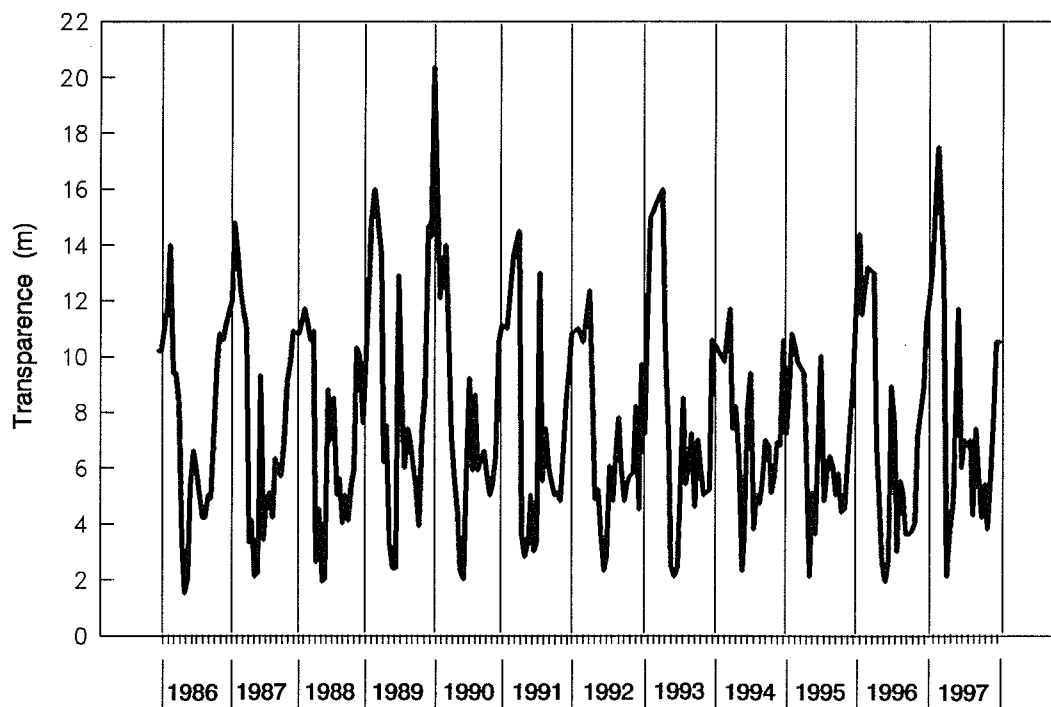


Figure 9 : Transparence mesurée avec le disque de Secchi, Léman - Grand Lac (SHL 2)

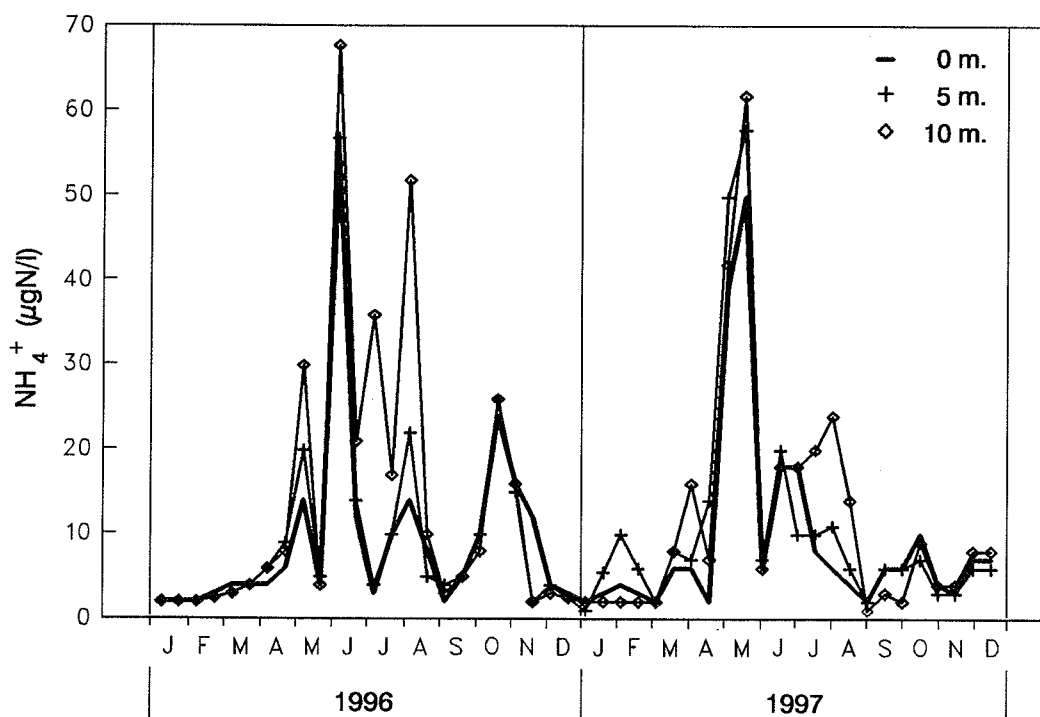
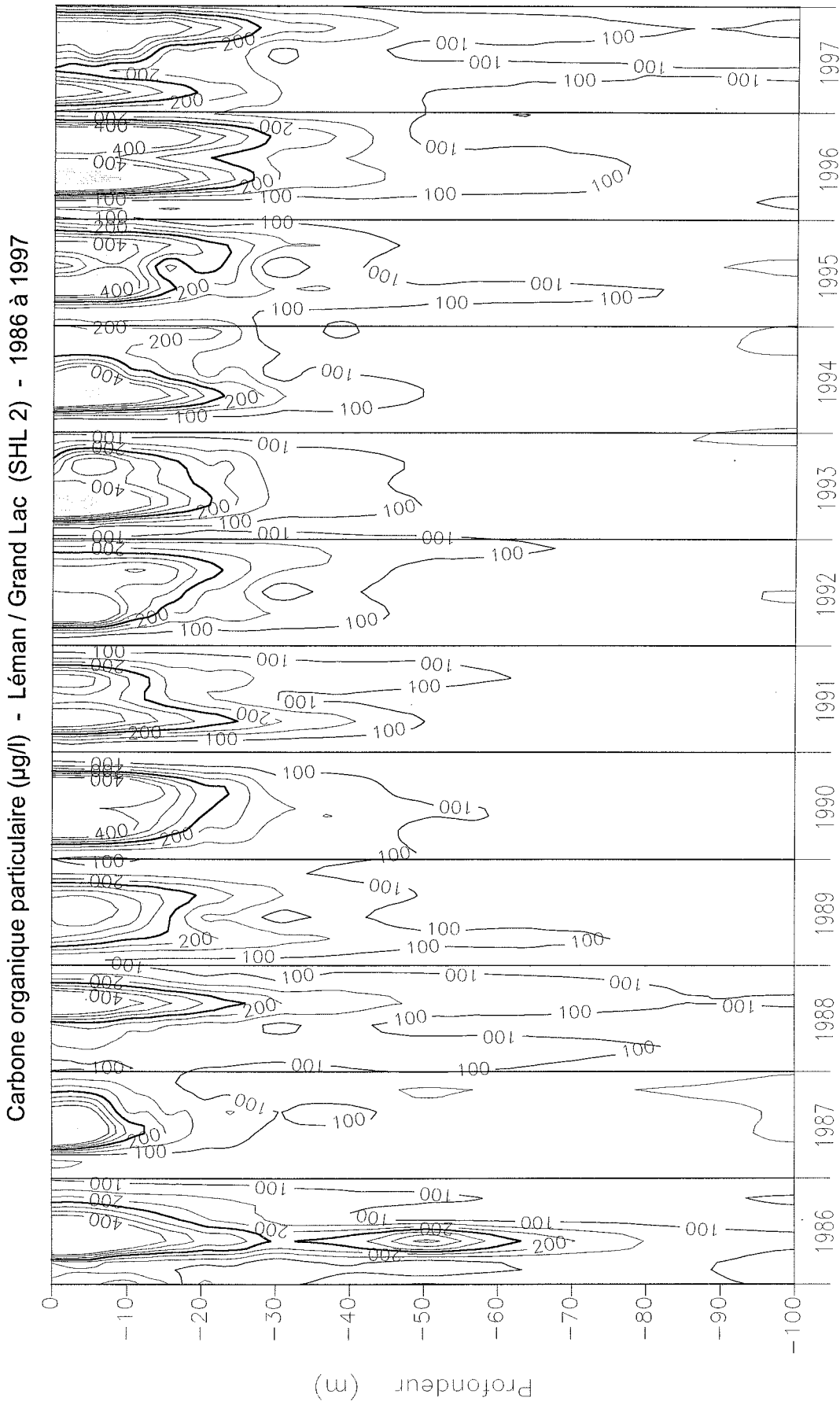
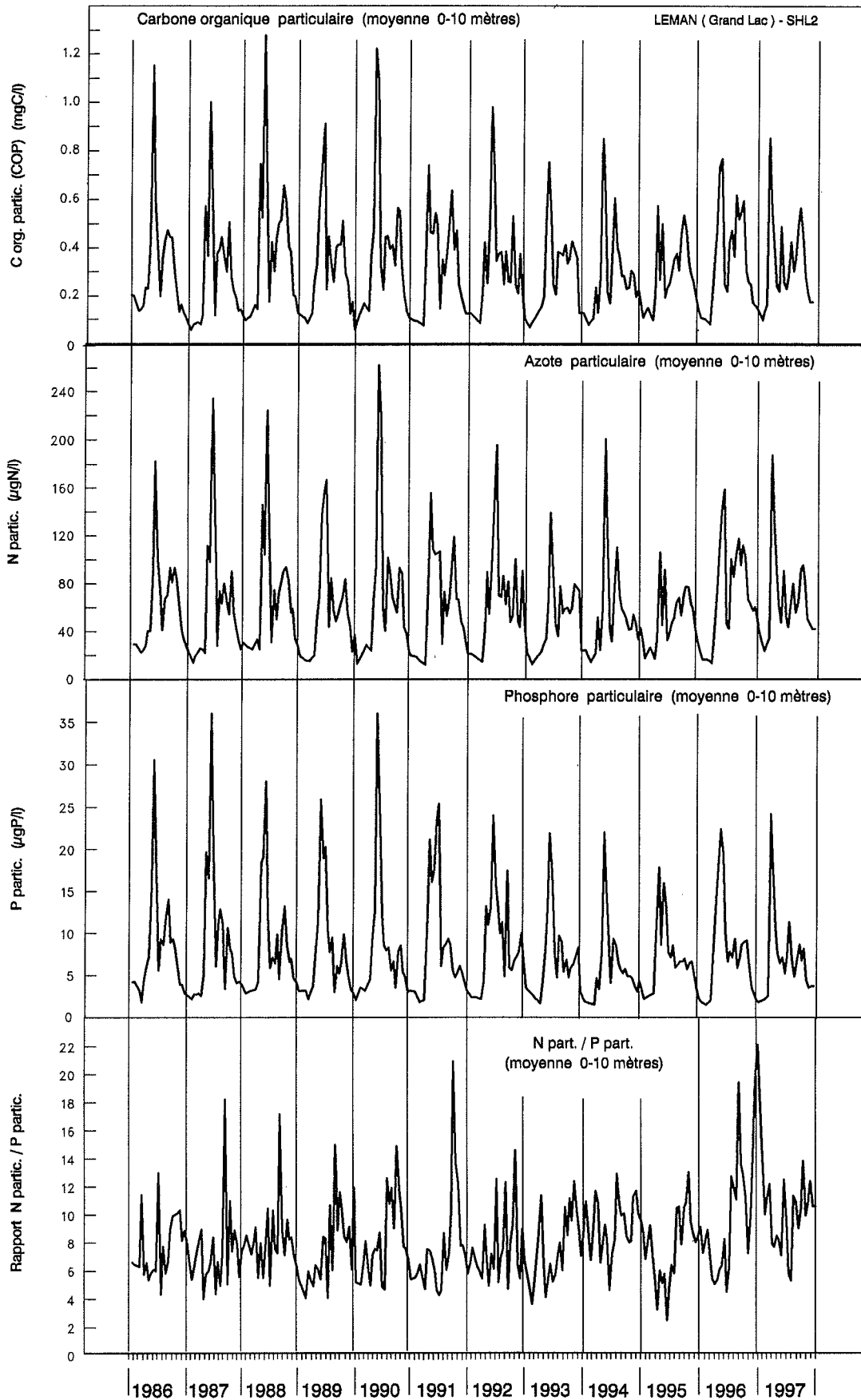


Figure 10 : Concentration en azote ammoniacal des eaux des couches superficielles, Léman - Grand Lac (SHL 2)





**Figure 11 : Concentration en carbone organique particulaire (COP) des eaux superficielles du Léman (de 0 à 100 m - SHL2)**



**Figure 12 :** Concentration en carbone organique, azote et phosphore particulaires des eaux de la couche superficielle (0-10 m). Rapport N particulaire / P particulaire, Léman - Grand Lac (SHL 2)

#### 4. ÉVOLUTION SAISONNIÈRE DANS LES COUCHES PROFONDES

Les onze hivers consécutifs relativement doux de ces dernières années ne permettent pas un brassage hivernal complet des eaux du Grand Lac, brassage qui n'affecte cette année que les 100 premiers mètres environ. Divers paramètres confirment cette absence d'homogénéité : température, conductivité, oxygène (figures 13 et 14), orthophosphates, silice, etc.; ils ne sont pas uniformes dans la colonne d'eau.

Le déficit en oxygène des couches profondes du Grand Lac est toujours élevé comme le montrent les figures 13 et 14. La zone concernée (hachurée, figure 14) où la concentration en oxygène est inférieure à 4 mgO<sub>2</sub>/l est importante et, comme ces dernières années, cette situation persiste durant toute l'année. A la fin de l'hiver, la teneur en oxygène demeure très basse, n'atteignant qu'environ 2.25 mgO<sub>2</sub>/l en février-mars 1997 (figure 13). Une teneur inférieure à 1 mgO<sub>2</sub>/l est observée de début septembre à fin décembre avec un minimum de 0.20 mgO<sub>2</sub>/l à fin novembre et en début décembre.

Simultanément, la concentration en phosphore dissous dans les eaux du fond augmente (figure 16). Cependant, bien que les concentrations en oxygène soient voisines de celles observées à la fin des années 70, les teneurs en orthophosphates n'atteignent pas les valeurs très élevées de cette époque.

La désoxygénation des couches profondes dans le Grand Lac est suffisante pour réduire les sels de manganèse et assurer leur diffusion à partir des sédiments (figure 17) avec des valeurs particulièrement élevées en fin d'année (611 µg/l le 08.12.97). Cette désoxygénation ne permet pas de réduire les sels de fer : à aucun moment ceux-ci n'apparaissent dans l'eau.

Simultanément à cette forte désoxygénation au fond, on observe une réduction des nitrates en ammonium, particulièrement lors de la 1<sup>ère</sup> campagne de septembre (09.09.97) et dès fin octobre.

L'évaluation de l'étendue de la zone désoxygénée a été réalisée en octobre et novembre 1997. Cette étude (BLANC, 1998) montre que pratiquement seule la zone de profondeur supérieure à 305 m est concernée (concentrations inférieures à 1 mg O<sub>2</sub>/l).

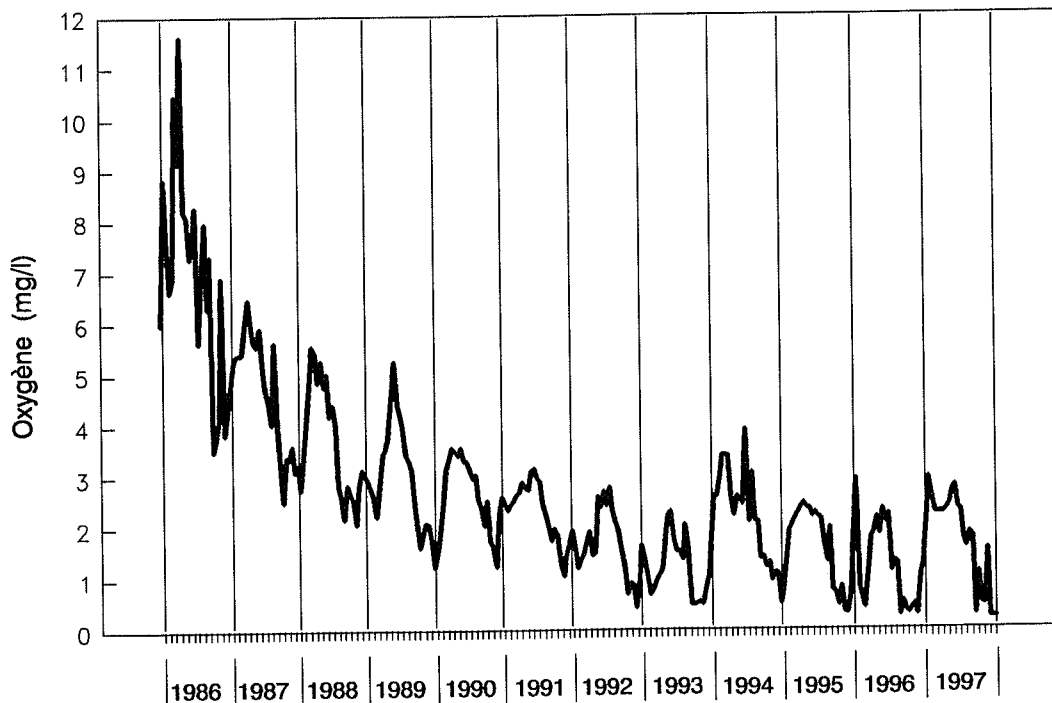
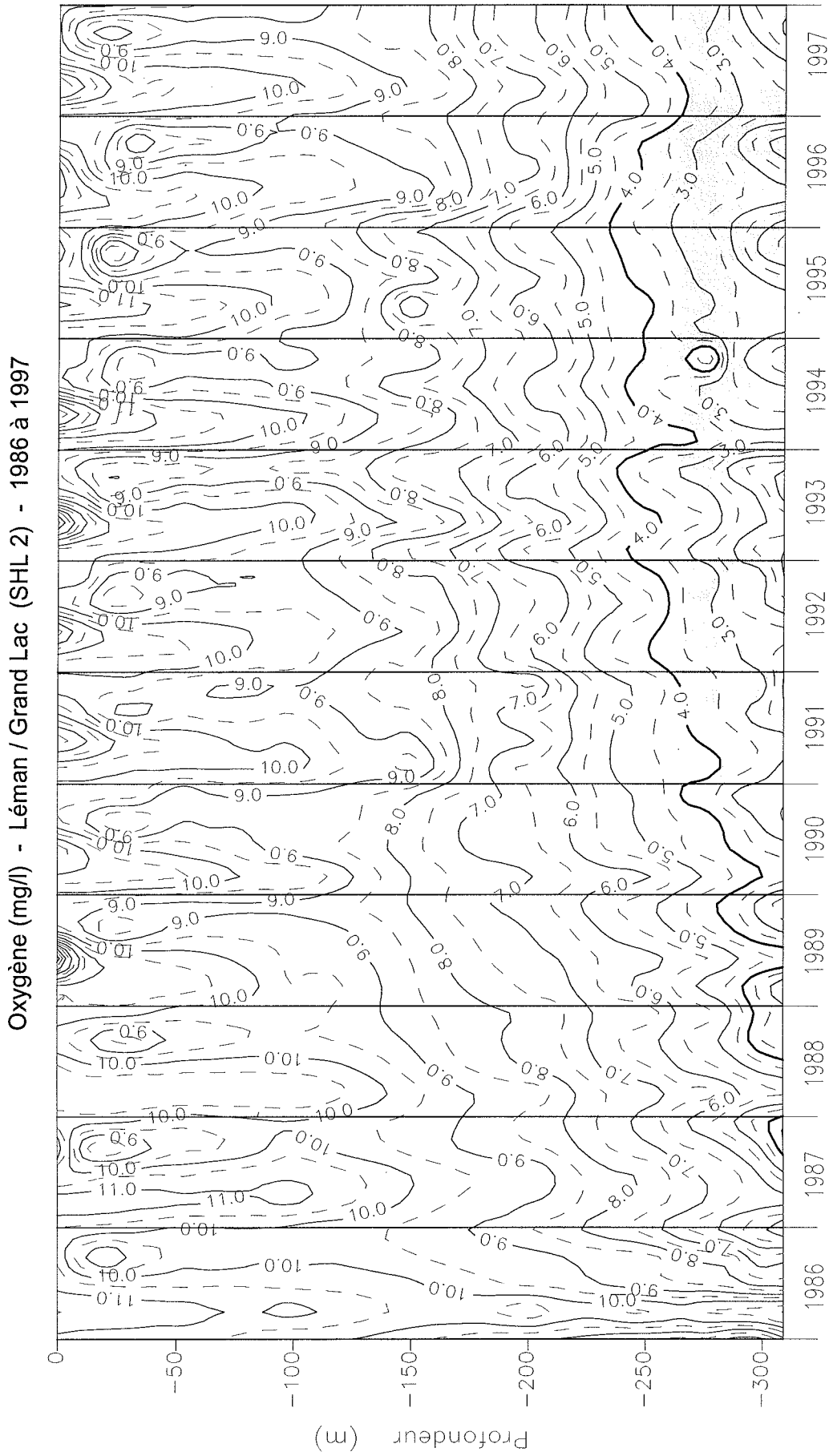


Figure 13 : Concentration en oxygène dissous des eaux du fond, Léman - Grand Lac (SHL 2)



**Figure 14 :** Concentration en oxygène dissous des eaux du Léman (SHL 2) (zone grisée = concentration inférieure à 4 mgO<sub>2</sub>/l)

N.B. : suivant le nombre d'années prises en considération, de très légères modifications de représentation graphique peuvent apparaître (différence de lissage des courbes d'isovaleurs)

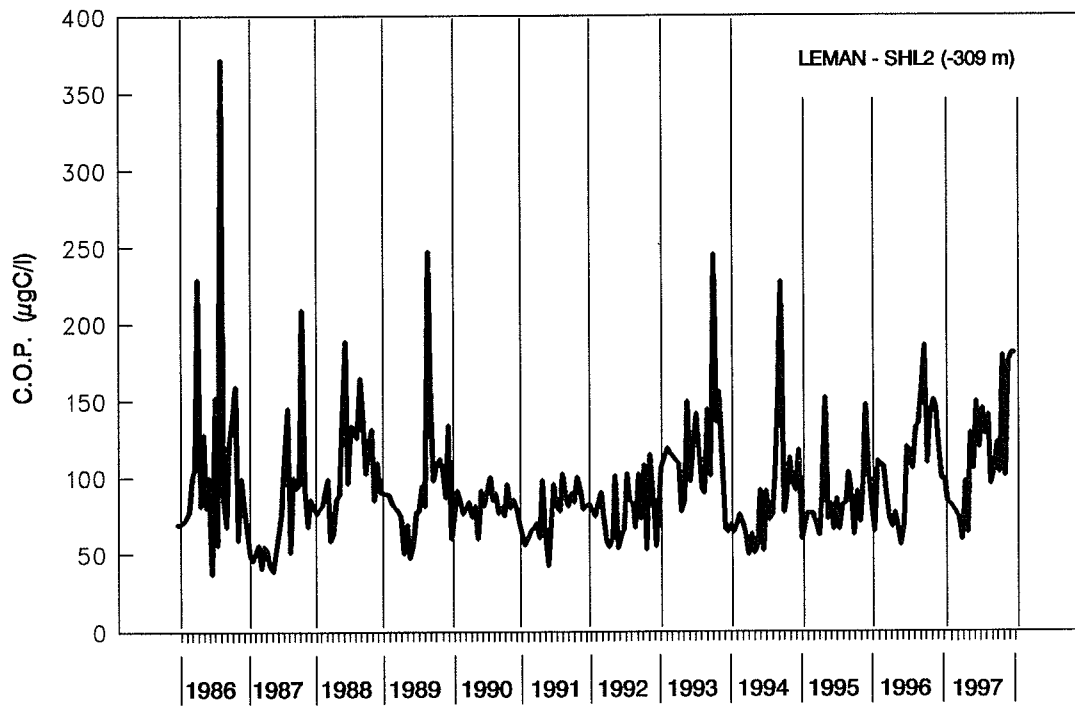


Figure 15 : Concentration en carbone organique particulaire des eaux au fond du Léman - Grand Lac (SHL 2)

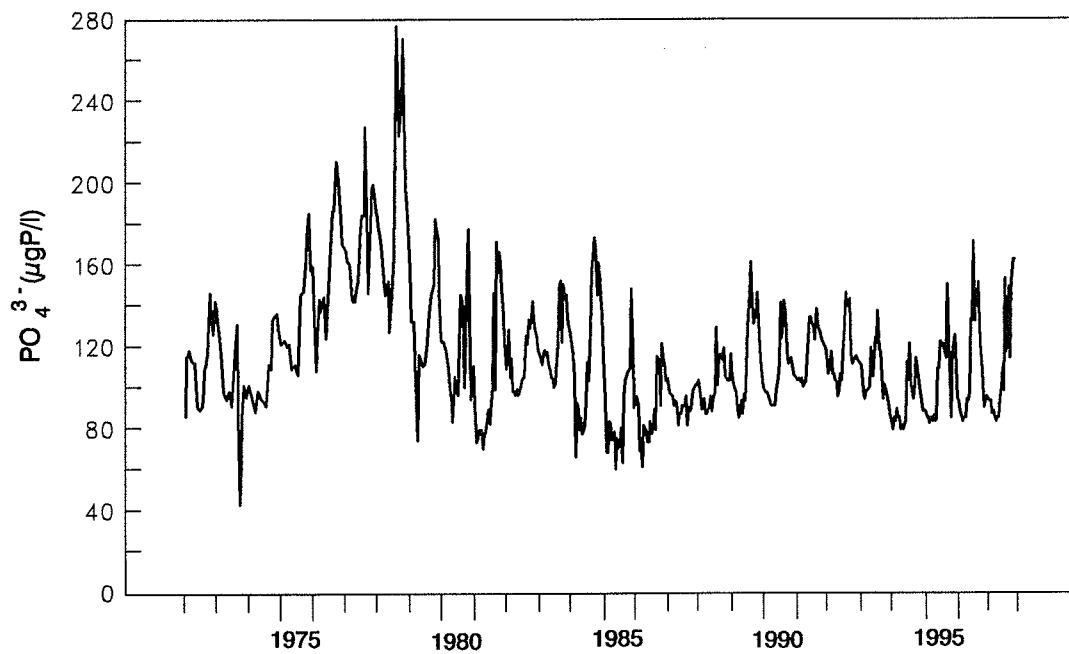


Figure 16 : Concentration en phosphore dissous ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) des eaux au fond du Léman - Grand Lac (SHL 2)

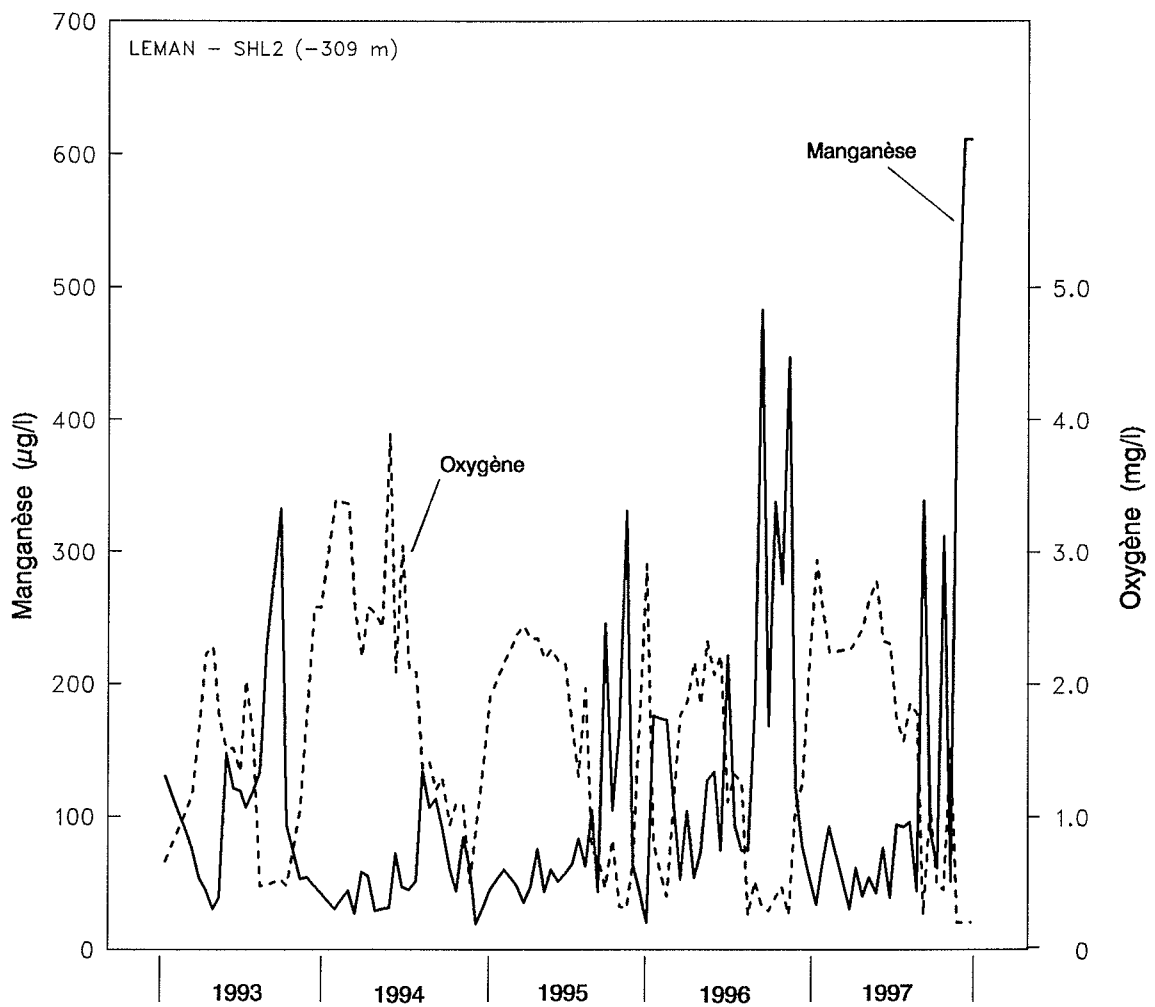


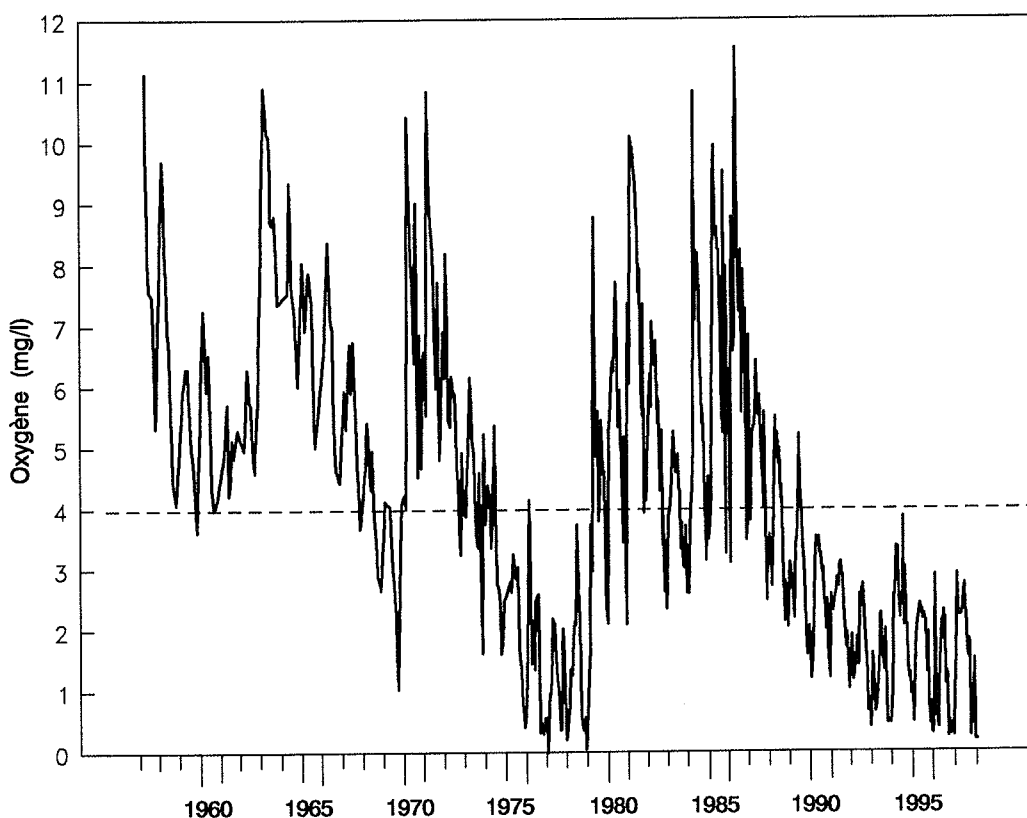
Figure 17 : Evolution comparée des concentrations en manganèse total et en oxygène dissous dans les eaux du fond du Léman - Grand Lac (SHL2)

## 5. ÉVOLUTION INTERANNUELLE DES PRINCIPAUX PARAMÈTRES

Les concentrations moyennes pondérées<sup>1</sup> pour l'ensemble du Grand Lac sont calculées à partir des mesures et des analyses effectuées sur les échantillons prélevés au centre du lac entre Lausanne et Evian (Grand Lac, point SHL 2, figure 1) (cf. annexes).

- *Oxygène dissous (figures 13, 14 et 18)*

La concentration moyenne des couches en dessous de 200 mètres (figure 14) est toujours faible et ceci depuis plusieurs années. Ce phénomène est dû aux brassages incomplets des eaux durant ces derniers hivers. La figure 18 montre l'évolution de la teneur au fond du lac depuis 1957.



**Figure 18 :** Concentration en oxygène dissous des eaux au fond du Léman - Grand Lac (SHL 2)

Sur la figure 18, la limite indiquée à 4 mgO<sub>2</sub>/l correspond à l'objectif à atteindre quant à la qualité des eaux des lacs fixée dans l'Ordonnance suisse du 8 décembre 1975 sur le déversement des eaux usées : "Sous réserve de conditions naturelles défavorables, la concentration d'oxygène dans les lacs ne devra jamais être inférieure à 4 mgO<sub>2</sub>/l à quelque profondeur que ce soit".

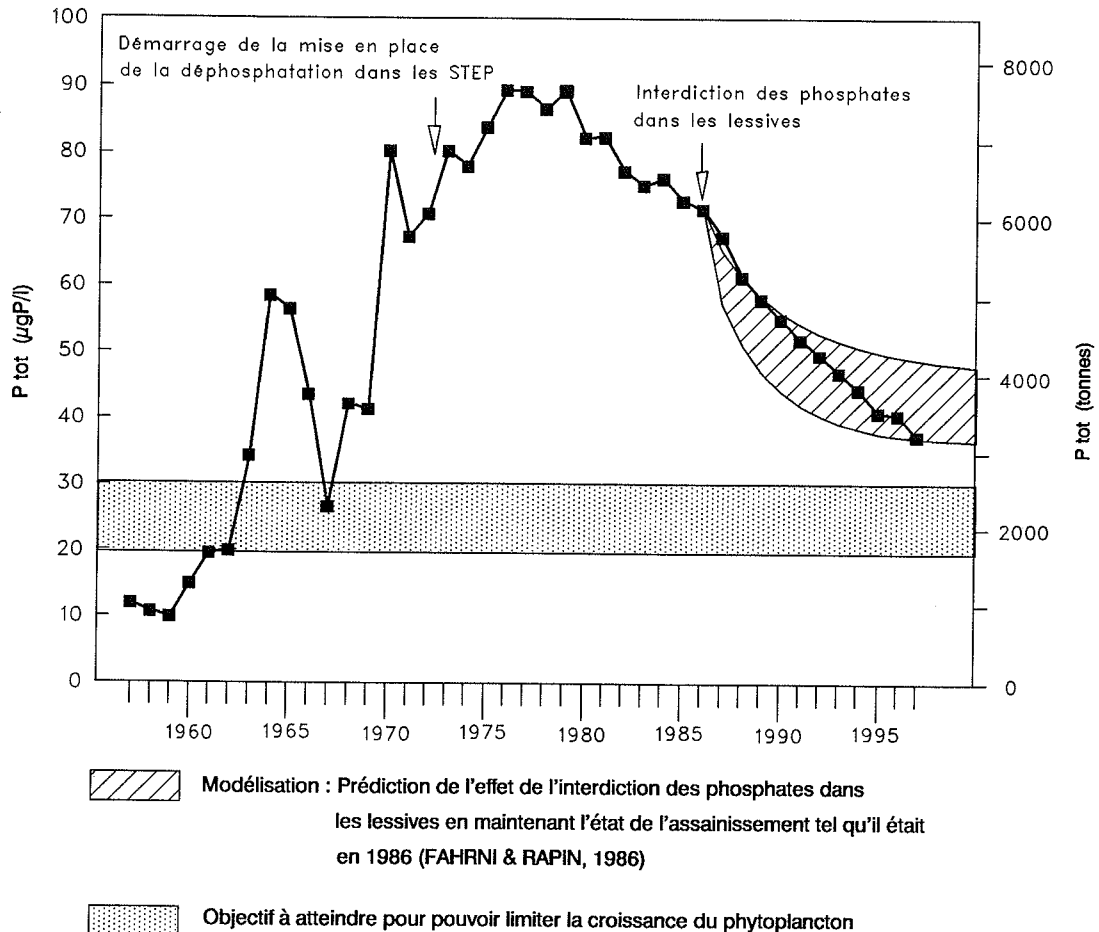
<sup>1</sup> Les concentrations moyennes pondérées sont calculées de la façon suivante :

$$C = \frac{\sum (C_i \cdot V_i)}{V} \quad \text{avec} \quad \begin{array}{l} C_i = \text{concentration dans la strate} \\ V_i = \text{volume de la strate} \\ V = \text{volume total du Grand Lac} \end{array}$$

- **Phosphore total (figure 19)**

En 1996, nous n'avions pas relevé de diminution significative du stock de phosphore dans les eaux du lac. Par contre, en 1997, on retrouve l'évolution nette à la baisse (- 8 % par rapport à 1996).

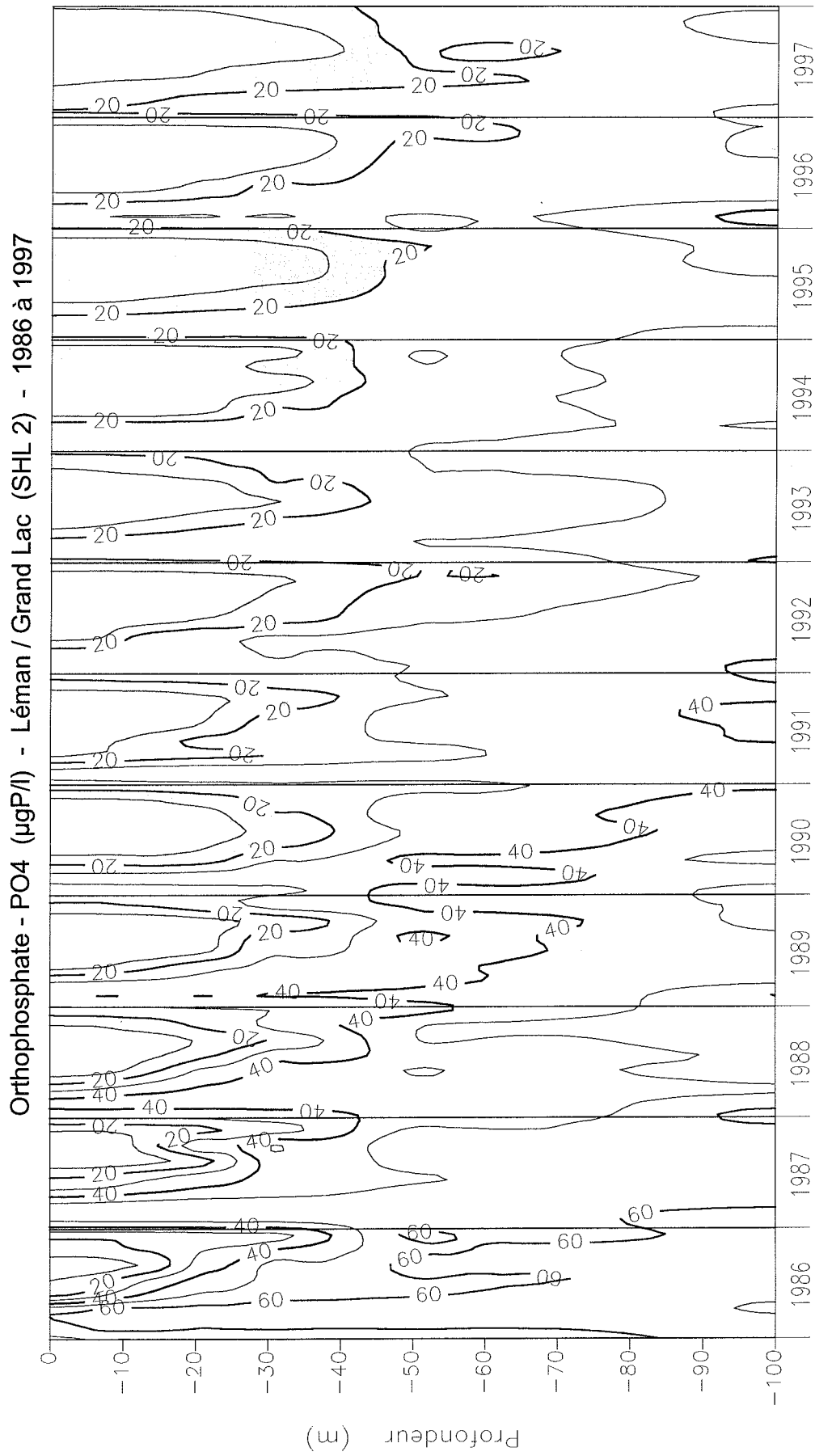
Les concentrations moyennes annuelles sont en 1997 de 38  $\mu\text{gP/l}$  pour le phosphore total et de 34  $\mu\text{gP/l}$  pour le phosphore dissous, ce qui correspond à une quantité de phosphore total contenu dans le Grand Lac de 3'230 tonnes.



**Figure 19 :** Evolution de la concentration moyenne annuelle pondérée et du stock de phosphore total contenu dans le Grand Lac

La figure 20 montre l'évolution des concentrations en phosphore dissous dans les couches superficielles pour les années 1986 à 1997. On constate, d'année en année, une augmentation de la durée des périodes d'épuisement du phosphore dissous, ainsi que de l'épaisseur des couches concernées par cet appauvrissement. En effet, si la couche isovaleur 20  $\mu\text{gP/l}$  atteint environ 15 à 20 m de profondeur en 1986-1987, elle se trouvait en 1990-1991 à environ 40 m et en 1997 à près de 60 m. Cet appauvrissement se répercute ainsi dans les couches plus profondes.

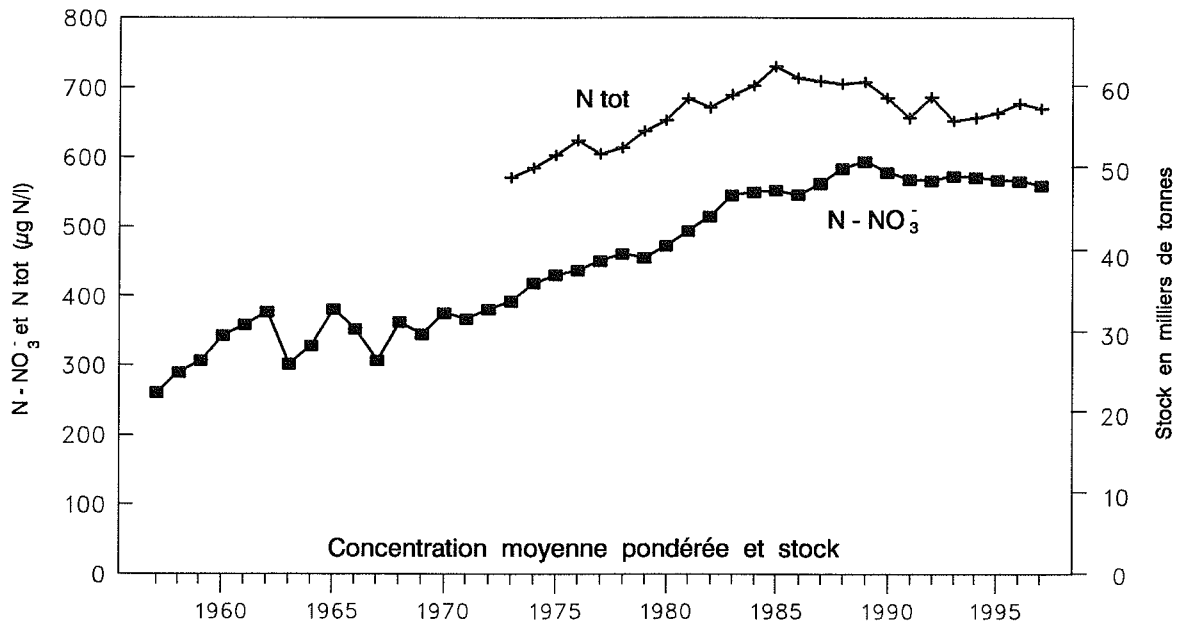




**Figure 20 :** Concentration en phosphore dissous (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) des eaux superficielles du Léman (de 0 à 100 m - SHL2)  
(Zone grisée = concentrations inférieures à 20 µgP/l)

- **Azote nitrique et total (figure 21)**

Les concentrations pour 1997 sont de 0.67 mgN/l pour l'azote total et 0.56 mgN/l pour l'azote nitrique. La stabilité des concentrations se poursuit depuis quelques années.



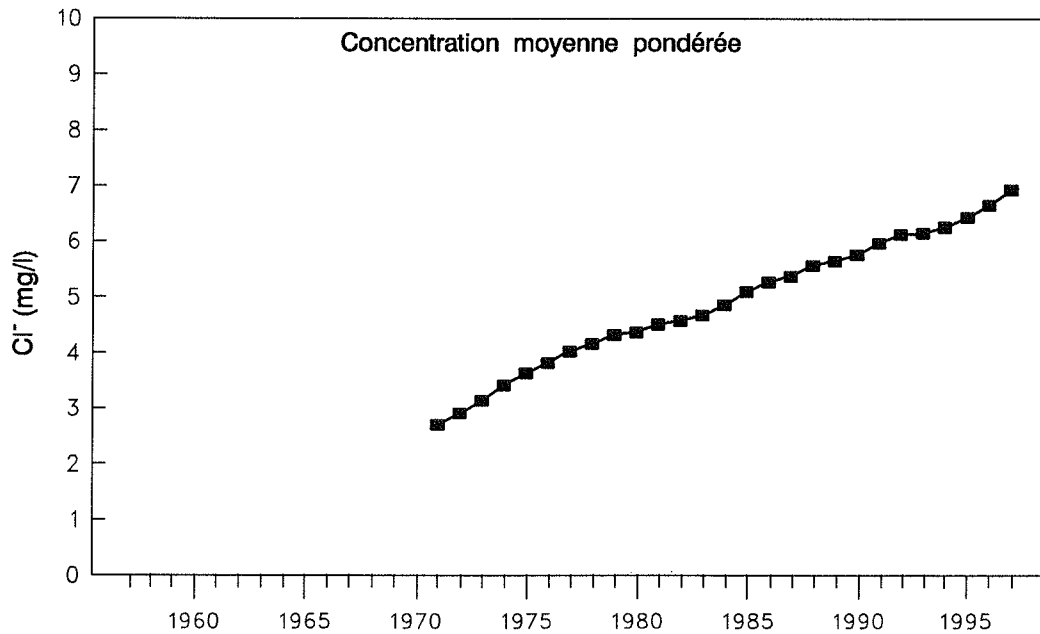
**Figure 21 :** Evolution de la concentration moyenne annuelle pondérée et du stock d'azote total et d'azote nitrique contenus dans le Grand Lac

- **Chlorure (figure 22)**

Depuis que des mesures régulières de ce paramètre sont effectuées, on constate d'année en année une légère augmentation de la concentration en chlorure. En 1997, la concentration moyenne est de 6.96 mg/l, alors qu'elle n'était que de 2.73 mg/l en 1971. L'augmentation en 1997 a été de 3 % par rapport à 1996.

On peut toutefois s'attendre à ce que cette hausse se stabilise lorsque les concentrations dans le lac seront voisines de celles observées dans les affluents (y compris les rejets des STEP directs au lac), soit inférieures à 10 mg/l en moyenne pondérée, mais, ceci pour autant que les apports en chlorure des affluents restent stables.

Les chlorures proviennent principalement de l'industrie et l'artisanat, des sels de déneigement, des produits utilisés pour éliminer le phosphore dans les STEP, des rejets domestiques, des précipitations et du lessivage/érosion des sols (CORVI, 1984a).



**Figure 22 :** Evolution de la concentration moyenne annuelle en chlorure, pondérée pour l'ensemble de la masse d'eau du Grand Lac

## 6. MÉTAUX ET MICROPOLLUANTS ORGANIQUES

### 6.1 Métaux (tableaux 1 et 2)

Les teneurs en éléments métalliques toxiques (mercure, plomb, cadmium et chrome) demeurent faibles, voire inférieures aux limites de détection (tableaux 1 et 2) et ne posent aucun problème en regard des valeurs recommandées pour les eaux de boisson. Elles sont également du même ordre de grandeur que les teneurs métalliques observées dans d'autres eaux douces exemptes de pollutions métalliques (CORVI, 1984b; SIGG, 1992).

Les valeurs du fer et du manganèse, bien que non toxiques, sont données à titre indicatif.

Les concentrations toxiques pour le poisson citées dans la littérature (REICHENBACH-KLINKE, 1966; DIETRICH, 1995) varient pour chaque espèce, selon la nature et la forme chimique du métal mais sont bien supérieures aux concentrations observées dans les eaux du lac.

### 6.2 Phytosanitaires (tableau 3)

Bien que leur utilisation soit en nette régression, les herbicides, atrazine, simazine et terbutylazine sont décelables, en toutes saisons et presque à toutes les profondeurs, dans les eaux du lac, mais en très faibles teneurs. Il est possible que les concentrations observées soient la conséquence de la forte utilisation de ces produits à la fin des années 80 et de leur stabilité dans les eaux.

Toutes les concentrations mesurées répondent aux exigences requises pour une eau de boisson (0.1 µg/l par composé selon la Directive du Conseil des Communautés européennes - 1980 et l'Ordonnance suisse sur les substances étrangères et les composants, OSEC - 1995).

Les produits cités dans l'annexe 1 n'ont pas été décelés lors des différentes analyses multi-résidus effectuées par chromatographie en phase gazeuse.

La limite de détection varie notablement selon le type de détecteur utilisé ainsi que la nature et la réponse du produit. Dans nos conditions de travail, cette limite peut être estimée à :

.	0.05	-	0.1 µg/l	pour les insecticides chlorés
.	0.1	-	0.5 µg/l	pour les fongicides
.	0.1	-	0.5 µg/l	pour les organophosphorés
.	5.0	-	10.0 µg/l	pour les dérivés de l'urée
.	0.01	-	0.02 µg/l	pour les triazines.

### 6.3 NTA-EDTA (tableau 4)

Les concentrations de NTA, un des produits de substitution des phosphates dans les lessives avec les citrates ou les zéolithes, sont bien inférieures à la tolérance de 3 µg/l fixée pour les eaux de boisson en Suisse (OSEC, 1995) et nous n'observons aucune augmentation des teneurs depuis 1988.

En 1994, seules 1'000 tonnes de NTA ont encore été utilisées pour l'ensemble de la Suisse (ALDER et al., 1996). Sur la base de l'harmonisation internationale en Europe, on peut s'attendre à ce que le recours au NTA pour remplacer les phosphates diminue encore.

Les concentrations en EDTA dans les eaux lémaniques sont faibles, voisines de celles observées dans d'autres lacs suisses (HOURIET, 1996) et également bien inférieures à la valeur de tolérance fixée, pour la Suisse, à 5 µg/l (OSEC, 1995).

TABLEAU 1 - Campagne du 17 mars 1997

Léman - Grand Lac (Station SHL 2)

Profondeur m	Manganèse µg/l	Fer µg/l	Plomb µg/l	Cadmium µg/l	Chrome µg/l	Cuivre µg/l	Mercure µg/l
0	<1	1	nd*	nd*	nd*	2.2	nd*
1	<1	1	nd	nd	nd	2.4	nd
5	<1	2	nd	nd	nd	3.7	nd
7.5	<1	3	nd	nd	nd	3.1	nd
10	<1	6	nd	nd	nd	3.7	nd
30	1	2	nd	nd	nd	5.3	nd
100	1	2	nd	nd	nd	5.3	nd
305	5	2	nd	nd	nd	2.9	nd
fond	12	2	nd	nd	nd	5.3	nd

TABLEAU 2 - Campagne du 23 septembre 1997

Léman - Grand Lac (Station SHL 2)

Profondeur m	Manganèse µg/l	Fer µg/l	Plomb µg/l	Cadmium µg/l	Chrome µg/l	Cuivre µg/l	Mercure µg/l
1	<1	6	nd*	nd*	nd*	3.0	nd*
30	<1	2	nd	nd	nd	2.0	nd

## RÉFÉRENCES POUR L'EAU POTABLE :

	Manganèse µg/l	Fer µg/l	Plomb µg/l	Cadmium µg/l	Chrome µg/l	Cuivre µg/l	Mercure µg/l
OMS (1)	500	10	300	5	50	2'000	1
CEE (2) A	20	-	50	-	-	100	-
	B	50	200	5	50	3'000	1
OSEC(3) C	50	-	300	-	-	1'500	-
	D	-	50	-	** 20	-	1

\* = non décelé (Plomb < 0.5 µg/l; cadmium < 0.02 µg/l; mercure < 0.1 µg/l; chrome < 0.1 µg/l; cuivre < 0.5 µg/l)

\*\* = chrome VI

(1) = Organisation Mondiale de la Santé, "Guidelines for drinking water quality", Vol. I, EFP/82.39 (1984) et "Guidelines values for chemicals in drinking water" (1993).

(2) = Directive 80/778/CEE - Journal officiel des Communautés européennes du 30.08.1980, pages 11-30

A = niveaux guides (valeurs devant être considérées comme satisfaisantes)

B = concentrations maximales admissibles

(3) = Ordonnance sur les Substances Etrangères et les Composants (1995) (Office central fédéral des imprimés et du matériel, 3003 Berne)

C = Valeur de tolérance (concentration maximale au-delà de laquelle l'eau est considérée comme souillée ou diminuée d'une autre façon dans sa valeur intrinsèque)

D = Valeur limite (concentration maximale au-delà de laquelle l'eau est jugée impropre à la consommation)

TABLEAU 3 - Phytosanitaires décelés

Léman - Grand Lac (Station SHL2)

Profondeur (m)	17 mars 1997			23 septembre 1997		
	Simazine $\mu\text{g/l}$	Atrazine $\mu\text{g/l}$	Terbutylazine $\mu\text{g/l}$	Simazine $\mu\text{g/l}$	Atrazine $\mu\text{g/l}$	Terbutylazine $\mu\text{g/l}$
0	0.026	0.035	0.017	-	-	-
1	0.024	0.039	0.017	0.014	0.040	nd*
5	0.024	0.035	0.020	-	-	-
7.5	0.028	0.039	0.018	-	-	-
10	0.023	0.039	0.017	-	-	-
30	0.022	0.017	0.019	0.010	0.023	nd
100	0.045	0.073	0.032	-	-	-
305	0.033	0.046	0.019	-	-	-
fond	0.015	0.022	0.010	-	-	-

\* = non décelé < 0.01  $\mu\text{g/l}$ 

- = non analysé

TABLEAU 4 - NTA et EDTA

Léman - Grand Lac (Station SHL2)

Profondeur (m)	NTA ( $\mu\text{g/l}$ )		EDTA ( $\mu\text{g/l}$ )	
	17 mars 97	23 septembre 97	17 mars 97	23 septembre 97
0	0.1	-	1.0	-
1	0.1	0.6	1.0	0.5
5	0.2	-	0.8	-
7.5	0.2	-	1.1	-
10	0.1	-	0.3	-
30	0.1	0.2	0.9	0.4
100	0.2	-	0.8	-
305	0.1	-	1.3	-
fond	0.1	-	0.9	-

- = non analysé

## 7. CONCLUSIONS

L'évolution durant l'année 1997 est assez similaire à celle observée ces dernières années.

Les principales observations sont les suivantes :

- le brassage hivernal des eaux est limité aux 100 premiers mètres dans le Grand Lac; par contre, le Petit Lac, qui a une profondeur maximum inférieure à 80 m, a été entièrement brassé comme chaque année,
- la faible profondeur du brassage hivernal dans le Grand Lac a limité le réapprovisionnement brusque en nutriments (au début du printemps) des couches superficielles à partir des couches profondes,
- l'activité biologique a fortement démarré dès la mi-mars. Dès cette époque, la teneur en phosphore dissous des couches superficielles a été très faible jusqu'en décembre. Après une légère augmentation dans ces couches au cours du mois de mai, les teneurs en phosphore sont quasi-nulles de juin jusqu'en décembre,
- les faibles teneurs en oxygène des couches profondes du Grand Lac persistent, entraînant de fréquentes diffusions du manganèse en cours d'année, particulièrement importantes le dernier trimestre. Cependant, on ne note pas de diffusion de fer ni de remobilisation importante du phosphore à partir des sédiments,
- simultanément à la forte désoxygénation au fond, on observe une réduction partielle des nitrates en ammonium.

Pour les stocks de phosphore contenu dans le lac, l'évolution nette à la baisse a repris en 1997 (- 8 % par rapport à 1996).

- Pour le Grand Lac, le stock de phosphore total est de 3'230 tonnes en 1997, contre 3'505 en 1996,
- pour le Grand Lac, le stock d'azote nitrique (48'250 tonnes) s'est stabilisé depuis quelques années.

Les teneurs en métaux lourds des eaux du Léman demeurent faibles et satisfont pleinement aux exigences requises pour les eaux de boisson et la vie piscicole.

La présence d'herbicides triaziniques est toujours décelée, mais les concentrations demeurent faibles.

Les teneurs en NTA et EDTA des eaux du lac respectent les tolérances requises pour les eaux de boisson.

**BIBLIOGRAPHIE**

- ALDER, A.C., GIGER, W. et SCHAFFNER, C. (1996) : Phosphatersatzstoffe in Wasch- und Reinigungsmitteln. EAWAG news, 42D, 6-8.
- BLANC, P. (1998) : Evaluation de l'étendue de la zone désoxygénée dans la plaine centrale du Grand Lac, en automne 1997. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1997.
- BLANC, P., CORVI, C. et RAPIN, F. (1994) : Evolution physico-chimique des eaux du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1993, 37-64.
- BLANC, P., CORVI, C., NIREL, P., REVACLIER, R. et RAPIN, F. (1996) : Evolution physico-chimique des eaux du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1995, 37-80.
- BLANC, P., PELLETIER, J.P. et MOILLE, J.P. (1993) : Variabilité spatiale et temporelle des paramètres physico-chimiques et biologiques dans l'eau du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1992, 113-162 et 162b-162p.
- CORVI, C. (1984a) : Chlorures. In : Le Léman, Synthèse 1957-1982. Ed. par Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., 183-191.
- CORVI, C. (1984b) : Métaux en traces. In : Le Léman, Synthèse 1957-1982 Ed. par Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Chapitre 3.2.11, page 207, tableau 3.
- CORVI, C. et KHIM-HEANG, S. (1996) : Recherche de quelques métaux et micropolluants organiques. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1995, 81-89.
- DIETRICH, D. (1995) : Kritische Beurteilung der Ökotoxikologischen Aussagekraft von Schwermetallanalysen in Fischen aus schweizerischen Gewässern. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg., 86, 213-225.
- DIRECTIVE DU CONSEIL DES COMMUNAUTES EUROPEENNES du 15 juillet 1980 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine (80/778/CEE). Journal officiel des Communautés européennes, numéro L 229, pages 11 à 29 du 30 août 1980.
- FAHRNI, H.P. et RAPIN, F. (1986) : Modélisation du cycle du phosphore dans le Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1985, 153-190.
- HOURIET, J.-P. (1996) : NTA dans les eaux. Cahier de l'environnement, série protection des eaux, No 264 et Annexes : Données de mesure. Documents environnement, série protection des eaux, No 54. Ed. par OFEFP, Berne.
- ORAND, A. et GAGNAIRE, J. (1998) : Météorologie. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1997.
- OSEC (1995) : Ordonnance sur les Substances Etrangères et les Composants, du 26 juin 1995.
- REVACLIER, R., DRUART, J.-C. et PELLETIER, J.P. (1998) : Evolution du phytoplancton du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1997.
- REICHENBACH-KLINKE, H.-H. (1966) : Krankheiten und Schädigungen der Fische. Gustav Fischer Verlag, page 288.
- SIGG, L. (1992) : Les métaux lourds dans les cours d'eau. Nouvelles de l'EAWAG, 32, 32-35.



## ANNEXE 1 : PRODUITS PHYTOSANITAIRES RECHERCHÉS

### I. INSECTICIDES ET FONGICIDES CHLORÉS

$\alpha$ - HCH	HEPTACHLORE EPOXYDE
$\beta$ - HCH	HEPTACHLORE
$\gamma$ - HCH	ALDRINE
$\delta$ - HCH	ENDRINE
pp'DDE	DIELDRINE
pp'DDT	CAPTAFOL
op'DDT	PROCYMIDONE
pp'DDD	VINCLOZOLINE
op'DDE	CHLOROTHALONIL
op'DDD	PCNB
DICOFOL	DICHLORFLUANIDE
ENDOSULFAN	FOLPET
IPRODIONE	

### II. HERBICIDES AZOTÉS

#### II. 1 Triazines :

ATRAZINE	AZIPROTRYNE
SIMAZINE	TERBUTRYNE
PROPAZINE	TERBUTHYLAZINE
DESMETRYNE	AMETRYNE
PROMETRYNE	

#### II. 2 Dérivés de l'urée :

CHLORBROMURON	METOBROMURON
FENURON	CHLOROXYURON
METHABENZTHIAZURON	LINURON
MONOLINURON	DIFENOXYURON
CYCLURON	

### III. INSECTICIDES PHOSPHORÉS

ACEPHATE	LEPTOPHOS
AMIDITHION	MALAOXON
AZINPHOS-ETHYLE	MALATHION
AZINPHOS-METHYLE	MECARBAM
BROMOPHOS METHYLE	MERPHOS
BROMOPHOS-ETHYLE	METHACRIFOS
CARBOPHENOTHION-ETHYLE	METHAMIDOPHOS
CARBOPHENOTHION-METHYLE	METHIDATHION
CHLORFENVINFOS	MEVINPHOS
CHLORMEPHOS	MONOCROTHOPHOS
CHLORPYRIFOS	NALED
CHLORTHION	OMETHOAT
CHLORTHIOPHOS	OXIDEMETON-METHYLE
COUMAPHOS	PARAOXON
CYANOPHOS	PARAOXON-METHYLE
DEMETON-S-METHYLE	PARATHION
DEMETON-S-METHYLE-SULFONE	PARATHION-METHYLE
DEMETHON-SYSTOX	PHENKAPTON
DIALIFOS	PHENTOATE
DIAZINON	PHORATE
DICHLOFENTHION	PHOSALONE
DICHLORVOS	PHOSMET
DICROTOPHOS	PHOSPHAMIDON
DIMETHOATE	PIRIMIPHOS-ETHYLE
DIOXATHION	PIRIMIPHOS-METHYLE
DISULFOTON	PROFENOFOS
DITALIMPHOS	PROTHIOPHOS
DITHIONATE	PROTHOATE
EDIFENPHOS	PYRAZOPHOS
ENDOTHION	QUINALPHOS
EPN	SULFOTEP
ETHION	SULPROFOS
ETHOPROFOS	TEMEPHOS
ETRIMFOS	TERBUFOS
FENCHLORPHOS	TETRACHLORVINFOS
FENITROTHION	THIOMETON
FENSULFOTHION	TRIAMIPHOS
FENTHION	TRIAZOPHOS
FONOFOS	TRICHLORONAT
FORMOTHION	TRICHLORPHON
HEPTENOFOS	VAMIDOTHION
IODPHENFOS	ZINOPHOS
ISOPHENFOS	

## ANNEXE 2

## Concentrations moyennes pondérées - Lac Léman (Grand Lac)

Année	Oxygène	P tot.	PO4	N tot.	Nmintot	NH4	NO2	NO3	Cl	C.O.P	Npartic	Ppartic	Transpar	Transpar
	mg/l	µgP/l	µgP/l	µgN/l	µgN/l	µgN/l	µgN/l	µgN/l	mgCl/l	µgC/l	µgN/l	µgP/l	12 mois (en m)	mai-sept (en m)
1957	9.66	12.4			266	0.3	1.0	265					10.80	6.74
1958	10.32	11.2			297	0.9	1.7	294					9.50	5.20
1959	9.59	10.4			312	0.3	1.1	311					9.70	6.74
1960	9.57	15.4			349	1.2	1.1	347					11.10	10.46
1961	9.36	20.0			366	3.4	0.9	362					9.50	8.06
1962	10.33	20.4			392	9.0	1.5	381					9.70	6.80
1963	10.30	34.7			314	6.0	1.5	306					9.80	6.26
1964	10.21	58.8			342	8.8	1.3	332					9.50	7.30
1965	10.25	56.8			391	4.4	1.3	385					9.50	7.10
1966	10.44	43.9			362	4.8	1.4	356					8.10	5.74
1967	9.72	27.0			314	2.1	1.0	311					9.80	6.30
1968	9.43	42.5			372	5.4	0.7	366					10.30	6.52
1969	9.01	41.7			354	4.2	1.1	349					9.60	7.24
1970	9.69	80.5	50.5		383	2.9	1.3	379					8.63	4.86
1971	9.69	67.6	45.6		382	9.0	1.6	371	2.73				9.49	6.02
1972	9.25	71.1	56.3		401	14.6	1.6	385	2.93				8.45	6.88
1973	9.36	80.5	66.1	574	412	13.8	2.4	396	3.16				9.33	5.48
1974	9.12	78.2	63.2	588	438	13.8	1.9	422	3.44				8.46	5.98
1975	8.96	84.0	66.1	606	447	10.6	1.9	434	3.66				7.30	3.78
1976	8.36	89.6	72.3	628	454	11.7	1.4	441	3.84				8.18	4.00
1977	8.31	89.4	74.0	608	468	11.2	1.8	455	4.05				7.95	5.18
1978	8.55	86.8	73.4	617	474	7.0	1.8	465	4.18				7.27	5.64
1979	8.93	89.5	74.0	641	466	5.5	1.5	459	4.35				10.42	5.86
1980	9.06	82.5	71.5	657	485	7.4	1.9	476	4.39				8.88	6.04
1981	9.32	82.6	71.6	688	507	8.0	1.1	498	4.53				8.10	5.80
1982	9.24	77.5	69.5	675	529	8.4	1.2	519	4.60				7.54	5.52
1983	9.19	75.4	67.3	693	560	10.2	1.2	549	4.70				8.23	6.04
1984	9.46	76.4	67.6	706	566	11.2	1.0	554	4.88				7.59	5.55
1985	9.54	73.1	65.0	734	571	14.0	0.6	556	5.12				8.44	4.94
1986	9.83	71.8	61.9	718	558	6.8	1.0	550	5.30	106.7	19.0	3.1	7.50	4.31
1987	9.62	67.7	58.3	713	573	6.6	0.8	566	5.40	72.9	14.0	2.9	8.00	4.70
1988	9.33	61.7	54.5	709	594	5.4	0.9	588	5.60	115.3	17.2	2.5	7.18	5.19
1989	8.65	58.3	51.7	712	605	5.6	0.9	598	5.68	93.3	14.2	2.1	8.85	6.22
1990	8.33	55.3	48.3	689	589	5.8	0.9	582	5.79	101.7	16.4	2.4	7.82	6.08
1991	8.49	52.3	45.3	660	580	5.9	0.9	572	6.00	91.5	15.1	2.5	7.79	5.86
1992	8.42	49.9	40.8	690	577	5.4	1.2	570	6.16	91.2	17.7	2.8	6.77	5.19
1993	8.29	47.3	40.4	656	581	3.2	0.9	577	6.18	88.1	13.3	2.3	8.24	5.42
1994	8.33	44.8	39.4	660	580	3.9	1.1	575	6.29	83.6	14.0	2.2	7.10	5.87
1995	8.22	41.3	37.0	667	576	3.5	1.2	571	6.47	90.1	13.1	2.3	7.47	5.89
1996	8.27	40.9	36.0	681	575	4.5	1.1	569	6.68	107.4	22.3	2.3	7.17	4.56
1997	8.41	37.7	33.7	673	568	4.2	1.1	563	6.96	107.4	23.1	2.2	8.82	6.73

C.I.P.E.L. : 14/04/98

## Remarques :

Les méthodes de calcul pour les concentrations moyennes pondérées et les stocks, ainsi que les volumes d'eau des différentes couches du Léman sont indiqués dans BLANC et al., 1996.

## ANNEXE 3

## Stocks en tonnes - Lac Léman (Grand Lac)

Année	Oxygène	P tot.	P-PO4	N tot.	Nmintot	N-NH4	N-NO2	N-NO3	Cl	C.O.P.	P partic	N partic
	Tonnes	Tonnes	Tonnes	Tonnes	Tonnes	Tonnes	Tonnes	Tonnes	Tonnes	Tonnes	Tonnes	Tonnes
1957	827 900	1 150			22 824	25	109	22 690				
1958	883 900	960			25 370	75	145	25 150				
1959	822 000	890			26 733	30	93	26 610				
1960	819 800	1 320			29 931	105	96	29 730				
1961	802 000	1 720			31 370	290	80	31 000				
1962	885 200	1 750			37 527	770	127	36 630				
1963	883 100	2 970			26 839	510	129	26 200				
1964	874 900	5 050			29 275	750	115	28 410				
1965	878 500	4 870			33 459	375	114	32 970				
1966	894 400	3 760			31 071	415	116	30 540				
1967	823 700	2 320			26 887	180	87	26 620				
1968	808 300	3 640			31 888	465	63	31 360				
1969	772 100	3 580			30 403	360	93	29 950				
1970	830 600	6 920			32 804	245	109	32 450				
1971	830 500	5 790	3 910		32 668	770	138	31 760	237 000			
1972	792 400	6 090	4 830		34 426	1 255	141	33 030	251 000			
1973	801 900	6 900	5 660	49 180	35 306	1 185	201	33 920	271 000			
1974	781 700	6 700	5 420	50 350	37 544	1 180	164	36 200	295 000			
1975	767 500	7 200	5 670	51 970	38 292	905	167	37 220	314 000			
1976	716 800	7 670	6 200	53 820	38 916	1 000	116	37 800	329 000			
1977	712 100	7 660	6 340	52 140	40 115	960	155	39 000	347 000			
1978	732 300	7 440	6 290	52 860	40 558	595	153	39 810	358 000			
1979	765 500	7 670	6 340	54 970	39 929	470	129	39 330	372 000			
1980	776 200	7 070	6 130	56 270	41 574	635	159	40 780	376 000			
1981	798 600	7 080	6 130	58 970	43 490	680	90	42 720	388 000			
1982	791 600	6 640	5 950	57 830	45 274	720	104	44 450	394 000			
1983	787 600	6 460	5 760	59 360	48 000	875	105	47 020	403 000			
1984	810 200	6 550	5 790	60 500	48 488	965	83	47 440	418 000			
1985	817 600	6 260	5 570	62 970	48 855	1 205	50	47 600	439 000			
1986	842 600	6 150	5 300	61 500	47 812	580	72	47 160	454 000	9 138	262	1 630
1987	824 200	5 800	5 000	61 130	49 169	570	69	48 530	462 000	6 247	249	1 203
1988	799 940	5 290	4 665	60 750	50 882	458	74	50 350	480 200	9 882	217	1 472
1989	741 520	4 995	4 430	61 020	51 776	482	74	51 220	486 300	7 993	179	1 220
1990	714 200	4 740	4 145	59 000	50 460	493	77	49 890	496 200	8 715	209	1 400
1991	727 600	4 480	3 880	56 540	49 670	509	81	49 080	514 000	7 840	218	1 292
1992	721 550	4 275	3 495	59 150	49 389	464	105	48 820	528 300	7 811	241	1 515
1993	710 190	4 050	3 460	56 210	49 814	274	80	49 460	529 700	7 548	197	1 142
1994	714 185	3 835	3 380	56 550	49 701	334	92	49 275	538 930	7 166	185	1 203
1995	704 075	3 535	3 170	57 140	49 348	302	101	48 945	554 670	7 722	193	1 123
1996	708 680	3 505	3 085	58 350	49 205	382	93	48 730	572 410	9 205	198	1 913
1997	721 005	3 230	2 885	57 690	48 701	357	94	48 250	596 140	9 207	185	1 981