

# ÉVOLUTION PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DU LÉMAN

Campagne 2000

PAR

**François RAPIN**

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

**Pascale NIREL et Roger REVACLIER**

SERVICE CANTONAL D'HYDROBIOLOGIE, CP 78, CH - 1211 GENÈVE 8

**Jérôme LAZZAROTTO**

STATION D'HYDROBIOLOGIE LACUSTRE (INRA-UMR/CARTEL), BP 511, FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex

**Claude CORVI**

SERVICE DE PROTECTION DE LA CONSOMMATION, CP 166, CH - 1211 GENÈVE 4

## RÉSUMÉ

*Après un brassage presque complet du Grand Lac en mars 1999, l'hiver 1999-2000 n'a pas été suffisamment froid pour susciter un brassage permettant de réoxygéner les eaux profondes. On peut estimer que la circulation hivernale des eaux a atteint 150 mètres en mars 2000. La concentration des eaux du fond du Grand Lac est alors de 5.84 mg O<sub>2</sub>/l au mois de mars et chute avec un minimum de 2.35 mg O<sub>2</sub>/l au mois d'octobre. La concentration en oxygène dissous est inférieure à 4 mg O<sub>2</sub>/l du mois de septembre à la fin de l'année pour les eaux du fond du Grand Lac.*

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

*La température des eaux du fond du Grand Lac reste stable depuis 4 ans aux alentours de 5.8 °C, après un accroissement régulier de 1 °C sur la décennie 1987-1997.*

*La transparence maximale de 13 mètres mesurée mi-février et début mars 2000, bien que faible comparée à 1999, année relativement exceptionnelle (17.5 mètres en mars), correspond aux valeurs des années précédentes.*

*Après trois années, de 1997 à 1999, où le phosphore total du lac est resté relativement constant, on observe en 2000 une baisse significative de la concentration en phosphore total dans le lac : de 39.2 µg P/l en 1999 à 36.5 µg P/l en 2000.*

*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. Des traces d'herbicides triaziniques et de métolachlore sont toujours décelées dans les eaux du lac. Bien que les concentrations demeurent faibles, et probablement sans effet toxique sur l'écosystème, il faut relever que leur présence n'est pas souhaitable et que toute mesure visant à en limiter l'apport est à encourager. Les teneurs en NTA et EDTA des eaux du lac restent faibles et respectent les tolérances requises pour les eaux de boisson.*

## 1. MÉTHODES

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

- SHL2 au centre du Grand Lac entre Evian et Lausanne (coord. : 534.70/144.95), correspond à la partie la plus profonde du lac (309.7 m),
- GE3 au centre du Petit Lac dans la fosse de Chevrens, entre Coppet et Chevrens (coord. : 506.10/128.04) (71 m).

La station SHL2 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 mensuelle de décembre à février, mois pendant lesquels l'activité biologique est réduite, puis bimensuelle de mars à novembre, lorsque l'activité est intense et subit de fortes et rapides fluctuations. Il y a eu 18 campagnes de prélèvements en 1999.

Les prélèvements sont effectués, selon des techniques uniformisées, par la Station d'Hydrobiologie Lacustre (INRA-UMR/CARTELE-Thonon-les-Bains), qui procède également à diverses mesures "in situ".

Les échantillons sont analysés par le laboratoire de la Station d'Hydrobiologie Lacustre (INRA-UMR/CARTELE-Thonon-les-Bains). La validité des résultats est périodiquement testée par des analyses interlaboratoires auxquelles participent environ 20 laboratoires. En 2000, les résultats analytiques sont concordants (STRAWCZYNSKI, 2001).

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

Certains métaux et micropolluants organiques sont recherchés, à différentes 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. Les herbicides décelés antérieurement dans les eaux du Léman et 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 ont été recherchés. Quelques dosages d'EDTA et de NTA ont également été effectués. La liste des produits recherchés est donnée en annexe 1. La méthodologie analytique est décrite dans CORVI et KHIM-HEANG (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'hydrobiologie de Genève.

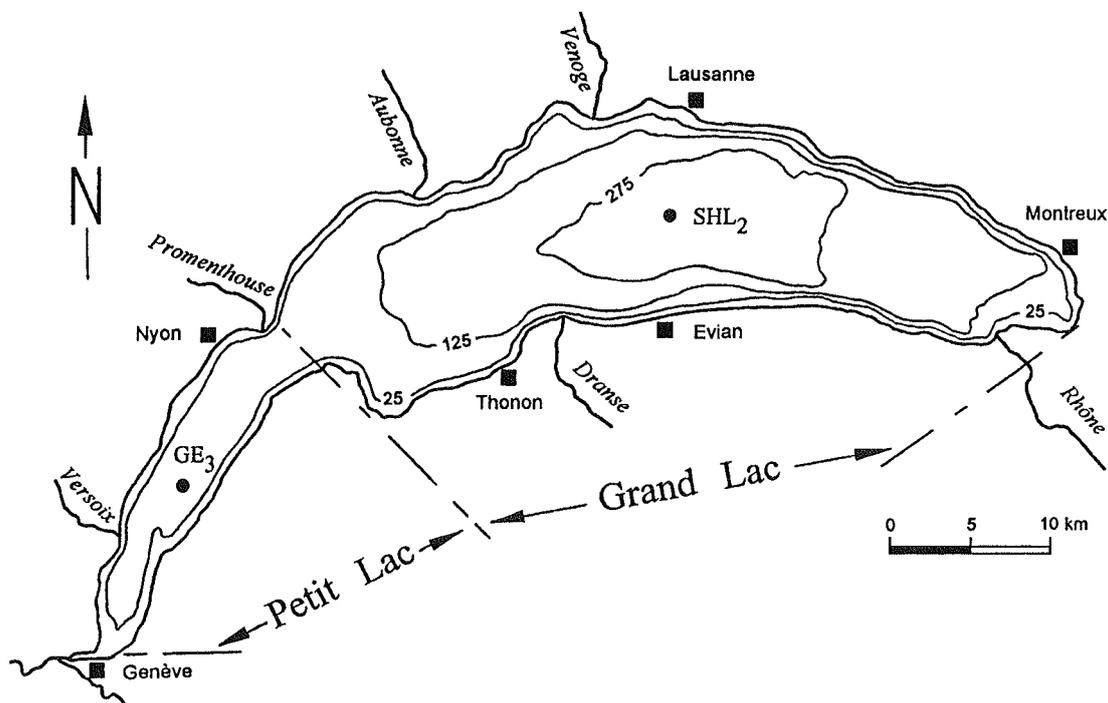
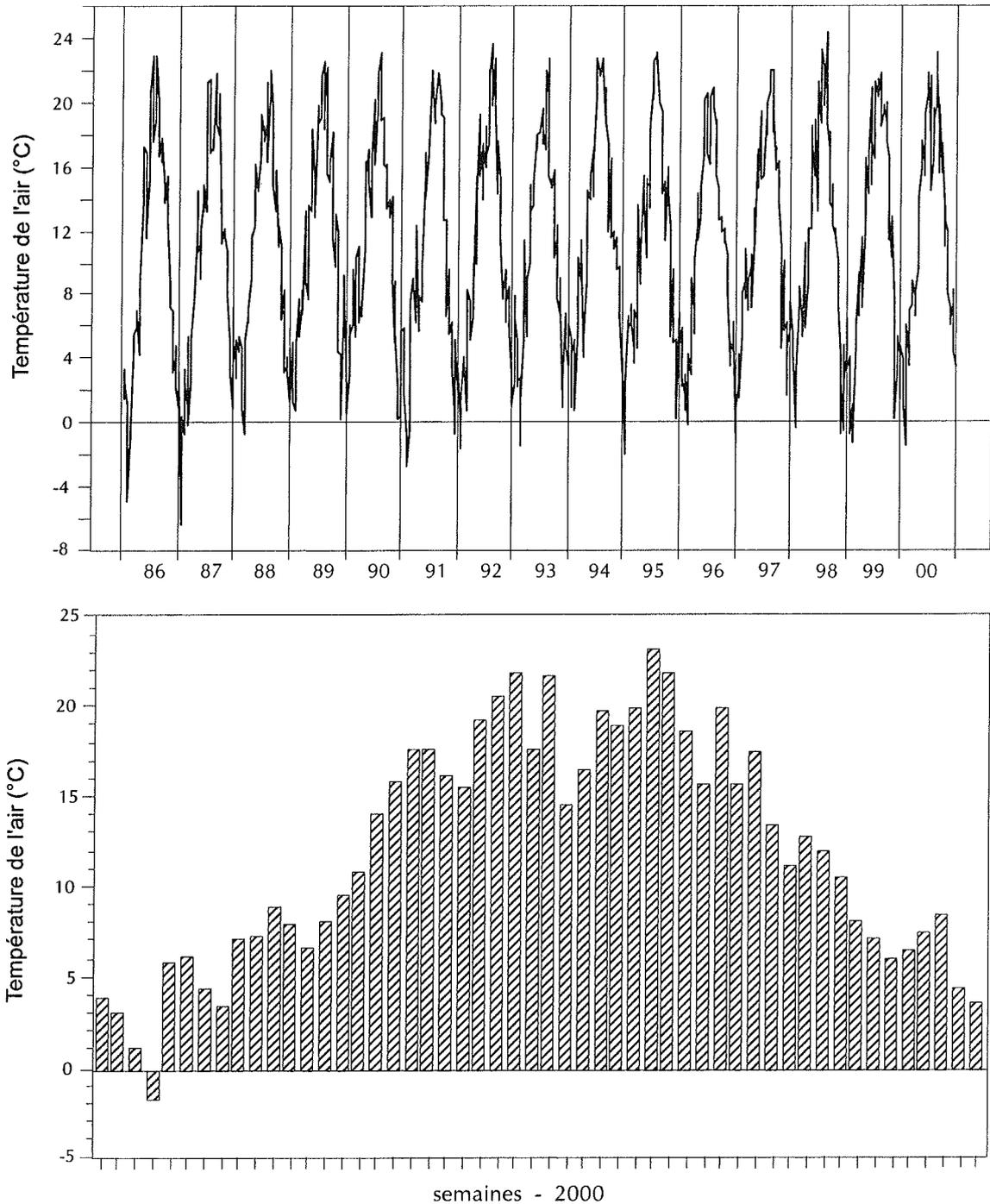


Figure 1 : Situation des points de prélèvement

## 2. ÉVOLUTION PHYSICO-CHEMIQUE DES EAUX DU GRAND LAC

### 2.1 Régime thermique et influence sur la stratification ou le mélange des eaux

Les températures moyennes de l'air (figures 2a et 2b) durant l'hiver, et particulièrement au mois de février, n'ont pas été assez élevées pour permettre un brassage complet du Grand Lac (figure 3). Le brassage a été moins important qu'en mars 1999.



Figures 2 a : Température moyenne hebdomadaire de l'air à la station de Pully de 1986 à 2000  
b : Température moyenne hebdomadaire de l'air à la station de Pully en 2000

La réoxygénation des eaux profondes a donc été réduite. De ce fait, la concentration en oxygène dissous au fond du Grand Lac est moins importante qu'en 1999 où elle a atteint 9.1 mgO<sub>2</sub>/l. En 2000, le maximum atteint a été de 6.10 mgO<sub>2</sub>/l (figures 14 et 16).

## Température (°C) - Léman / Grand Lac (SHL 2) - 1996 à 2000

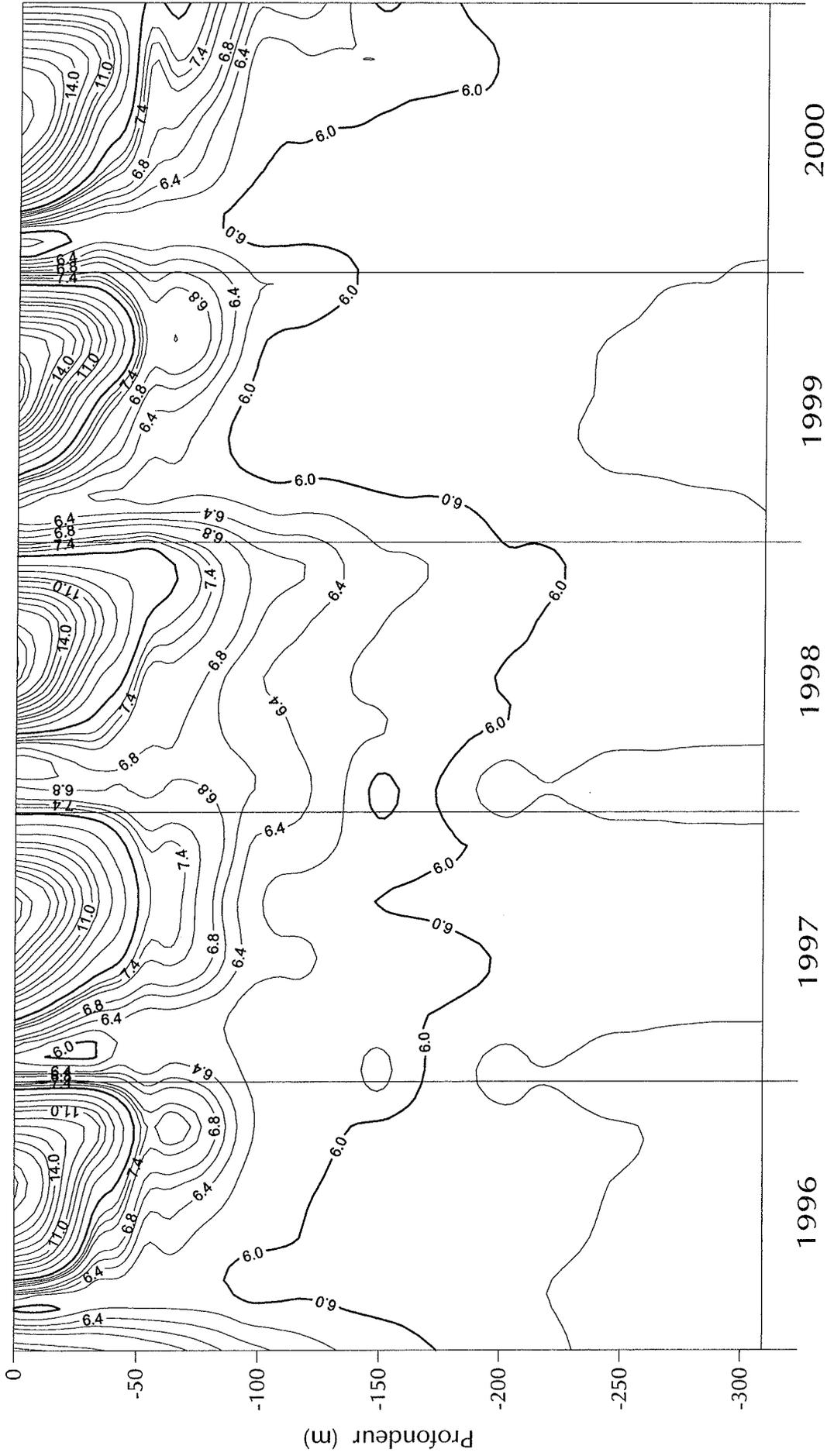


Figure 3 : Température des eaux du Léman (Grand Lac - SHL2) en fonction de la profondeur  
 N.B. : suivant le nombre d'années prises en considération, de très légères modifications de représentation graphique peuvent apparaître (différence de lissage des courbes d'isovaleurs)

On observe une tendance nette à l'augmentation de la température des eaux du Léman, aussi bien en profondeur (+ 1.36 °C à 309 mètres de 1963 à 2000 - figure 4) qu'en surface (+ 1.2 °C à 5 mètres de 1970 à 2000 - figure 5).

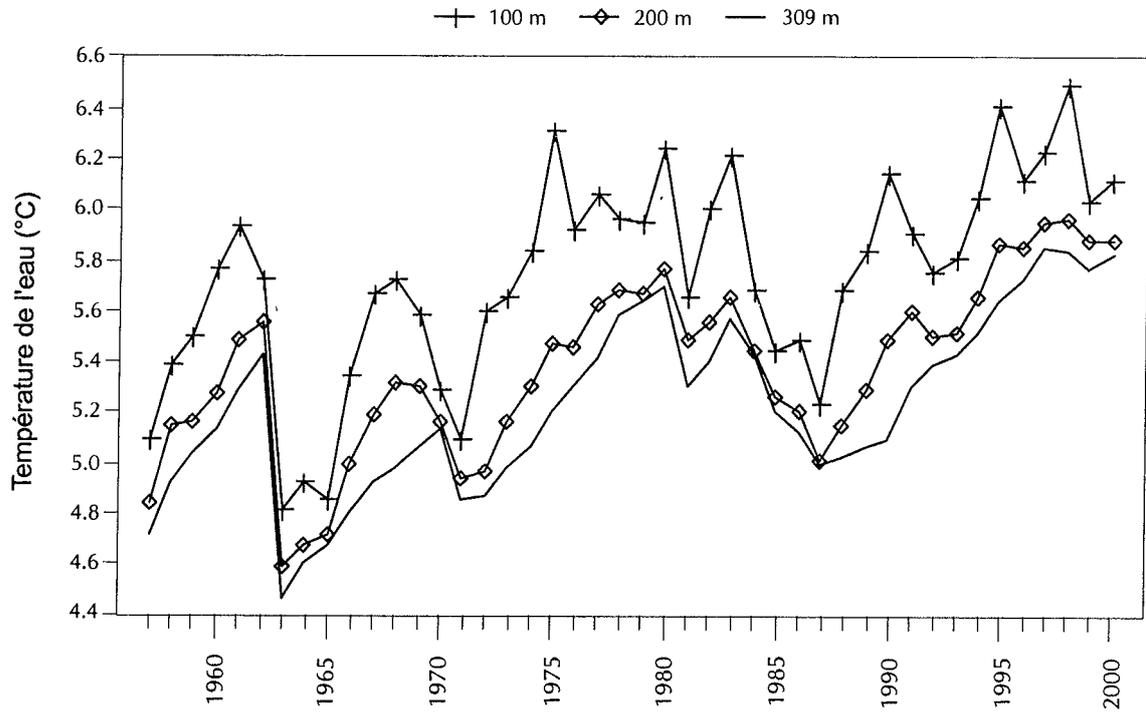


Figure 4 : Evolution de la température moyenne annuelle de l'eau à 100, 200 et 309 mètres de profondeur, Léman - Grand Lac (SHL2)

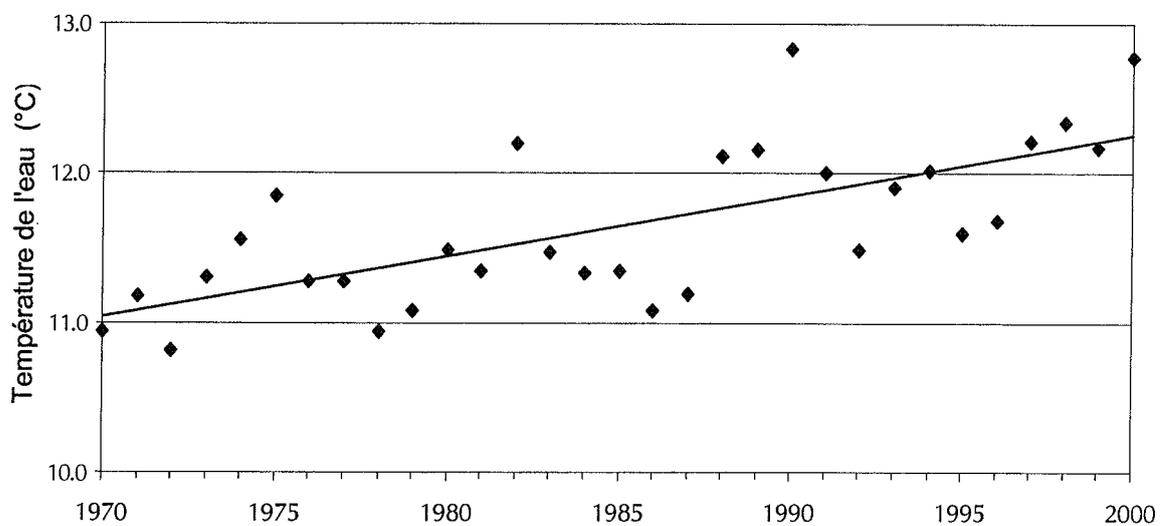


Figure 5 : Evolution de la température moyenne annuelle de l'eau du Léman à 5 mètres de profondeur - Grand Lac (SHL2)

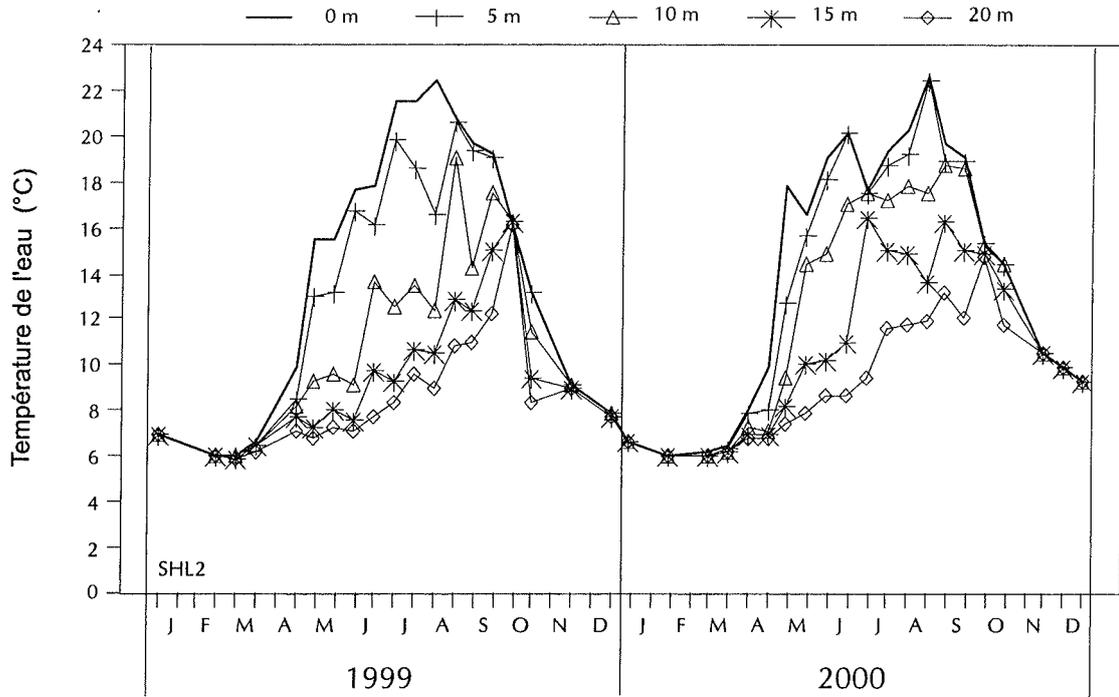


Figure 6 : Température de l'eau des couches superficielles (0, 5, 10, 15 et 20 m) Léman - Grand Lac (SHL2)

## 2.2 Evolution saisonnière dans les couches superficielles

### 2.2.1 Brassage hivernal et reprise de l'activité photosynthétique au printemps

Le brassage hivernal, moins important en 2000 qu'en 1999, a tout de même permis un renouvellement partiel des nutriments en provenance du fond. La concentration en phosphore dissous, après le brassage, est remontée à 34  $\mu\text{g P/l}$  en début mars 2000 dans les couches superficielles de 0 à 10 mètres (figure 7).

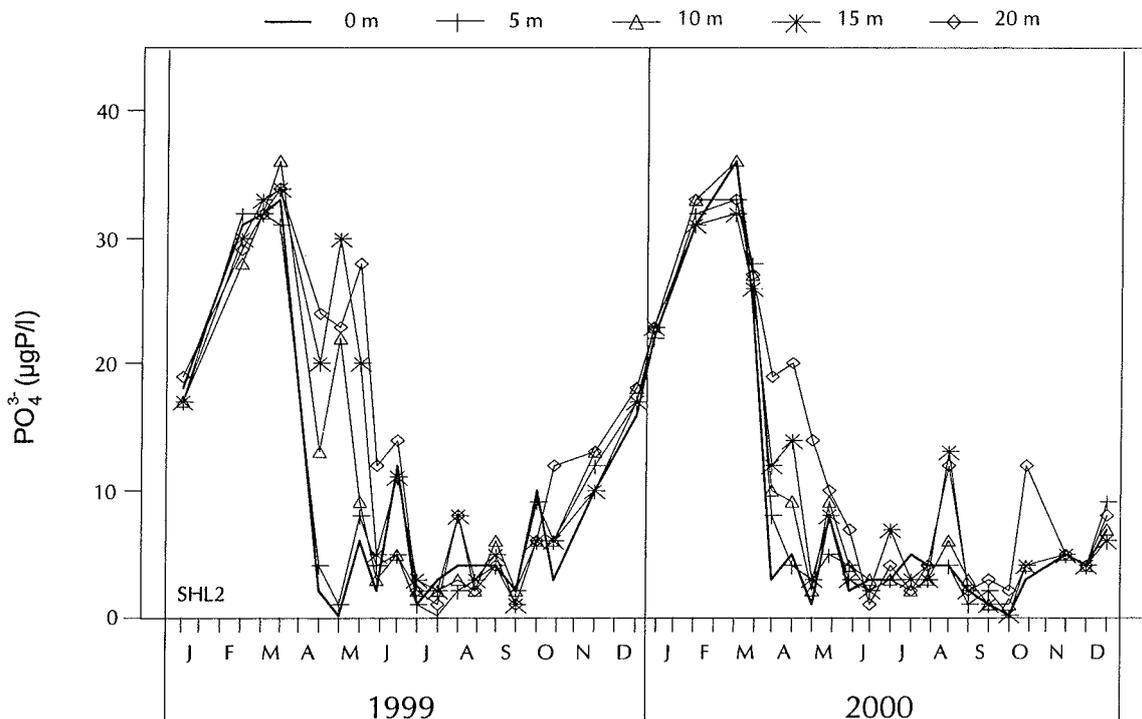


Figure 7 : Concentration en phosphore dissous ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) des eaux des couches superficielles (0, 5, 10, 15 et 20 m), Léman - Grand Lac (SHL2)

Parallèlement, l'azote nitrique est remonté à 556  $\mu\text{gN/l}$  (figure 8) et la silice dissoute à 1.58  $\text{mg/l}$  (figure 9) dans les couches superficielles au mois de mars 2000.

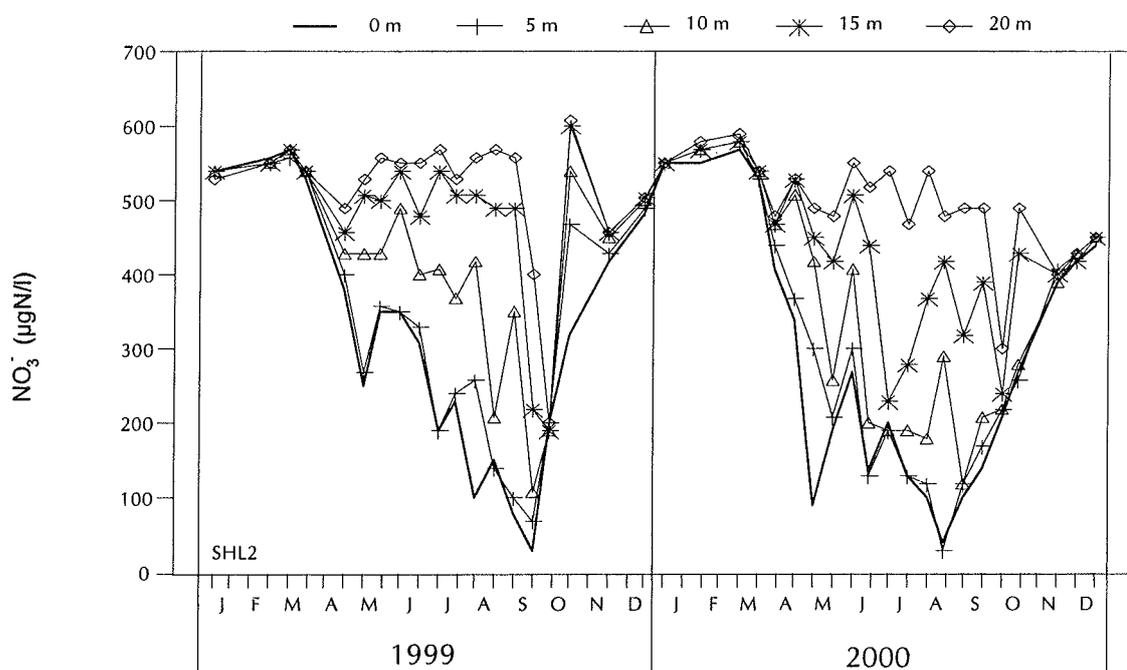


Figure 8 : Concentration en nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) des eaux des couches superficielles (0, 5, 10, 15 et 20 m), Léman - Grand Lac (SHL2)

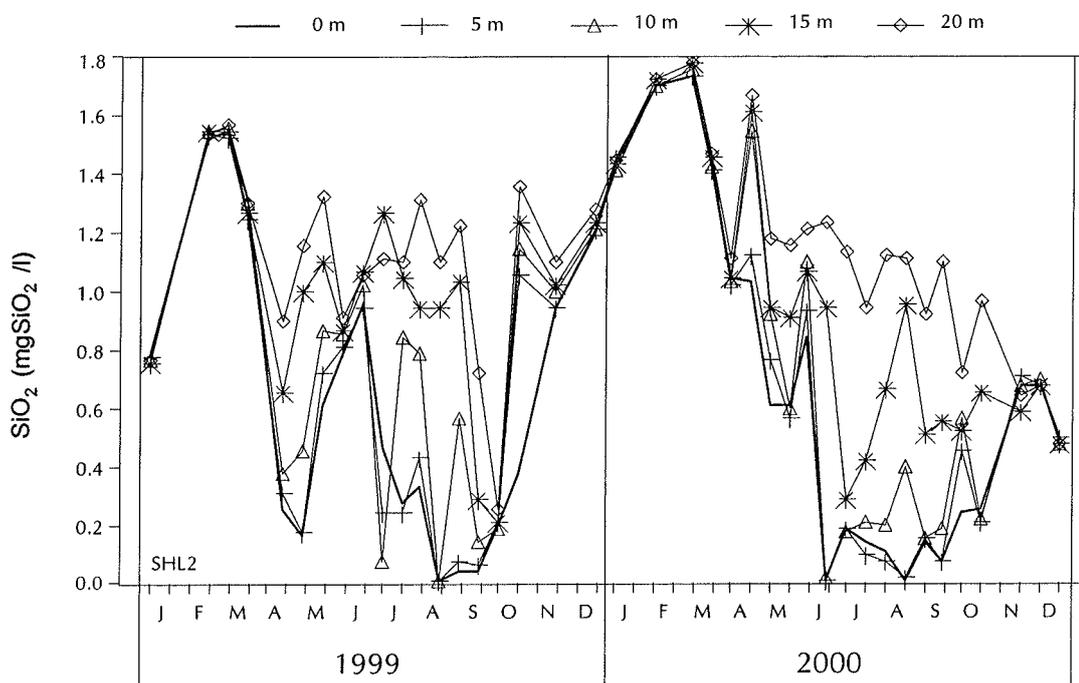


Figure 9 : Concentration en silice dissoute ( $\text{SiO}_2$ ) des eaux des couches superficielles (0, 5, 10, 15 et 20 m), Léman - Grand Lac (SHL2)

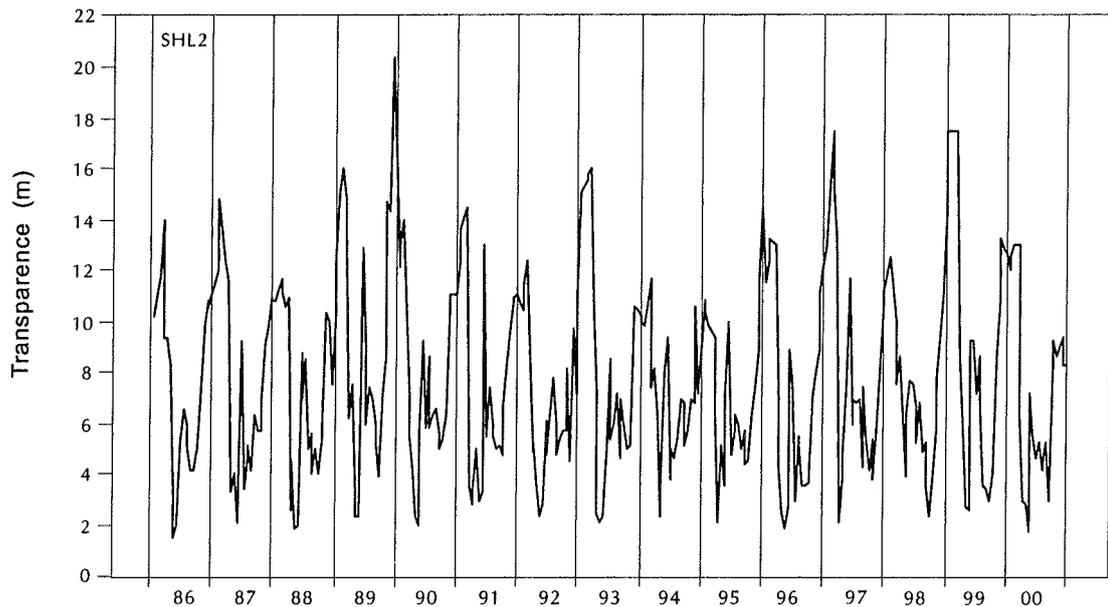


Figure 10 : Transparence mesurée avec le disque de Secchi, Léman - Grand Lac (SHL2)

L'activité phytoplanctonique printanière s'est développée dès le début du mois d'avril, parallèlement au réchauffement des couches superficielles, et est légèrement moins importante qu'en 1999.

A partir de début avril, on observe une chute des nutriments qui correspondent à cette reprise de l'activité phytoplanctonique : le phosphore dissous, les nitrates et la silice chutent à la même période; alors que l'oxygène dissous augmente (figures 7, 8, 9 et 11).

La consommation de ces nutriments est légèrement plus importante et moins tardive qu'en 1999.

Cette activité est accompagnée d'un pic en carbone particulaire et en azote particulaire et atteint un maximum lors de la campagne du 9 avril 2000 (figure 13).

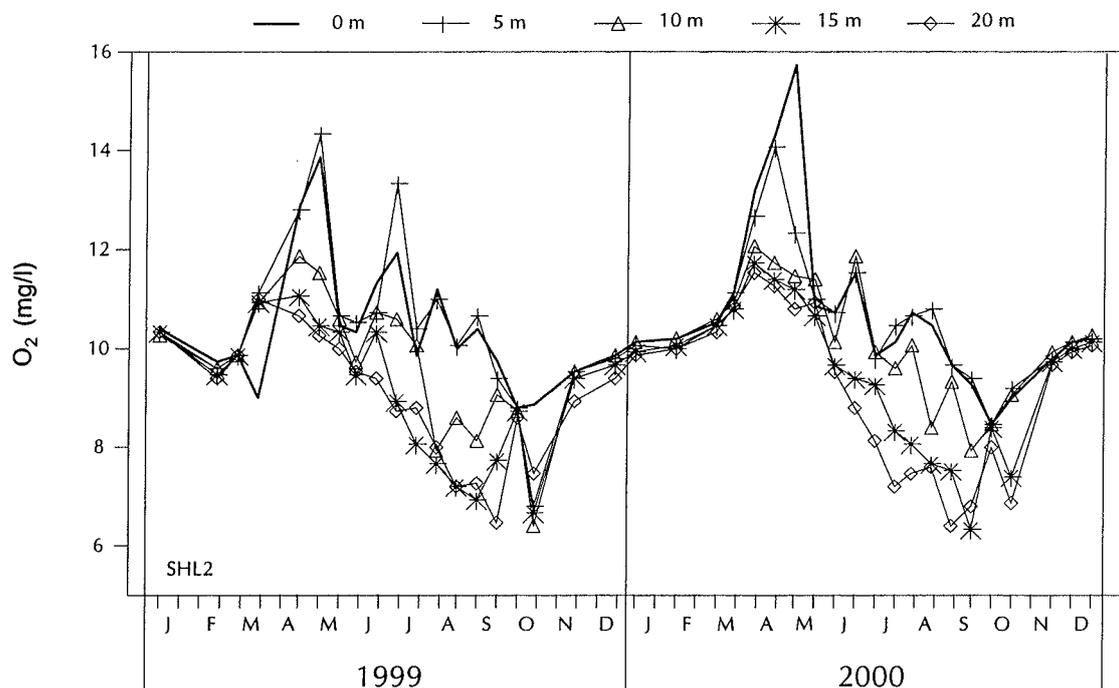


Figure 11 : Concentration en oxygène dissous des eaux des couches superficielles (0, 5, 10, 15 et 20 m), Léman - Grand Lac (SHL2)

### 2.2.2 Reste de l'année

La période des « eaux claires » est observée de la fin mai à début juin : on constate une nette mais brève augmentation de la transparence mesurée à l'aide du disque de Secchi (figure 10) avec 7.2 m le 23 mai 2000 et 5.5 m le 13 juin.

L'azote ammoniacal présente de très fortes valeurs (de 39 à 77  $\mu\text{g N/l}$ ) durant cette période dans les couches superficielles (figure 12) dans le Grand Lac. Cette augmentation de la teneur en azote ammoniacal correspond au développement intense du zooplancton et de ses excréments (BALVAY, 2001).

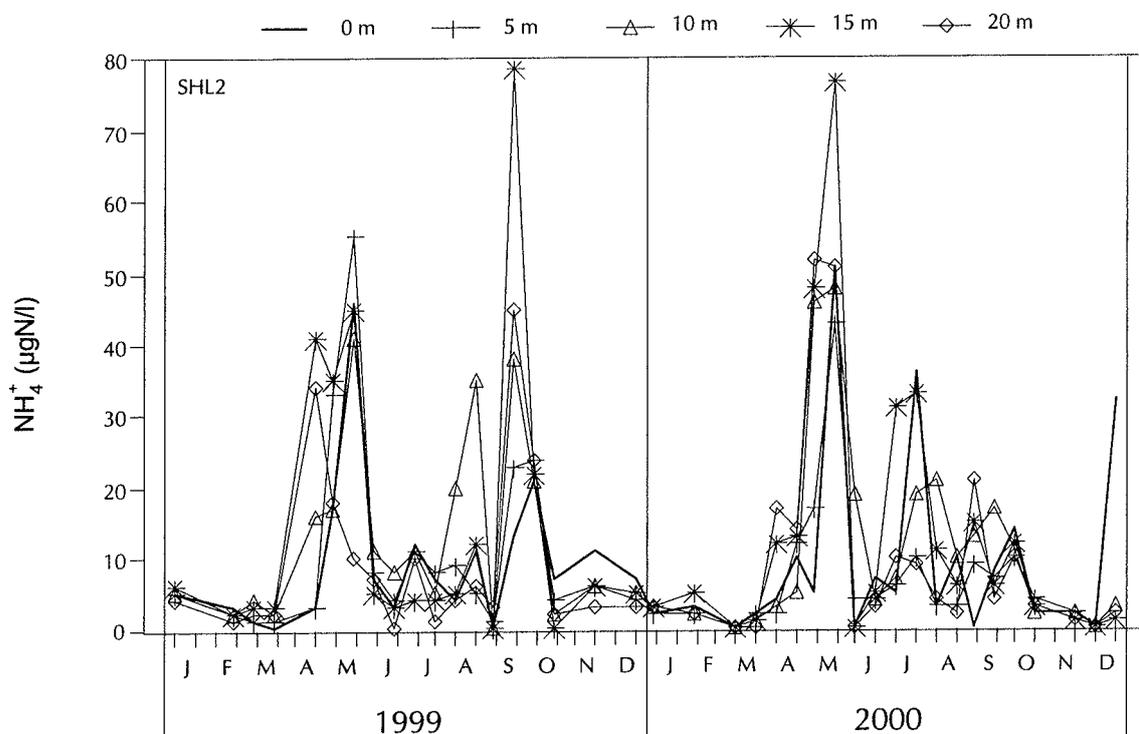


Figure 12 : Concentration en azote ammoniacal des eaux des couches superficielles (0, 5, 10, 15 et 20 m), Léman - Grand Lac (SHL2)

Pendant l'été 2000, la consommation des nutriments a été plus importante que l'année précédente.

On constate que le phosphore dissous reste dans les couches superficielles à des concentrations très faibles jusqu'à la fin de l'année, ce qui est exceptionnel (figure 7). Ceci est dû à l'activité phytoplanctonique qui s'est maintenue pendant tout l'hiver 2000-2001, les températures de l'hiver ayant été particulièrement clémentes. Les températures dans les couches superficielles en décembre 2000 sont supérieures de presque  $3^\circ\text{C}$  par rapport à décembre 1999 (figure 6).

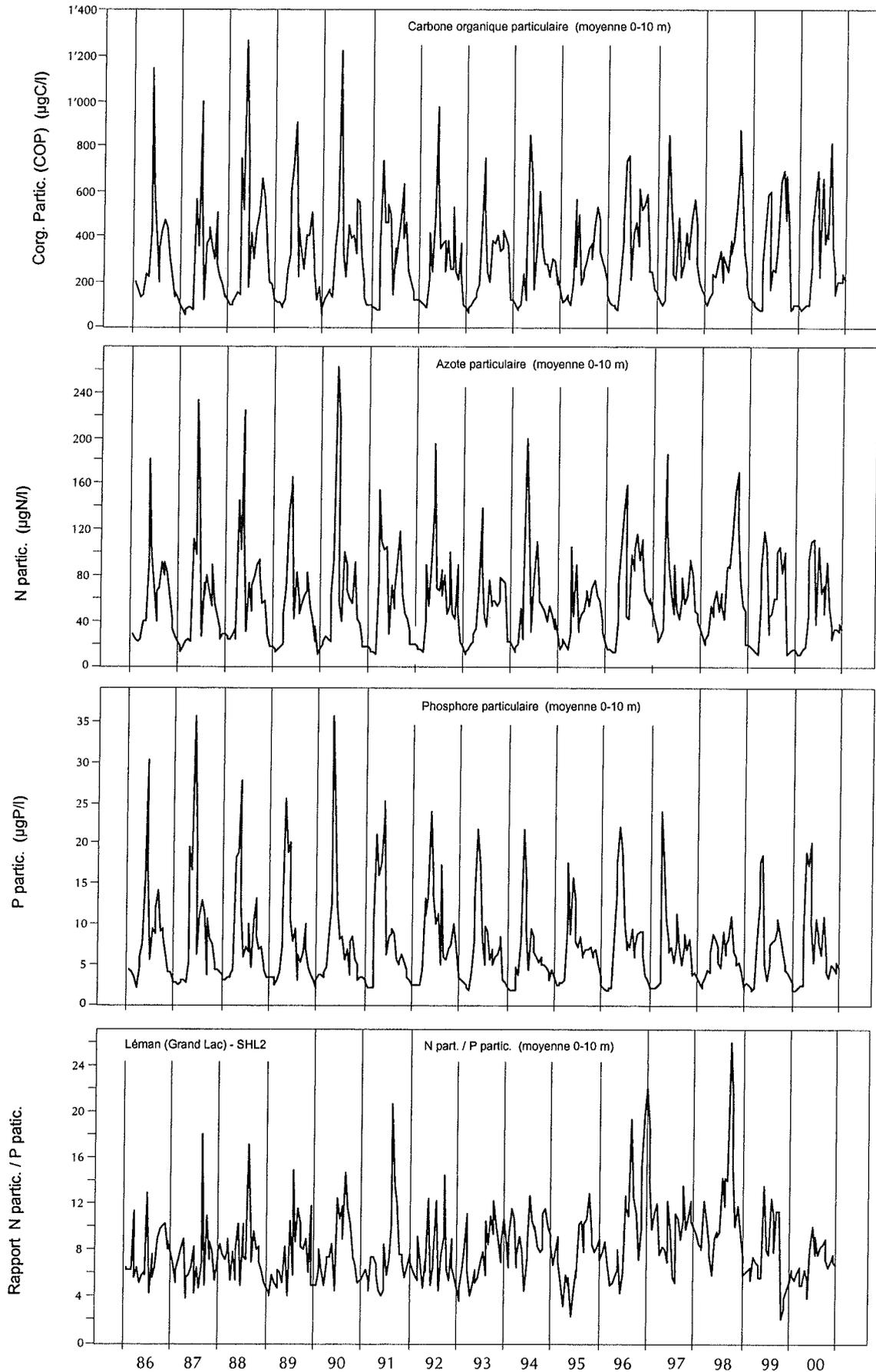


Figure 13 : Concentrations en carbone organique, azote et phosphore particulaires des eaux de la couche superficielle (0-10 m) et rapport Nparticulaire / Pparticulaire, Léman - Grand Lac (SHL2)

### 2.3 Evolution saisonnière dans les couches profondes

Depuis 1986, on n'a pas observé de brassage absolument complet du lac; la température des eaux de surface n'a plus atteint la température des eaux profondes, condition permettant le brassage complet des eaux et une homogénéisation chimique du Léman. On a observé en 1999 un brassage presque complet (figures 14 et 16). L'homogénéisation de la colonne d'eau, jusqu'à 100 – 150 m, reste importante après le brassage de l'hiver 1999 ( $O_2$  - figure 16).

La moyenne pour 2000 de la teneur en oxygène au fond du Grand Lac est de  $4.51 \text{ mg } O_2/l$ . Elle descend en dessous de  $4 \text{ mg } O_2/l$  à la fin du mois de septembre et reste en dessous de  $4 \text{ mg } O_2/l$  jusqu'à la fin de l'année.

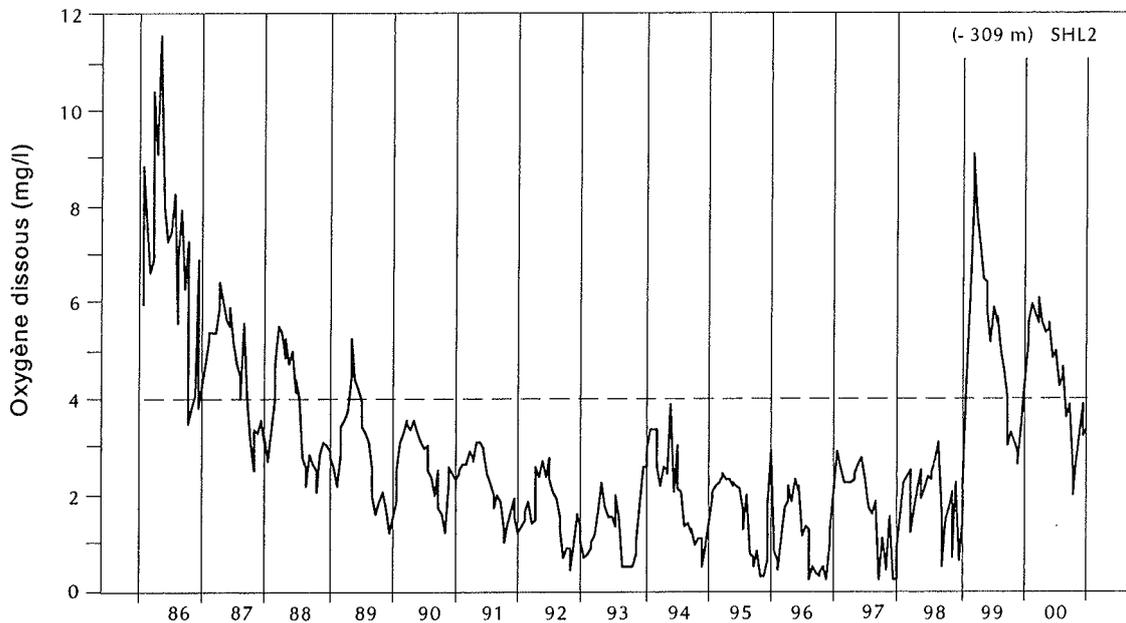


Figure 14 : Concentration en oxygène dissous des eaux du fond, Léman - Grand Lac (SHL2)

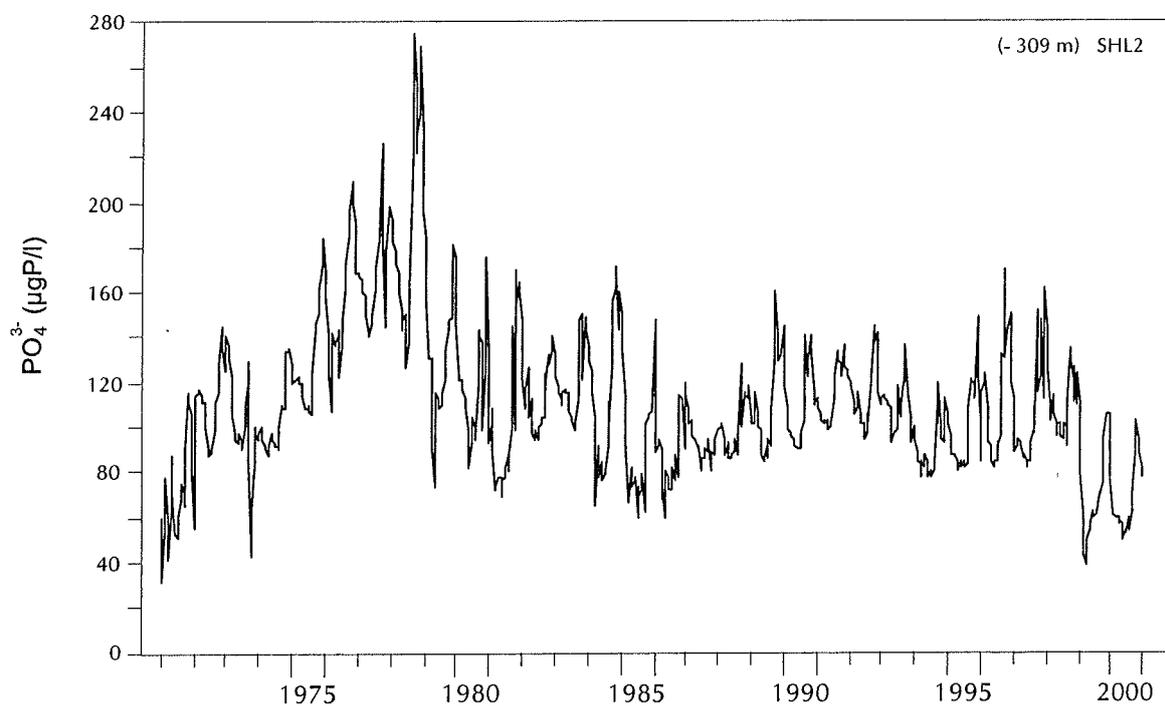


Figure 15 : Concentration en phosphore dissous ( $PO_4^{3-}$ ) des eaux du fond, Léman - Grand Lac (SHL2)

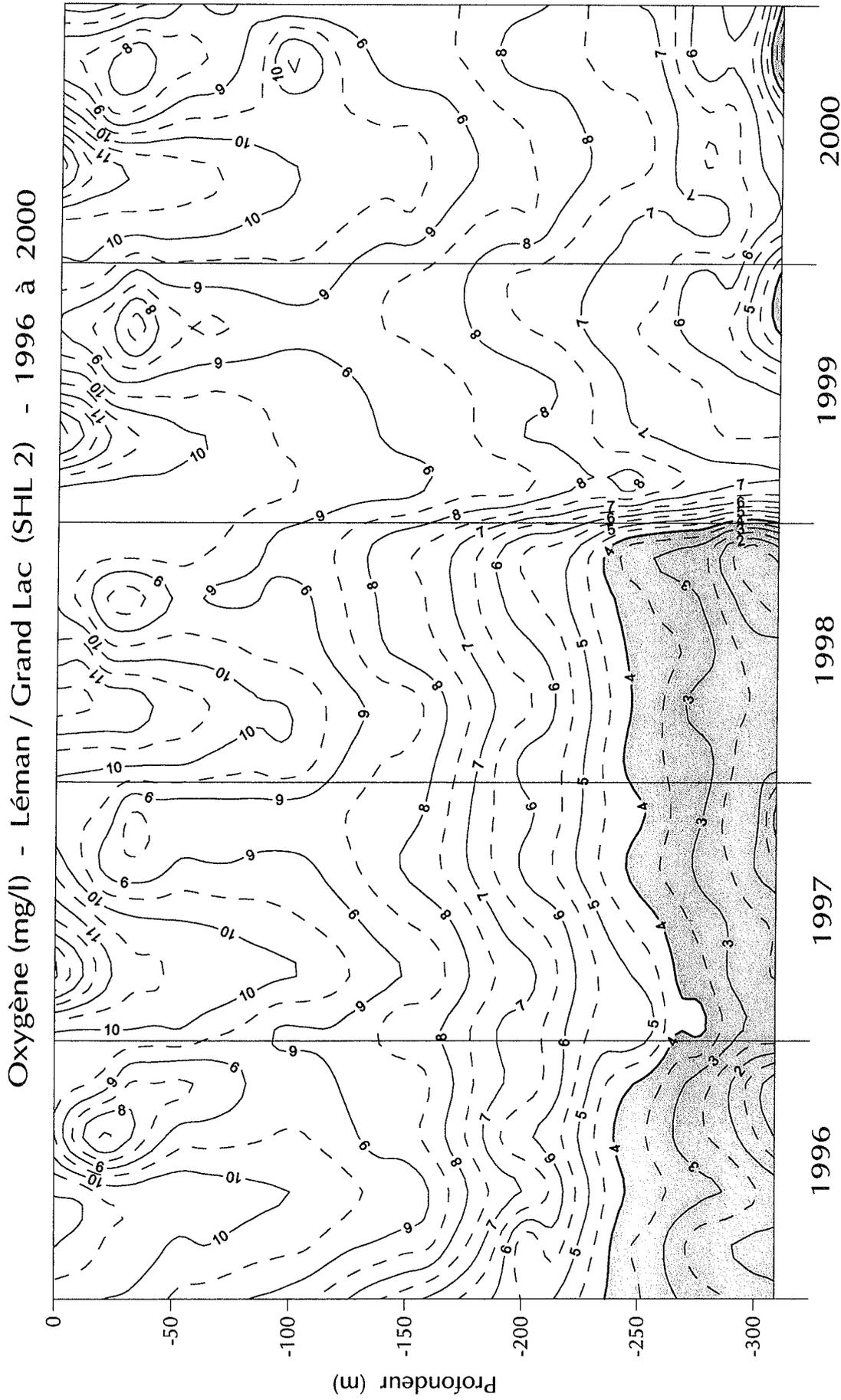


Figure 16 : Concentration en oxygène dissous des eaux du Léman (Grand Lac - SHL2) en fonction de la profondeur (zone grisée = concentration inférieure à 4 mg O<sub>2</sub>/l)

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)

Lors de la campagne du 12 octobre 2000, on observe une diminution de l'oxygène dissous au fond du Grand Lac, accompagnée d'une augmentation en phosphore dissous, mais cette diffusion du phosphore depuis les sédiments reste faible :  $103 \mu\text{g P/l}$  et du même ordre de grandeur qu'en 1999 (figure 15).

L'oxygénation dans les eaux profondes a été suffisante pour limiter la réduction des sels de manganèse et leur diffusion à partir des sédiments (figure 17).

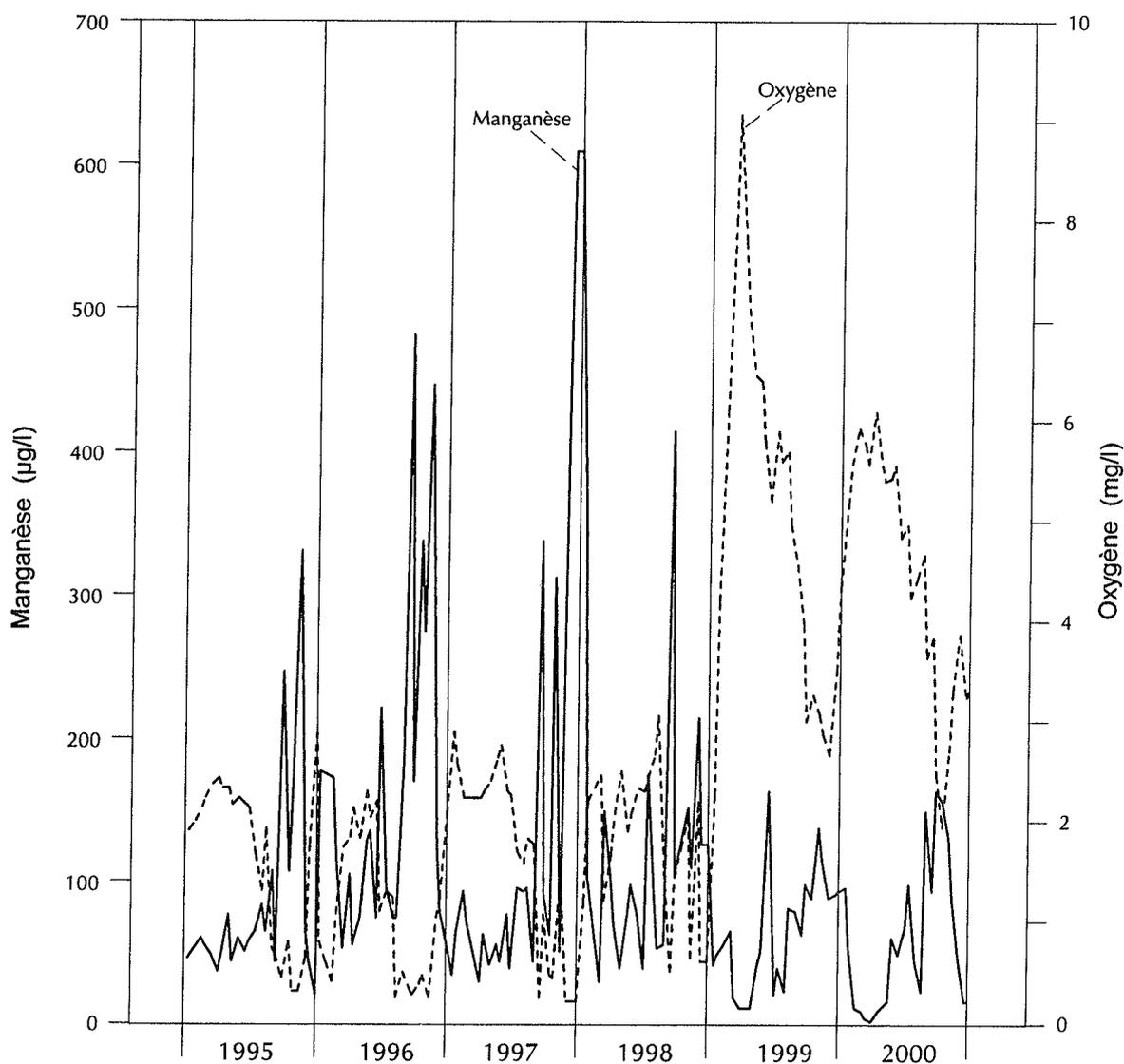


Figure 17 : Evolution comparée des concentrations en manganèse total et en oxygène dissous dans les eaux du fond du Léman - Grand Lac (SHL2)

## 2.4 Evolution 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).

### 2.4.1 Oxygène dissous (figures 14, 16 et 18)

Après plusieurs années où l'oxygène dissous au fond du Grand Lac fut inférieur à 4 mg O<sub>2</sub>/l tout au long de l'année, l'hiver 1998-1999 a vu se produire un brassage presque complet du Grand lac assurant une bonne réoxygénation des eaux profondes. Le brassage de l'hiver 1999 – 2000, bien que superficiel, a ramené la concentration en oxygène des eaux profondes à plus de 6 mg O<sub>2</sub>/l en mars 2000.

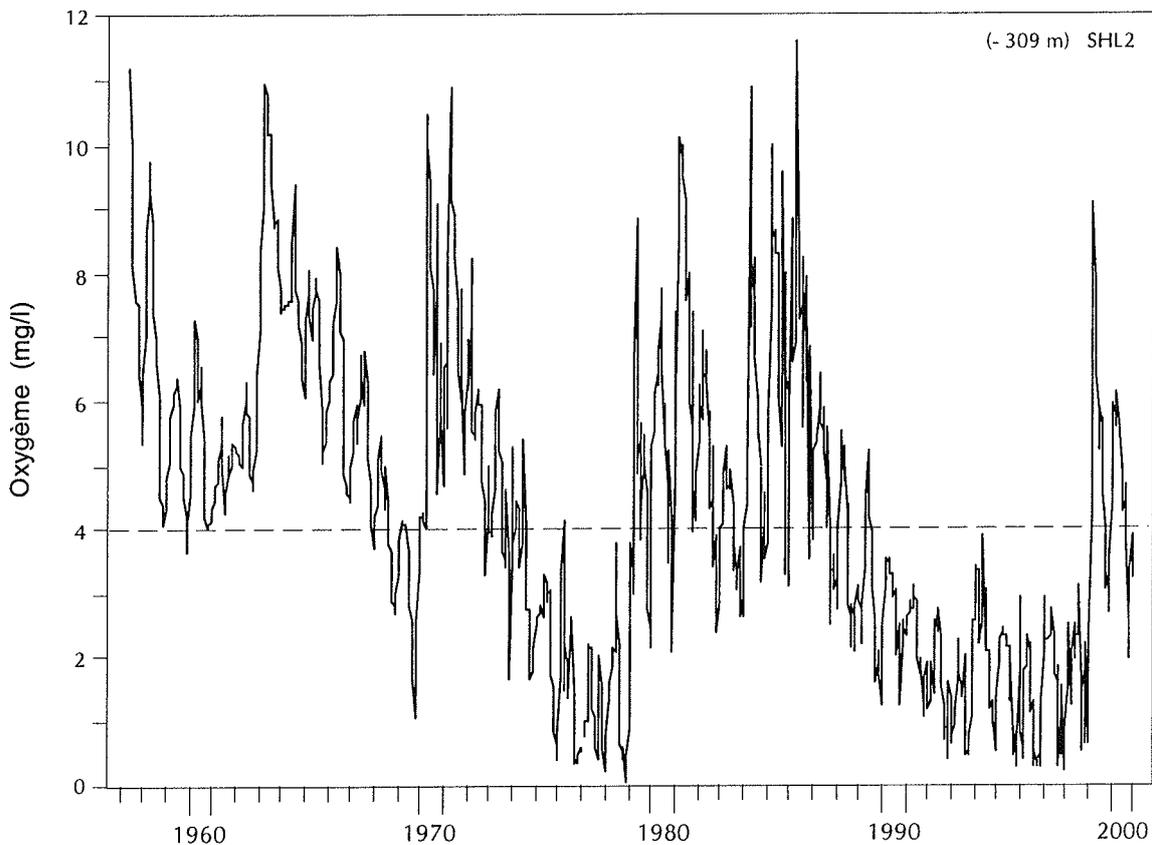


Figure 18 : Concentration en oxygène dissous des eaux au fond du Léman - Grand Lac (SHL2)

Sur les figures 14 et 18, la limite indiquée à 4 mg O<sub>2</sub>/l correspond aux exigences relatives à la qualité des eaux, Annexe 2 de l'Ordonnance suisse sur la protection des eaux (OEaux) du 28 octobre 1998 :

"Pour les lacs, il faut également que : ... la teneur en oxygène de l'eau ne soit, à aucun moment et à aucune profondeur, inférieure à 4 mg O<sub>2</sub>/l ... Les conditions naturelles particulières sont réservées".

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

$$C = \frac{\sum (C_i \cdot V_i)}{V}$$

avec  $C_i$  = concentration dans la strate  
 $V_i$  = volume de la strate  
 $V$  = volume total du Grand Lac

### 2.4.2 Phosphore dissous et phosphore total (figures 19 et 20)

En 2000, on mesure un stock moyen en baisse de près de 7 % par rapport à 1999. Les concentrations moyennes annuelles sont en 2000 de 36.5  $\mu\text{gP/l}$  pour le phosphore total et de 31.8  $\mu\text{gP/l}$  pour le phosphore dissous, ce qui correspond à une quantité de phosphore total contenu dans le Grand Lac de 3'130 tonnes et de 2'724 tonnes de phosphore dissous.

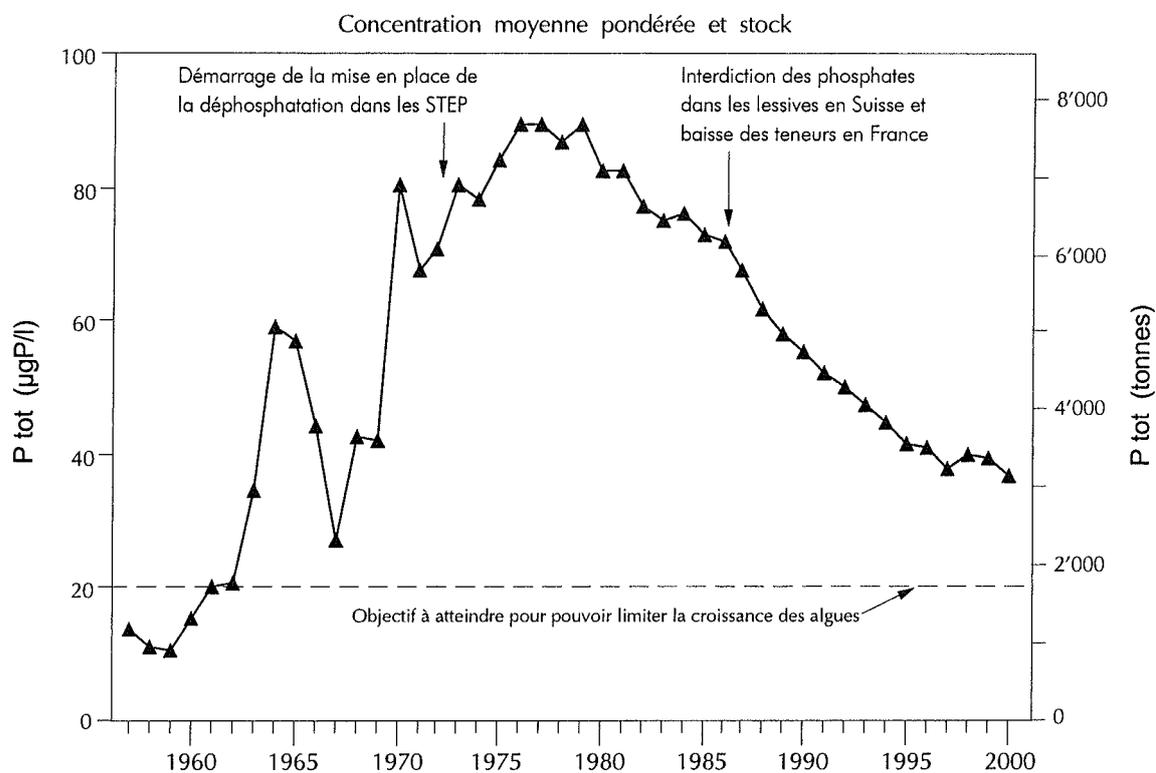


Figure 19 : Evolution de la concentration moyenne annuelle pondérée et du stock de phosphore total contenu dans le Grand Lac

La figure 20 montre l'évolution des concentrations en phosphore dissous dans les différentes couches pour les années 1996 à 2000.

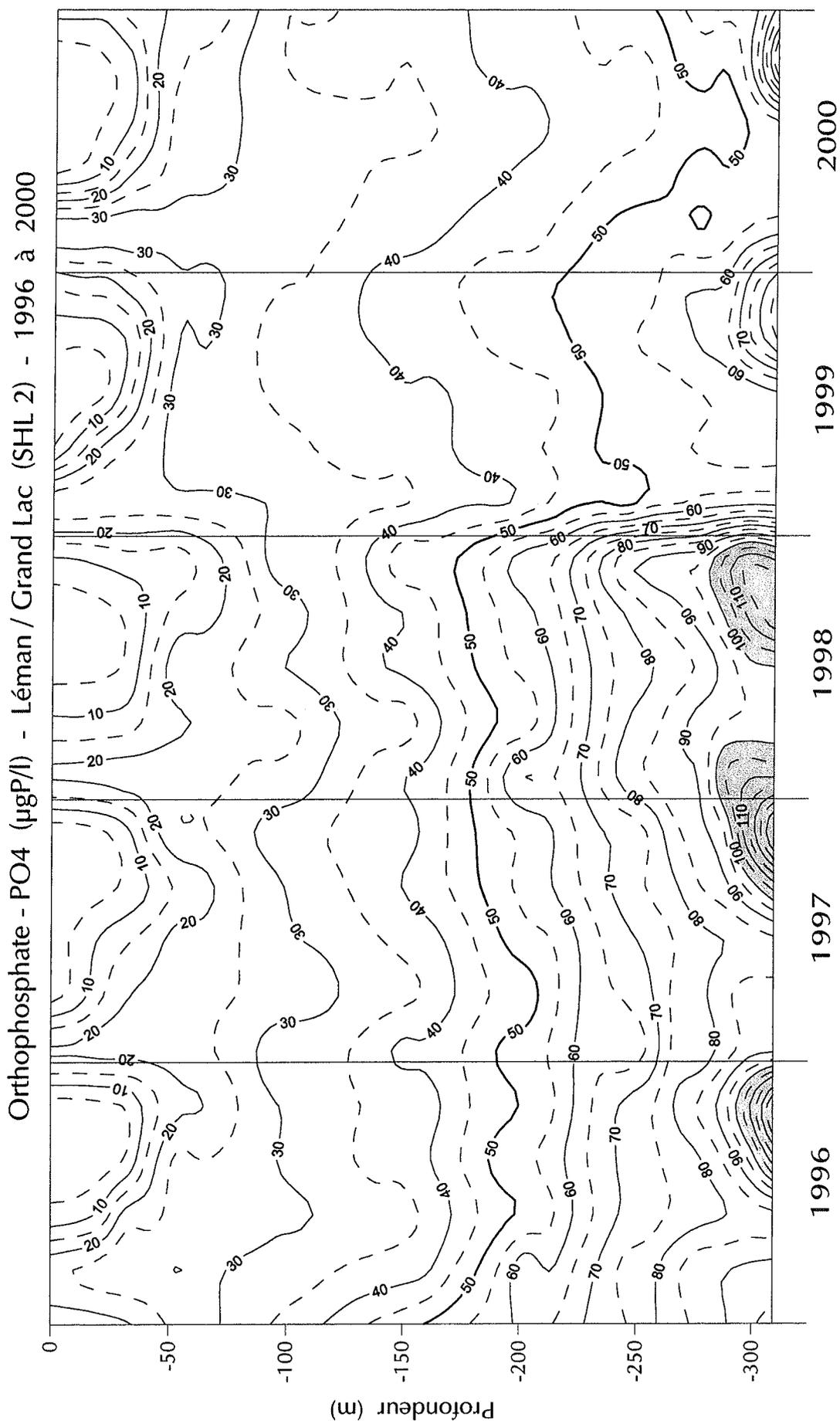


Figure 20 : Concentration en phosphore dissous (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) dans les différentes couches du Léman (SHL2)  
(Zone grisée = concentration supérieure à 100 µgP/l)

### 2.4.3 Transparence (figure 10)

L'évolution de la transparence mesurée à l'aide du disque de Secchi est représentée à la figure 10.

### 2.4.4 Azote nitrique et azote total (figure 21)

La teneur moyenne en azote nitrique reste stable depuis quelques années avec une valeur de l'ordre de 550  $\mu\text{g N/l}$  en 2000.

Par contre l'azote total diminue légèrement et passe de 660  $\mu\text{g N/l}$  en 1999 à 630  $\mu\text{g N/l}$  en 2000.

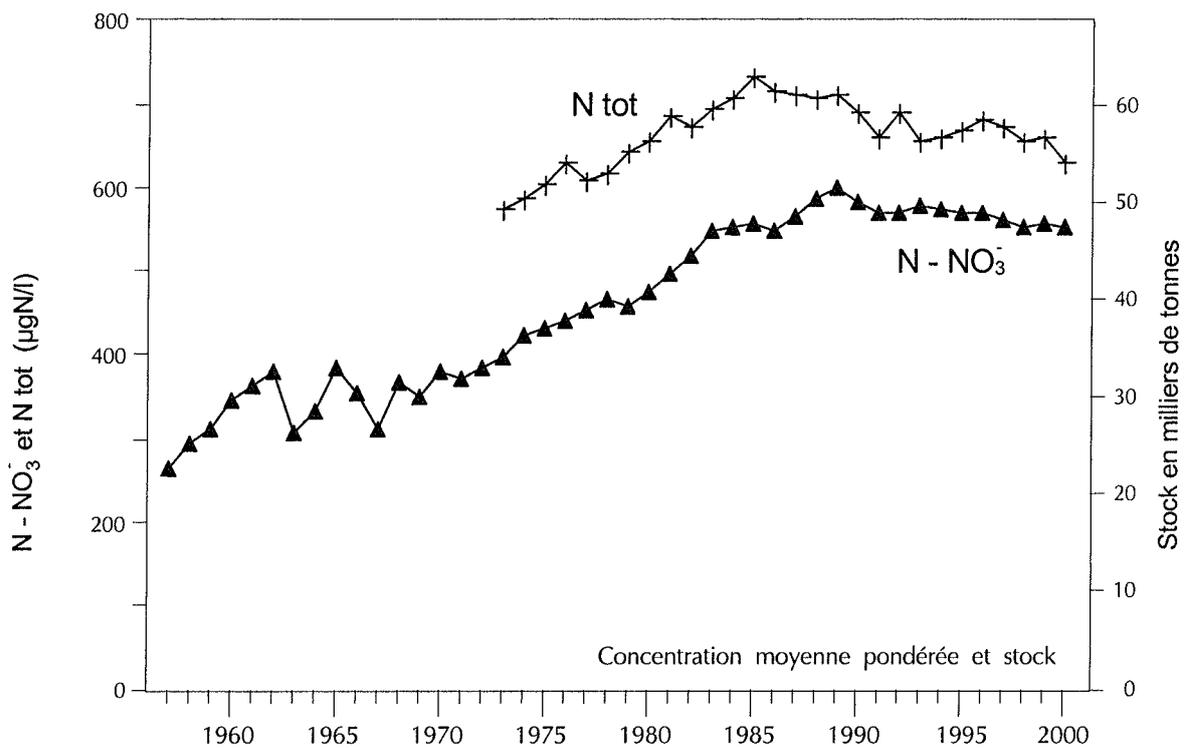


Figure 21 : Evolution de la concentration moyenne annuelle pondérée et des stocks d'azote total et d'azote nitrique contenus dans le Grand Lac (SHL2)

#### 2.4.5 Chlorure (figure 22)

Depuis 1971, on constate une augmentation constante de la teneur du Grand Lac en chlorure. Elle atteint 7.42 mg/l en 2000 contre 2.73 mg/l en 1971. Le stock moyen du Grand Lac est en 2000 de 635'650 tonnes de chlorure.

GUMY et de ALENCASTRO (2001) ont répertoriés et quantifiés à l'aide d'extrapolations les différentes sources du chlorure se déversant dans le Léman. Les résultats sont issus de la littérature, de mesures effectuées par la CIPEL et différents services cantonaux vaudois et valaisans, ainsi que des rapports d'activité des deux salines suisses (les Salines de Bex et celles du Rhin). Les résultats de ce travail montrent que les deux sources principales du chlorure sont l'industrie, avec plus de 50 % des apports, et les sels de déneigement, avec environ 20 % des apports. Par contre, les apports provenant de la déphosphatation dans les stations d'épuration sont négligeables (environ 3 %).

Une recherche bibliographique des valeurs de toxicité du chlorure pour différentes espèces aquatiques a également été effectuée. Les concentrations actuelles du Léman en chlorure sont bien inférieures aux valeurs trouvées. Il est possible que certains organismes soient affectés par une telle augmentation de la concentration de chlorure. Les études dans ce domaine sont très sommaires.

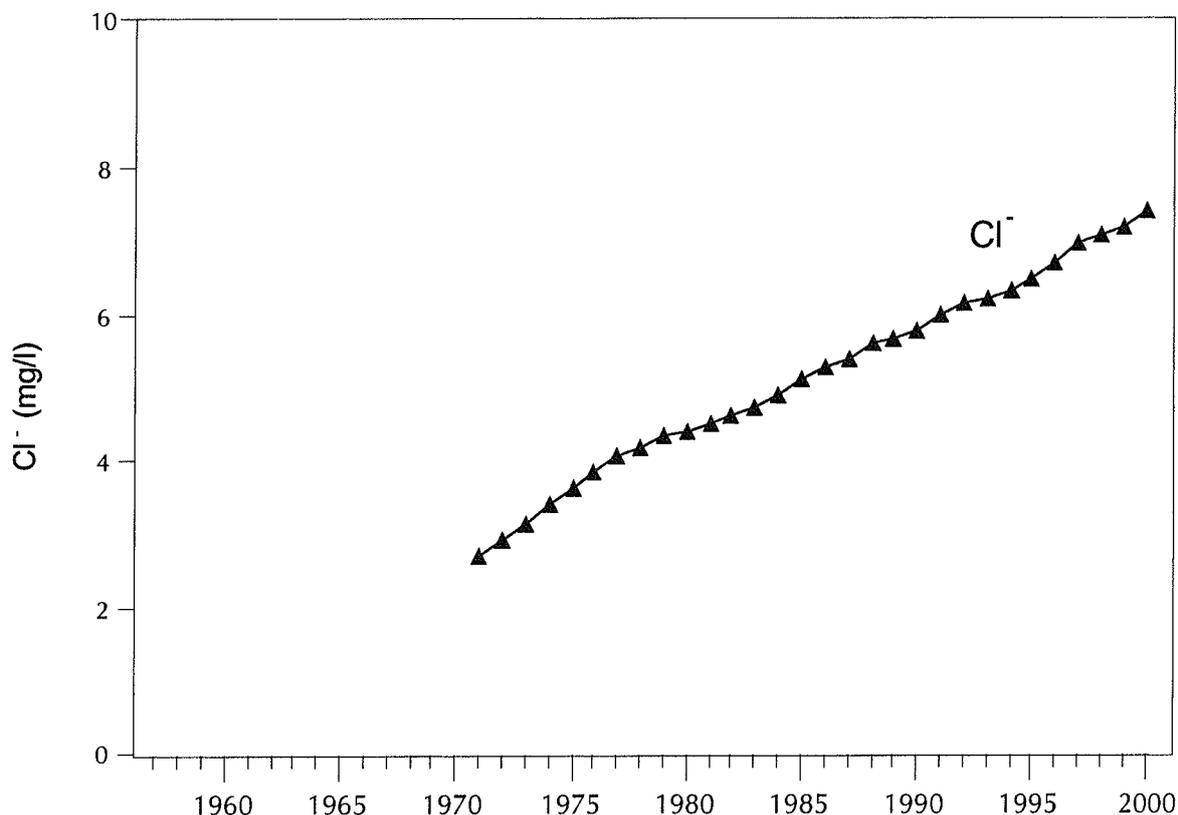


Figure 22 : Evolution de la concentration moyenne annuelle en chlorure, pondérée pour l'ensemble de la masse d'eau du Grand Lac (SHL2)

## 2.5. Métaux et micropolluants organiques

### 2.5.1 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 correspondantes observées dans d'autres eaux douces exemptes de pollutions métalliques (CORVI, 1984b; SIGG, 1992).

Les valeurs du fer et du manganèse, métaux 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.

### 2.5.2 Pesticides (phytosanitaires) (tableau 3)

Bien que leur utilisation soit en nette régression, les herbicides atrazine (et son métabolite atrazine-déséthyle), simazine et terbutylazine sont décelables, en toutes saisons et presque à toutes les profondeurs, dans les eaux du lac, mais en très faibles teneurs. La présence de métolachlore, herbicide de la famille des acétanilides, fréquemment associé à l'atrazine dans la culture du maïs, a été également observée.

Toutes les concentrations mesurées sont inférieures à celles fixées pour une eau de boisson (0.1 µg/l par composé selon la Directive du Conseil des Communautés européennes - 1998 et l'Ordonnance suisse sur les substances étrangères et les composants, OSEC - 1995). Cependant, il faut rappeler que la présence de ces produits de synthèse persistants et résultant de l'activité humaine n'est pas souhaitable dans les eaux. L'Ordonnance suisse sur la protection des eaux (OEaux, 1998) rappelle cet objectif écologique pour les eaux superficielles. Il faut relever que les objectifs de qualité de cette ordonnance fixant la teneur en pesticides organiques à 0.1 µg/l pour les eaux de rivières, ne sont pas respectés à certaines périodes de l'année.

Les substances phytosanitaires observées dans les eaux du lac font partie de la liste des substances à surveiller établie par la CIPEL en 1995 (JOUANY et al., 1995) ou dans celle en cours d'actualisation (CIPEL, en préparation). Ceci confirme la validité et la pertinence de ces choix.

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.

### 2.5.3 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., 1997). 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 de 5 µg/l à la valeur limite fixée, pour la Suisse, à 200 µg/l (OSEC, 1995).

TABLEAU 1 - Campagne du 22 mars 2000

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	Mercuré µg/l
0	< 1	2	nd *	nd *	nd *	2	nd *
1	< 1	2	nd	nd	nd	2	nd
5	< 1	3	nd	nd	nd	2	nd
7.5	< 1	6	nd	nd	nd	9	nd
10	< 1	6	nd	nd	nd	4	nd
30	< 1	6	nd	nd	nd	3	nd
100	< 1	3	nd	nd	nd	nd *	nd
305	< 1	3	nd	nd	nd	1	nd
fond	1	6	nd	nd	nd	nd	nd

\* = non décelé (Plomb &lt; 1 µg/l; cadmium &lt; 0.02 µg/l; chrome &lt; 0.1 µg/l; cuivre &lt; 0.5 µg/l; mercure &lt; 0.1 µg/l)

TABLEAU 2 - Campagne du 22 novembre 2000

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	Mercuré µg/l
0	< 1	9	nd *	nd *	0.2	5	nd *
1	< 1	22	nd	nd	0.1	4	nd
5	< 1	16	nd	nd	0.1	3	nd
7.5	1	26	nd	nd	0.2	5	nd
10	< 1	13	nd	nd	0.1	6	nd
30	< 1	16	nd	nd	nd *	5	nd
100	3	21	nd	0.03	0.2	7	nd
305	12	11	nd	nd	0.1	6	nd
fond	27	13	nd	nd	0.2	8	nd

\* = non décelé (Plomb &lt; 1 µg/l; cadmium &lt; 0.02 µg/l; chrome &lt; 0.1 µg/l; cuivre &lt; 0.5 µg/l; mercure &lt; 0.1 µg/l)

TABLEAU 3 - Pesticides (phytosanitaires) décelés

Léman - Grand Lac (Station SHL2)

Profondeur m	22 mars 2000				22 novembre 2000			
	Simazine µg/l	Atrazine µg/l	Terbutyl- zine µg/l	Métola- chlore µg/l	Simazine µg/l	Atrazine µg/l	Terbutyl- zine µg/l	Métola- chlore µg/l
0	0.03	0.04	0.01	0.04	0.02	0.04	0.02	0.03
1	0.03	0.04	0.01	0.02	0.01	0.03	0.01	0.01
5	0.02	0.03	< 0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.02
7.5	0.02	0.04	0.01	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02
10	-	-	-	-	0.01	0.03	0.01	0.02
30	0.02	0.03	< 0.01	0.02	0.02	0.03	0.01	0.03
100	0.02	0.03	< 0.01	0.01	0.02	0.04	0.01	0.02
305	0.03	0.03	< 0.01	0.01	0.02	0.04	0.01	0.02
fond	0.02	0.03	< 0.01	0.01	0.02	0.04	0.01	0.02

TABLEAU 4 - NTA et EDTA

Léman - Grand Lac (Station SHL2)

Profondeur m	NTA ( $\mu\text{g/l}$ )		EDTA ( $\mu\text{g/l}$ )	
	22 mars 2000	22 novembre 2000	22 mars 2000	22 novembre 2000
0	0.2	0.2	0.4	0.3
1	0.1	0.4	0.3	0.5
5	0.2	0.4	0.3	0.4
7.5	-	0.5	-	0.5
100	0.2	0.3	0.5	0.4
30	0.2	0.3	0.5	0.4
100	0.2	0.1	0.3	0.5
305	0.1	< 0.1	0.4	0.7
fond	0.1	< 0.1	0.4	0.5

## RÉFÉRENCES POUR L'EAU POTABLE :

	Manganèse $\mu\text{g/l}$	Fer $\mu\text{g/l}$	Plomb $\mu\text{g/l}$	Cadmium $\mu\text{g/l}$	Chrome $\mu\text{g/l}$	Cuivre $\mu\text{g/l}$	Mercure $\mu\text{g/l}$
OMS (1)	500	300	300	5	50	2'000	1
CE (2)	50	200	10	5	50	2'000	1
OSEC (3)	C	300	-	-	-	1'500	-
	D	-	-	10	5	** 20	1

\*\* = 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 98/83/CE DU CONSEIL du 3 novembre 1998 - Journal officiel des Communautés européennes du 05.12.1998.

(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).

EXIGENCES RELATIVES À LA QUALITÉ DES EAUX POUR LES COURS D'EAU  
(Ordonnance suisse sur la protection des eaux - OEaux du 28 octobre 1998) :

	Plomb $\mu\text{g/l}$	Cadmium $\mu\text{g/l}$	Chrome $\mu\text{g/l}$	Cuivre $\mu\text{g/l}$	Mercure $\mu\text{g/l}$
total (4)	10	0.2	5	5	0.03
dissous	1	0.05	2 (5)	2	0.01

(4) = La valeur indiquée pour la concentration dissoute est déterminante.  
Si la valeur indiquée pour la concentration totale est respectée, on partira du principe que celle qui est fixée pour la concentration dissoute l'est également.

(5) = Cr (III et VI).

### 3. ÉVOLUTION PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DU PETIT LAC : 1996 à 2000

#### 3.1. Evolution interannuelle des principaux paramètres

Les concentrations moyennes pondérées et les stocks sont calculés de la même façon que pour le Grand Lac. Les résultats sont présentés aux tableaux 5a et 5b.

##### 3.1.1 Température (figures 23, 24 et 25)

Les figures 23 et 25 montrent que, contrairement au Grand Lac, l'homogénéisation thermique des eaux du Petit Lac s'effectue chaque année. La température maximum a été mesurée en surface en août 1997 (24.4°C). La température moyenne annuelle pondérée est plus élevée que dans le Grand Lac, elle varie entre 9.3°C en 2000 et 10.2°C en 1995 (figure 24).

De 1986 à 2000, contrairement au Grand Lac, la tendance des températures moyennes dans la colonne d'eau reste stable (figure 24). Les températures tendent, par contre, à augmenter si l'on considère seulement la surface (0 m) et le fond (70 m) (figure 23).

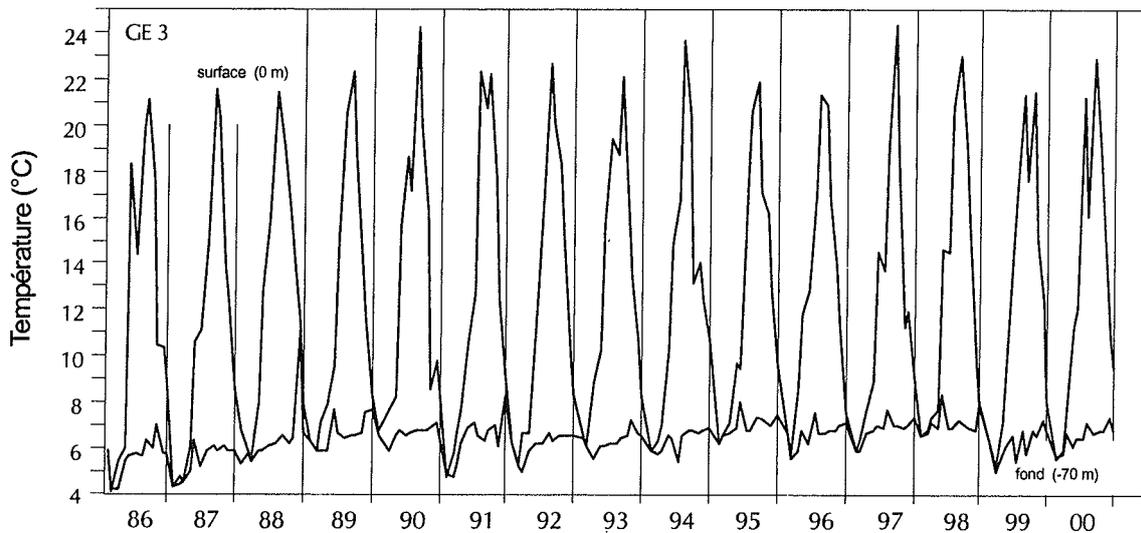


Figure 23 : Evolution de la température des eaux en surface (0 m) et au fond (70 m), Léman - Petit Lac (GE 3)

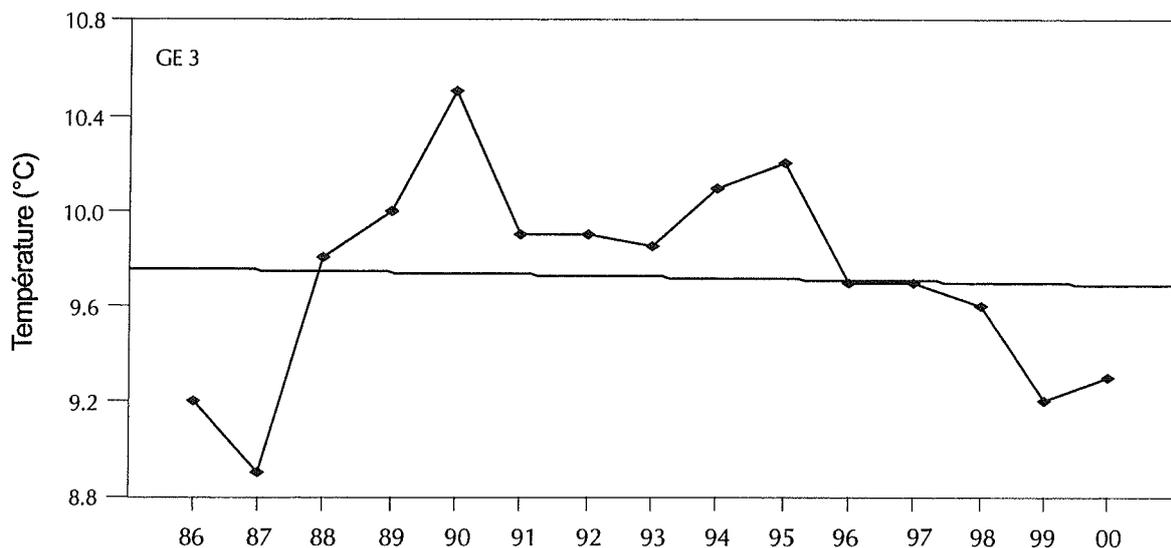


Figure 24 : Evolution de la température moyenne pondérée sur la colonne d'eau, Léman - Petit Lac (GE 3)

## Température (°C) - Léman / Petit Lac (GE 3) - 1996 à 2000

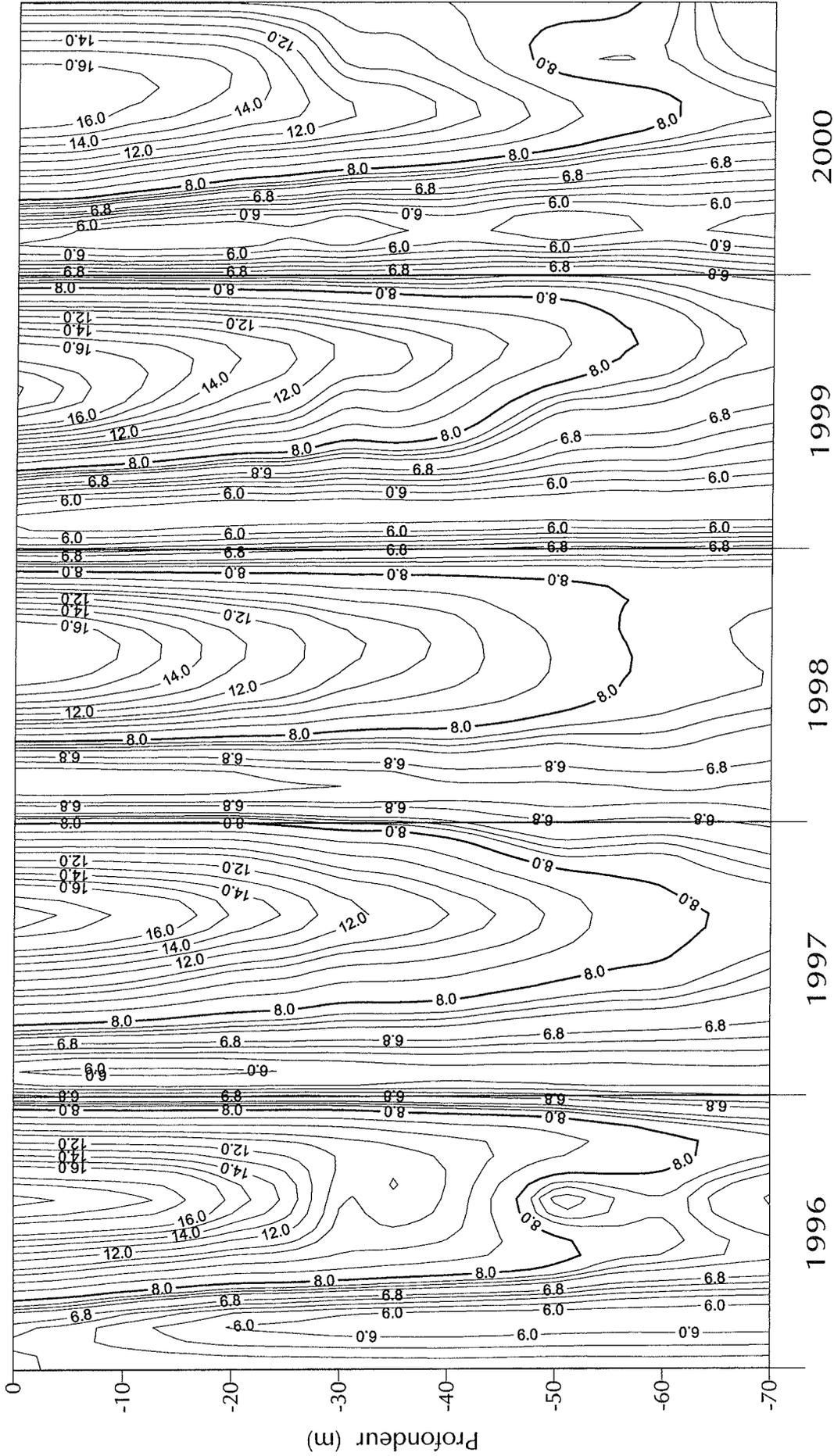


Figure 25 : Température des eaux du Léman (Petit Lac - GE 3) en fonction de la profondeur  
 N.B. : suivant le nombre d'années prises en considération, de très légères modifications de représentation graphique peuvent apparaître (différence de lissage des courbes d'isovaleurs)

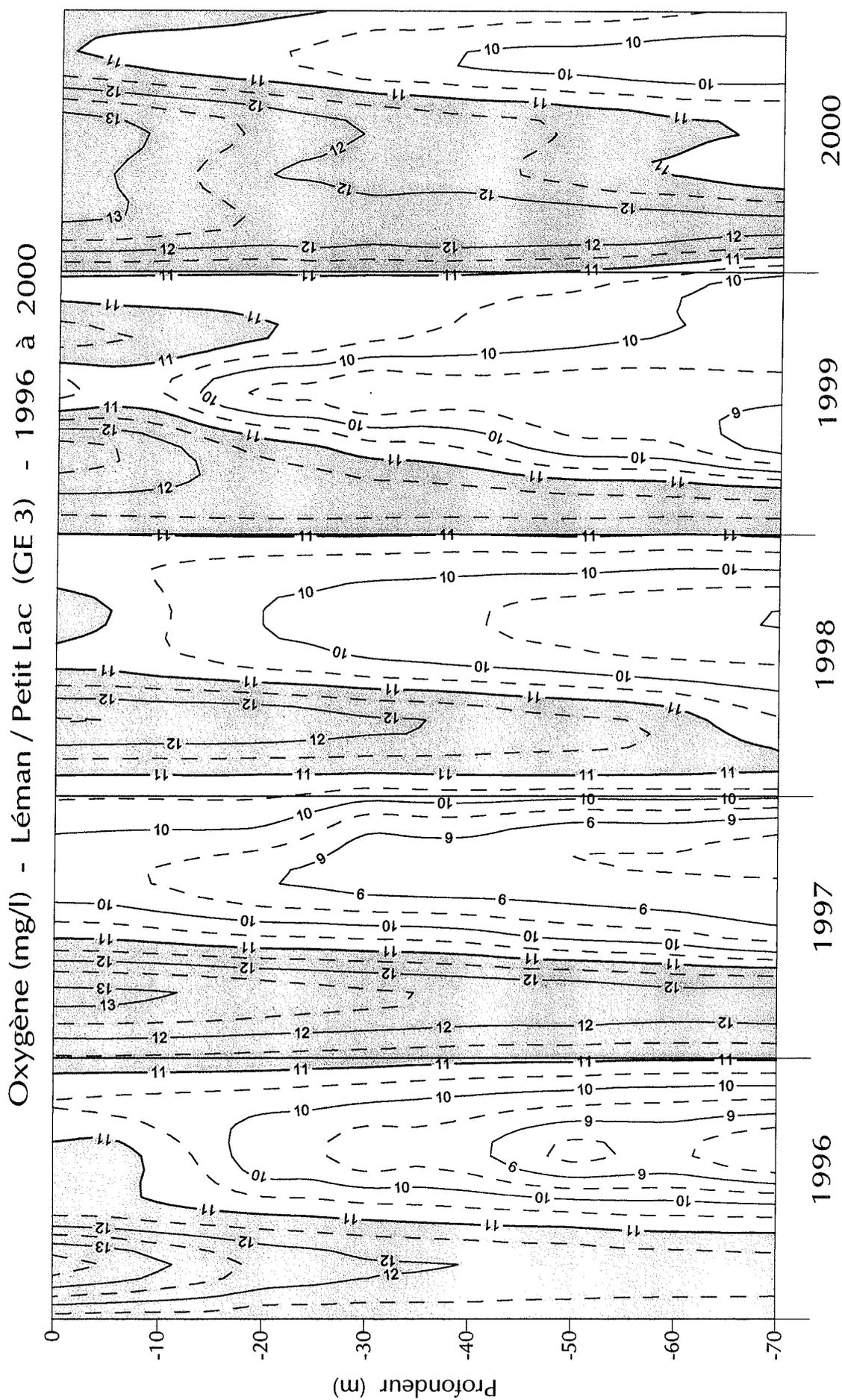


Figure 26 : Concentration en oxygène des eaux du Léman (Petit Lac - GE 3) en fonction de la profondeur (zone grisée = concentration supérieure à 11 mgO<sub>2</sub>/l)  
 N.B. : suivant le nombre d'années prises en considération, de très légères modifications de représentation graphique peuvent apparaître (différence de lissage des courbes d'isovaleurs)

### 3.1.2 Oxygène dissous (figure 26)

Contrairement aux eaux du Grand Lac, celles du Petit Lac, qui s'homogénéisent chaque année, présentent toujours des teneurs en oxygène dissous très supérieures à l'exigence quant à la teneur en oxygène des eaux des lacs (4 mg O<sub>2</sub>/l, Ordonnance suisse sur la protection des eaux du 28 octobre 1998, OEaux).

On notera les concentrations élevées d'oxygène en début d'année. Ce phénomène est lié, dans un premier temps, au refroidissement des eaux de surface qui augmente la solubilité de l'oxygène puis à l'activité photosynthétique des organismes. Il est visible même en profondeur, jusqu'à 30, voire 50 m. Durant la seconde partie de l'année, une stratification thermique s'installe. On observe alors une diminution nette de l'oxygène dans les couches de surface, probablement associée à l'augmentation de la température de l'eau et à l'activité biologique consommatrice d'oxygène.

### 3.1.3 Phosphore dissous (orthophosphate) et total (figures 27, 28 et 29)

Les figures 27 et 28 montrent clairement la baisse des teneurs en phosphore dissous (orthophosphate) et total au cours des cinq dernières années.

Ainsi, la baisse des stocks de phosphore dans le Petit Lac se confirme : ils ont diminué de 69 % depuis 1986 pour le phosphore total et de 83 % pour l'orthophosphate (tableau 5b).

Les concentrations, en début d'année, de la forme du phosphore la plus disponible pour les algues (P dissous) diminuent nettement. Ces concentrations, après avoir varié entre 11 et 18 µgP/l d'orthophosphate (février 1997 et février 1999) ont brutalement crû jusqu'à 26 µgP/l en février 2000, suite au brassage complet dans le Grand Lac en mars 1999. On notera également que les périodes où le phosphore est presque entièrement épuisé sont de plus en plus fréquentes et prolongées (figures 27 et 29).

L'évolution observée montre qu'en surface les teneurs en phosphore soluble tendent à se stabiliser autour de 5 µgP/l en moyenne annuelle. La diminution du phosphore total en surface semble, elle, continuer (de 20 à 15 µgP/l entre 1996 et 2000).

Dans le tableau 6a, nous présentons les concentrations et rapports des différentes formes du phosphore dans les couches de surface (0 à 10 m) et au fond (70 m). La part du phosphore dissous par rapport au phosphore total diminue en surface de 63 % en 1986 à 34 % en 2000 (tableau 6b). A moins 70 m, les taux de diminution semblent stabilisés. Le rapport phosphore dissous/phosphore total reste relativement constant au cours des années et varie entre 60 et 70 % (tableau 6a). On notera que nous considérons la couche de surface entre 0 et 10 m afin de mieux intégrer l'activité biologique, alors que par le passé elle était considérée de 0 à 5 m (tableau 6b).

### 3.1.4 Azote nitrique, total et ammoniacal (figure 30)

Le stock d'azote nitrique a varié au cours des 5 dernières années (tableau 5b) : il est compris entre 1'266 tonnes en 1998 et 1'554 tonnes en 1997. La tendance est à la baisse sur les 15 dernières années (BLANC et al., 1996).

On notera que lors des étés 1998, 1999 et 2000, l'azote nitrique a été presque totalement consommé par les organismes planctoniques dans les couches superficielles (figure 30).

Le stock d'azote total semble être stable (tableau 5b). Celui de l'azote ammoniacal reste très variable mais ce paramètre présente des variations très rapides par rapport au "pas de temps" de nos mesures, il est donc très difficile de l'interpréter (tableau 5b).

Dans l'optique d'une limitation de la croissance planctonique le rapport N/P demeure particulièrement intéressant à considérer. En terme de stock, ce rapport est quasi constant de 1996 à 2000 (pas de données d'octobre 1998 à janvier 2000) mais varie fortement en fonction de l'activité biologique au cours de l'année, en particulier en été et automne (données non présentées).

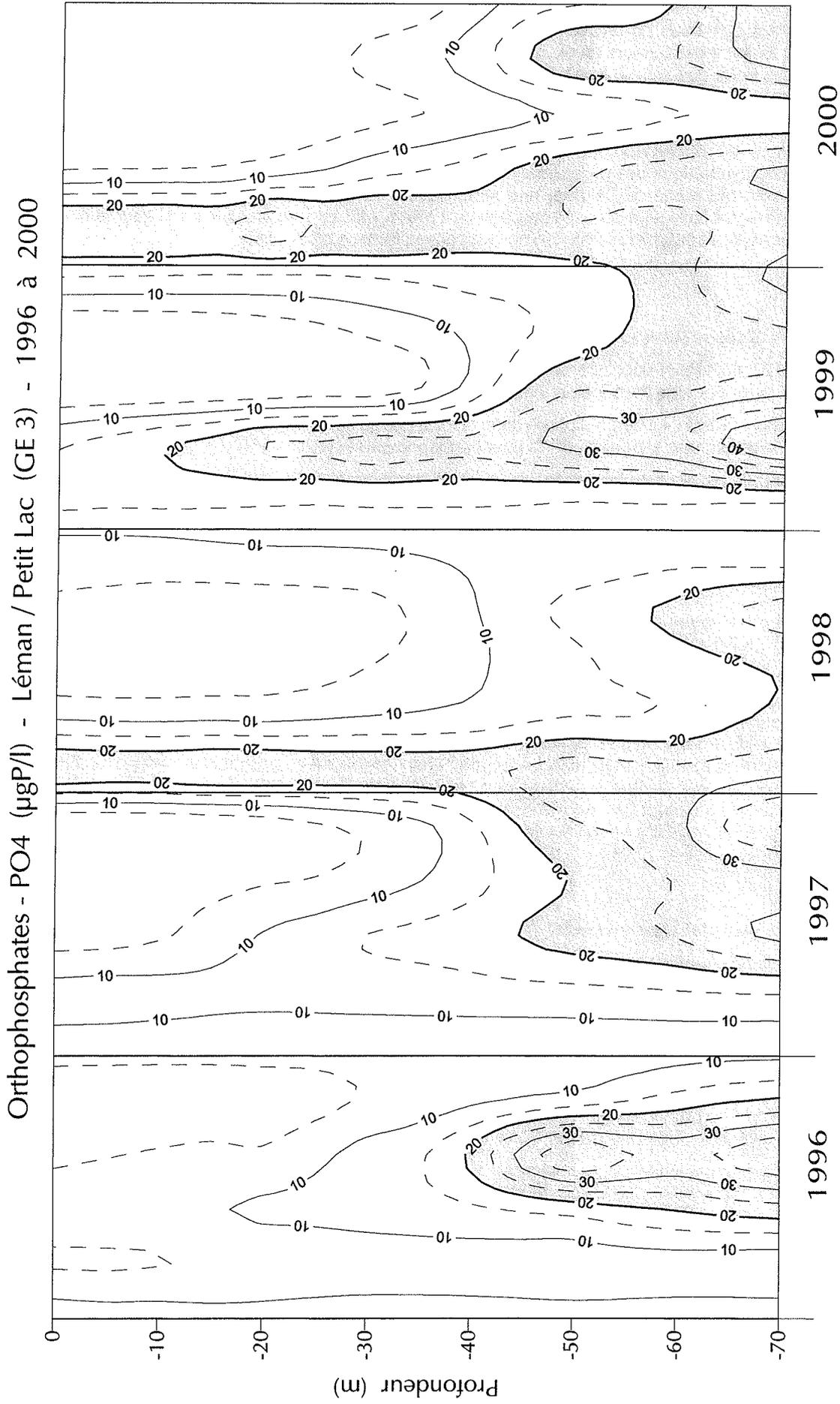


Figure 27 : Concentration en phosphore dissous des eaux du Léman (Petit Lac - GE 3) en fonction de la profondeur (zone grisée = concentration supérieure à 20  $\mu\text{gP/l}$ )  
 N.B. : suivant le nombre d'années prises en considération, de très légères modifications de représentation graphique peuvent apparaître (différence de lissage des courbes d'isovaleurs)

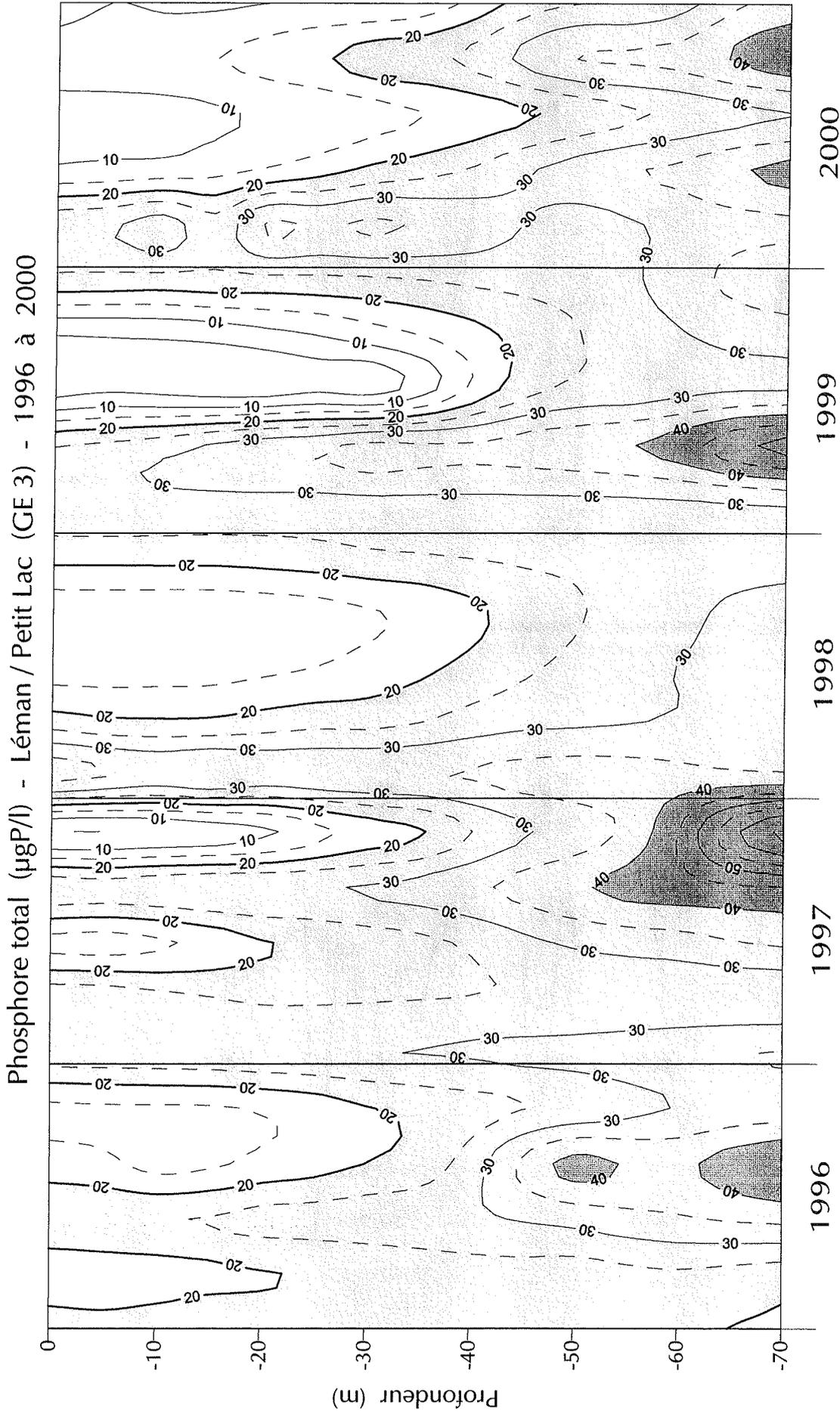


Figure 28 : Concentration en phosphore total des eaux du Léman (Petit Lac - GE 3) en fonction de la profondeur (zone grisée = concentration supérieure à 20 et 40  $\mu\text{gP/l}$ )  
 N.B. : suivant le nombre d'années prises en considération, de très légères modifications de représentation graphique peuvent apparaître (différence de lissage des courbes d'isovaleurs)

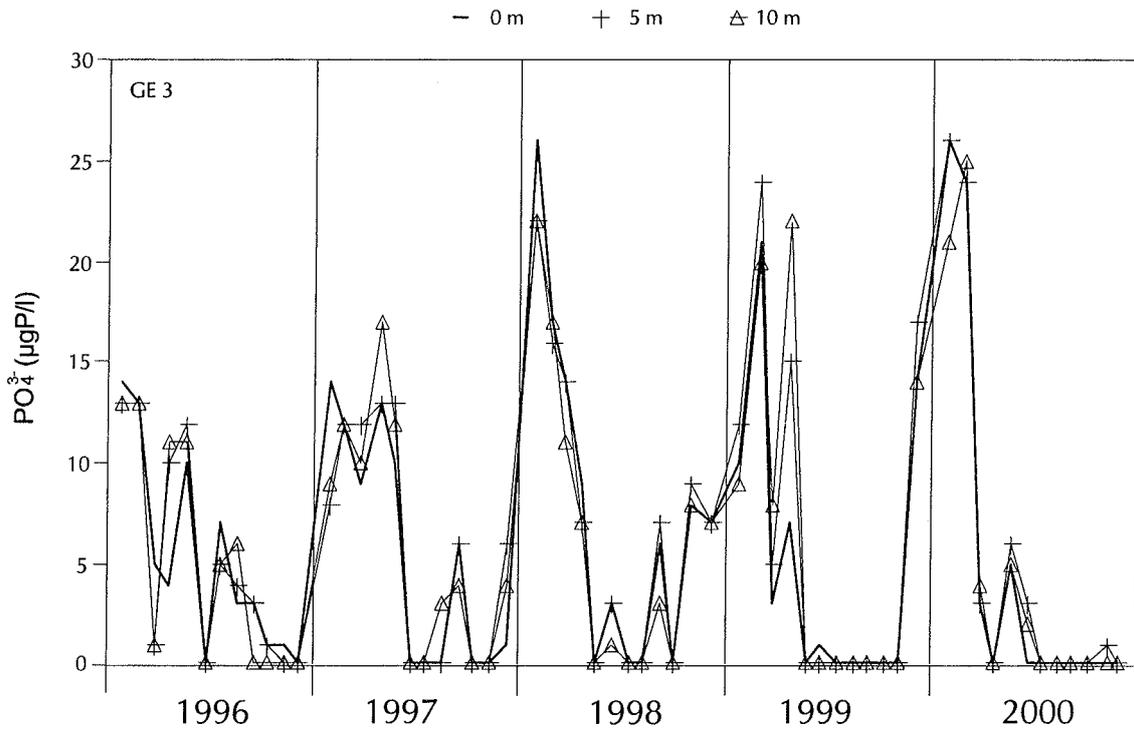


Figure 29 : Concentration en phosphore dissous (orthophosphate - PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) des eaux des couches superficielles (0, 5 et 10 m), Léman - Petit Lac (GE 3)

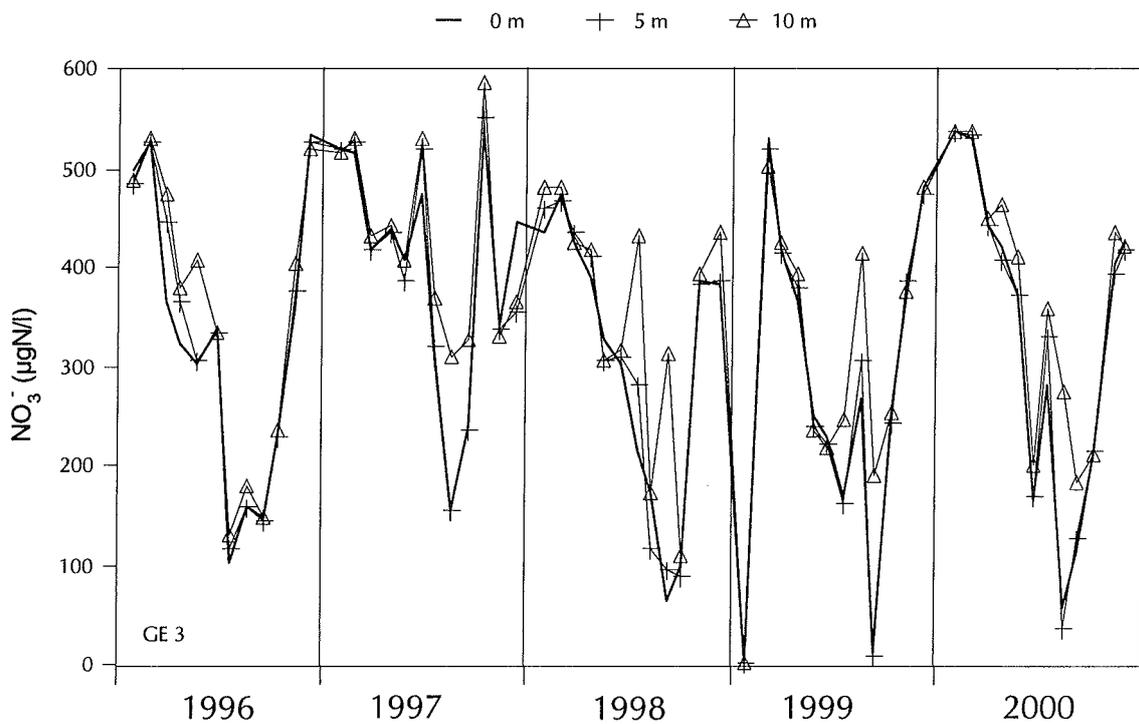


Figure 30 : Concentration en nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) des eaux des couches superficielles (0, 5 et 10 m), Léman - Petit Lac (GE 3)

TABLEAU 5a - Concentrations moyennes pondérées, Léman - Petit Lac (GE 3)

Année	Oxygène mg/l	Ptot µg P/l	PO <sub>4</sub> µg P/l	Ntot µg N/l	NH <sub>4</sub> µg N/l	NO <sub>3</sub> µg N/l	Cl mg/l	SiO <sub>2</sub> mg SiO <sub>2</sub> /l	C.O.D mg C/l
1986	11.07	58.3	43.9	-	7.2	469	5.08	1.10	1.0
1987	11.12	53.9	38.1	-	9.6	498	5.12	0.99	1.0
1988	10.88	40.8	30.6	-	3.3	473	5.25	0.91	0.9
1989	10.50	37.8	25.6	-	5.6	503	5.87	0.83	0.9
1990	10.57	35.3	19.2	-	21.0	487	6.36	1.04	0.7
1991	10.79	32.6	20.2	622	5.9	521	7.10	0.95	1.0
1992	10.80	32.0	19.5	559	6.9	542	6.73	0.93	1.0
1993	10.74	29.9	17.1	689	12.6	551	6.52	1.05	1.0
1994	10.61	28.1	16.9	687	7.9	497	6.43	0.96	1.0
1995	10.71	21.4	12.4	682	8.8	483	6.44	1.00	1.0
1996	10.72	23.6	9.2	636	5.4	448	6.66	1.15	1.0 <sup>3</sup>
1997	10.53	25.1	10.4	659	11.0	481	6.91	1.13	0.9
1998	10.74	23.9	10.1	5782	5.0	407	7.22	1.03	1.0
1999	10.61	22.3	11.6	-	10.4	392	6.93 <sup>3</sup>	1.56	0.7 <sup>1</sup>
2000	11.48	21.2	10.4	627	4.0	463	7.04	2.13	0.9 <sup>3</sup>

<sup>1</sup>: valeur établie sur 7 mois de mesures

<sup>2</sup>: valeur établie sur 9 mois de mesures

<sup>3</sup>: valeur établie sur 11 mois de mesures

TABLEAU 5b - Stocks en tonnes, Léman - Petit Lac (GE 3)

Année	Oxygène tonnes	Ptot tonnes	PO <sub>4</sub> tonnes	Ntot tonnes	NH <sub>4</sub> tonnes	NO <sub>3</sub> tonnes	Cl tonnes	SiO <sub>2</sub> tonnes	C.O.D tonnes
1986	35'735	188	142	-	23	1'512	16'379	3'561	3'077
1987	35'874	174	123	-	31	1'607	16'532	3'004	3'098
1988	35'121	132	99	-	11	1'526	16'937	2'925	3'017
1989	35'874	122	83	-	18	1'624	18'938	2'694	2'958
1990	34'120	114	62	-	68	1'571	20'518	3'363	2'331
1991	34'819	105	65	2'007	19	1'682	22'896	3'076	3'335
1992	34'857	103	63	1'803	22	1'748	21'703	3'000	3'073
1993	34'652	96	55	2'225	41	1'777	21'047	3'393	3'074
1994	34'228	91	55	2'217	25	1'604	20'765	3'092	3'098
1995	34'569	69	40	2'200	28	1'558	20'771	3'225	3'350
1996	34'605	76	29	2'051	17	1'445	21'484	3'701	3'052 <sup>3</sup>
1997	33'994	81	33	2'125	35	1'554	22'311	3'632	3'038
1998	34'668	77	33	1'864 <sup>2</sup>	16	1'313	23'302	3'340	3'126
1999	34'224	72	38	-	33	1'266	22'362 <sup>3</sup>	5'020	2'401 <sup>1</sup>
2000	37'031	68	34	2'022	13	1'494	22'734	6'879	2'879 <sup>3</sup>

<sup>1</sup>: valeur établie sur 7 mois de mesures

<sup>2</sup>: valeur établie sur 9 mois de mesures

<sup>3</sup>: valeur établie sur 11 mois de mesures

### 3.1.5 Chlorure

L'évolution des concentrations moyennes pondérées en chlorure du Petit Lac (tableau 5a) suit celle du Grand Lac, mais de façon moins régulière.

### 3.1.6 Autres paramètres (figures 31 et 32)

L'évolution des concentrations en surface et fond de la silice dissoute et du carbone est présentée dans les figures 31 et 32. On observe une tendance à l'augmentation pour la silice en surface comme au fond. De plus, en 1999 et 2000 on n'observe plus, en surface, les chutes de concentrations en automne en particulier (figure 31). Ceci pourrait être lié à une moindre consommation par les organismes planctoniques utilisant la silice, les diatomées en particulier.

Au contraire, le carbone organique dissous tend à décroître en surface comme au fond (figure 32).

Pour ces deux paramètres, les moyennes pondérées sur toute l'année présentent des variations notables en 1999 et 2000 (tableaux 5a et 5b). L'augmentation brutale du stock de silice et la diminution significative du stock de carbone organique dissous ces mêmes années, est probablement consécutive au brassage des eaux du Grand Lac (apport d'eaux profondes du Grand Lac plus riches en silice et plus pauvres en carbone organique dissous).

TABLEAU 6a - Concentrations et rapports des différentes formes du phosphore dans les couches de surface (moyenne de 0 à 10 m) et du fond (70 m), Léman - Petit Lac (GE 3)

Années	PO <sub>4</sub> 0-10 m µg P/l	Ptot 0-10 m µg P/l	PO <sub>4</sub> /Ptot surface %	PO <sub>4</sub> fond µg P/l	Ptot fond µg P/l	PO <sub>4</sub> /Ptot fond %
1996	5.0	19.7	25.4	21.8	36.1	60.4
1997	5.7	20.2	28.2	28.4	45.7	62.1
1998	6.9	20.3	34.0	22.8	34.1	66.9
1999	6.1	16.5	37.0	28.8	39.5	72.9
2000	5.2	15.3	34.0	26.5	37.3	71.0

TABLEAU 6b - Concentrations et rapports des différentes formes du phosphore dans les couches de surface (moyenne de 0 à 5 m) et du fond (70 m), Léman - Petit Lac (GE 3)

Années	PO <sub>4</sub> 0-5 m µg P/l	Ptot 0-5 m µg P/l	PO <sub>4</sub> /Ptot surf %	PO <sub>4</sub> fond µg P/l	Ptot fond µg P/l	PO <sub>4</sub> /Ptot fond %
1986	30.6	48.7	62.9	64.3	75.8	84.8
1987	25.9	43.6	59.5	60.7	76.3	79.6
1988	18.1	30.1	60.3	51.5	60.8	84.8
1989	14.0	27.3	51.2	53.3	75.7	70.5
1990	10.5	25.5	41.1	41.6	76.8	54.1
1991	11.9	25.8	46.1	36.8	49.5	74.2
1992	13.5	25.3	53.5	36.4	51.6	70.6
1993	9.5	21.6	43.9	37.0	51.9	71.3
1994	9.7	21.3	45.5	36.3	45.2	80.3
1995	8.4	18.9	44.8	27.8	38.3	72.8
1996	4.9	19.9	24.6	21.8	36.1	60.4
1997	5.5	19.8	27.8	28.4	45.7	62.1
1998	7.3	20.6	35.4	22.8	34.1	66.9
1999	5.7	16.5	34.5	28.8	39.5	72.9
2000	5.2	15.3	34.0	26.5	37.3	71.0

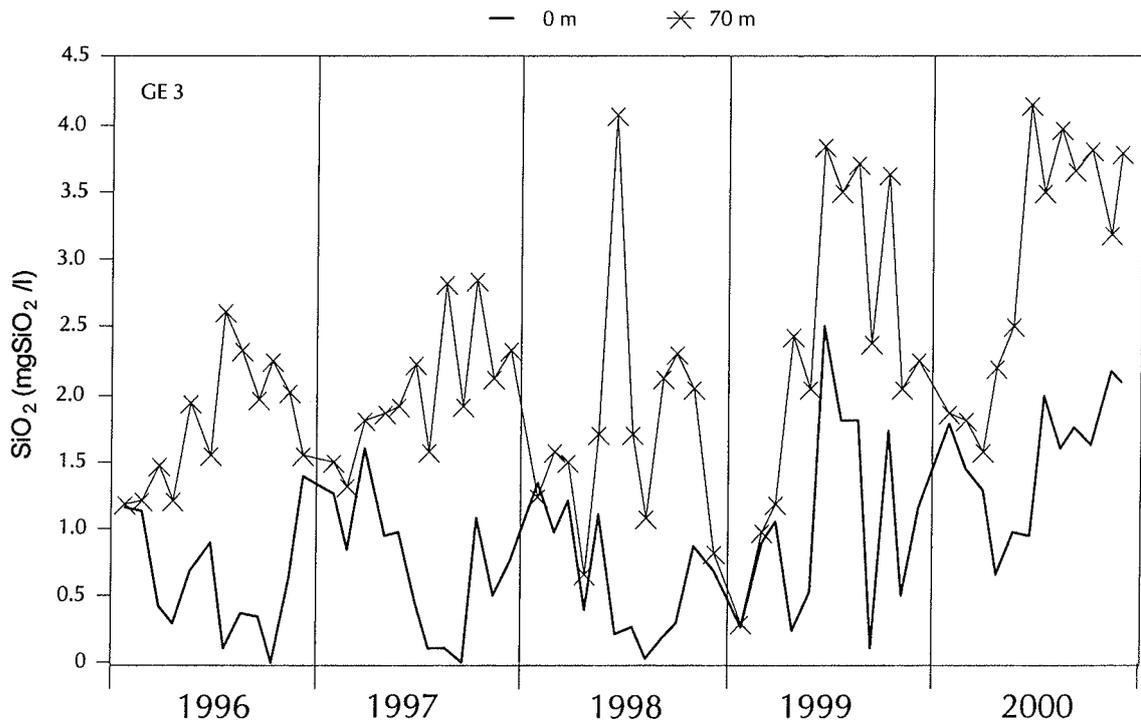


Figure 31 : Concentration en silice dissoute ( $\text{SiO}_2$ ) des eaux en surface (0 m) et au fond (70 m), Léman - Petit Lac (GE 3)

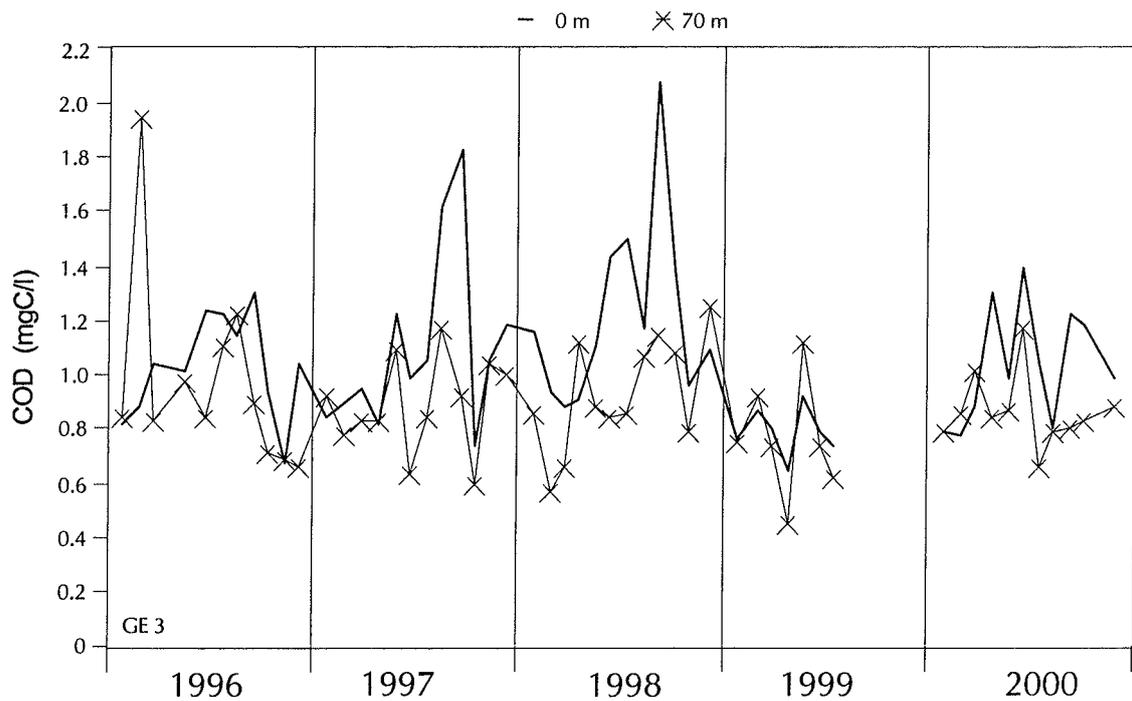


Figure 32 : Concentration en carbone organique dissous (C.O.D.) des eaux en surface (0 m) et au fond (70 m), Léman - Petit Lac (GE 3)

#### 4. CONCLUSIONS

Les principales observations en 2000 sont les suivantes :

##### Pour le Grand Lac

- le brassage hivernal des eaux n'a atteint que les 150 premiers mètres en mars 2000 dans le Grand Lac; le Petit Lac, qui a une profondeur maximum de 71 m, a été entièrement brassé comme chaque année,
- le brassage très partiel du Grand Lac n'a pas permis de réoxygéner les couches profondes. La concentration des eaux du fond est alors de 5.84 mg O<sub>2</sub>/l au mois de mars et chute à 2.35 mg O<sub>2</sub>/l au mois d'octobre. La concentration en oxygène dissous est inférieure à 4 mg O<sub>2</sub>/l du mois de septembre à la fin de l'année pour les eaux du fond du Grand Lac,
- une tendance nette à l'augmentation de la température des eaux du Léman, sauf en profondeur depuis 3 ans,
- la reprise de l'activité photosynthétique a été importante dès le début avril. La période des "eaux claires" est observée fin mai et début juin, avec une augmentation de la transparence.

Pendant l'été 2000, la consommation des nutriments a été plus importante que l'année précédente. Le phosphore dissous est consommé en quasi-totalité dans les couches superficielles dès avril et jusqu'à la fin de l'année, ce qui est exceptionnel. Ceci est dû à l'activité phytoplanctonique, activité qui s'est de plus prolongée pendant tout l'hiver 2000-2001, les températures de l'hiver ayant été particulièrement clémentes. Les températures dans les couches superficielles en décembre 2000 sont supérieures de presque 3°C par rapport à décembre 1999.

Pour les stocks de phosphore contenus dans le lac, après trois ans de stagnation (1997 à 1999), on observe en 2000 une baisse significative d'environ 7 % par rapport à 1999. Pour l'azote nitrique, la stabilité des concentrations se poursuit depuis quelques années. Pour les chlorures, on constate d'année en année une augmentation des concentrations.

- Pour le Grand Lac, le stock de phosphore total est de 3'130 tonnes en 2000, contre 3'360 en 1999. La concentration moyenne en phosphore total est de 36.5 µgP/l,
- pour le Grand Lac, le stock d'azote nitrique (47'450 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. De même, les exigences relatives à la qualité des eaux fixées dans l'Ordonnance suisse sur la protection des eaux (OEaux, 1998), mais pour les cours d'eau, sont respectées pour les métaux surveillés. Seules les concentrations de cuivre observées sont quelquefois proches des exigences fixées par cette ordonnance.

Des traces d'herbicides triaziniques et de métolachlore sont toujours décelées dans les eaux du lac. Bien que les concentrations demeurent faibles, et probablement sans effet toxique sur l'écosystème, il faut relever que leur présence n'est pas souhaitable et que toute mesure visant à en limiter l'apport est à encourager.

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

##### Pour le Petit Lac

- il a été entièrement brassé comme chaque année, du fait que sa profondeur maximum n'est que de 71 m,
- les eaux présentent toujours des teneurs en oxygène dissous supérieures à 4 mg O<sub>2</sub>/l,
- la baisse des stocks de phosphore se marque également dans le Petit Lac. La concentration moyenne en 2000 est de 21.2 µgP/l, ce qui correspond à la concentration moyenne des eaux superficielles du Grand Lac,
- les périodes où le phosphore est presque entièrement épuisé sont de plus en plus fréquentes et prolongées.

**BIBLIOGRAPHIE**

- ALDER, A.C., GIGER, W. et SCHAFFNER, C. (1997) : Remplacement des phosphates dans les produits détergents : vers le pire ou vers l'acceptable ? EAWAG news, 42F, 6-8.
- 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. (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 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine (98/83/CE DU CONSEIL). Journal officiel des Communautés européennes, numéro L 330/32 du 5 décembre 1998.
- GUMY, D. et de ALENCASTRO, L.F. (2001) : Origine de la pollution du Léman par le chlorure. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2000.
- 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.
- JOUANY, J.M. et al. (1995) : Etablissement d'une liste de substances phytosanitaires utilisées en agriculture à surveiller dans le bassin lémanique : méthodologie. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1994, 217-233.
- OEaux (1998) : Ordonnance du 28 octobre 1998 sur la protection des Eaux (Suisse).
- OSEC (1995) : Ordonnance du 26 juin 1995 sur les Substances Etrangères et les Composants (état au 31 janvier 2000) (Suisse).
- 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.
- STRAWCZYNSKI, A. (2001) : Analyses comparatives interlaboratoires. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2000.

# PRODUITS PHYTOSANITAIRES RECHERCHÉS

# ANNEXE 1

## I. INSECTICIDES ET FONGICIDES CHLORÉS

α - HCH  
β - HCH  
γ - HCH  
δ - HCH

pp'DDE  
pp'DDT  
op'DDT  
pp'DDD  
op'DDE  
op'DDD  
DICOFOL  
ENDOSULFAN

IPRODIONE  
HEPTACHLORE EPOXYDE  
HEPTACHLORE  
ALDRINE  
ENDRINE  
DIELDRINE  
CAPTAFOL  
PROCYMIDONE  
VINCLOZOLINE  
CHLOROTHALONIL  
PCNB  
DICHLOFLUANIDE  
FOLPET

## II. HERBICIDES AZOTÉS

### II. 1 Triazines :

ATRAZINE  
SIMAZINE  
PROPAZINE  
DESMETRYNE  
PROMETRYNE

AZIPROTRYNE  
TERBUTRYNE  
TERBUTYLAZINE  
AMETRYNE

### II. 2 Dérivés de l'urée :

CHLORBROMURON  
FENURON  
METHABENZTHIAZURON  
MONOLINURON  
CYCLURON

METOBROMURON  
CHLOROXYURON  
DIURON  
LINURON  
ISOPROTURON  
DIFENOXYURON

### II.3 Divers :

METOLACHLORE

## III. INSECTICIDES PHOSPHORÉS

ACEPHATE  
AMIDITHION  
AZINPHOS-ETHYLE  
AZINPHOS-METHYLE  
BROMOPHOS METHYLE  
BROMOPHOS-ETHYLE  
CARBOPHENOTHION-ETHYLE  
CARBOPHENOTHION-METHYLE  
CHLORFENVINPHOS  
CHLORMEPHOS  
CHLORPYRIFOS  
CHLOROTHION  
CHLORTHIOPHOS  
COUMAPHOS  
CYANOPHOS  
DEMETON-S-METHYLE  
DEMETON-S-METHYLE-SULFONE  
DEMETHON-SYSTOX  
DIALIFOS  
DIAZINON  
DICHLOFENTHION  
DICHLORVOS  
DICROTOPHOS  
DIMETHOATE  
DIOXATHION  
DISULFOTON  
DITALIMPHOS  
DITHIONATE  
EDIFENPHOS  
ENDOTHION  
EPN  
ETHION  
ETHOPROFOS  
ETRIMPHOS  
FENCHLORPHOS  
FENITROTHION  
FENSULFOTHION  
FENTHION  
FONOFOS  
FORMOTHION  
HEPTENOFOS  
IODPHENFOS  
ISOPHENFOS

LEPTOPHOS  
MALAOXON  
MALATHION  
MECARBAM  
MERPHOS  
METHACRIFOS  
METHAMIDOPHOS  
METHIDATHION  
MEVINPHOS  
MONOCROTHOPHOS  
NALED  
OMETHOAT  
OXIDEMETON-METHYLE  
PARAOXON  
PARAOXON-METHYLE  
PARATHION  
PARATHION-METHYLE  
PHENKAPTON  
PHENTOATE  
PHORATE  
PHOSALONE  
PHOSMET  
PHOSPHAMIDON  
PIRIMIPHOS-ETHYLE  
PIRIMIPHOS-METHYLE  
PROFENOFOS  
PROTHIOPHOS  
PROTHOATE  
PYRAZOPHOS  
QUINALPHOS  
SULFOTEP  
SULPROFOS  
TEMEPHOS  
TERBUFOS  
TETRACHLORVINPHOS  
THIOMETON  
TRIAMIPHOS  
TRIAZOPHOS  
TRICHLORONAT  
TRICHLORPHON  
VAMIDOTHION  
ZINOPHOS

## Concentrations moyennes pondérées - Lac Léman (Grand Lac - SHL 2)

Année	Oxygène mg/l	P tot. µg P/l	P-PO <sub>4</sub> µg P/l	N tot. µg N/l	Nmintot µg N/l	N-NH <sub>4</sub> µg N/l	N-NO <sub>2</sub> µg N/l	N-NO <sub>3</sub> µg N/l	Cl mg Cl/l	C.O.P µg C/l	Npartic µg N/l	Ppartic µg P/l	Transpar 12 mois (en m)	Transpar mai-sept (en m)
1957	966	124			266	0.3	1.0	265					10.80	674
1958	10.32	112			297	9	17	294					9.50	520
1959	9.59	104			312	0.3	1.1	311					970	674
1960	9.57	154			349	1.2	1.1	347					1110	1046
1961	9.36	200			366	3.4	0.9	362					9.50	806
1962	10.33	204			392	9.0	1.5	381					9.70	680
1963	10.30	347			314	6.0	1.5	306					9.80	626
1964	10.21	588			342	8.8	1.3	332					9.50	730
1965	10.25	568			391	4.4	1.3	385					9.50	710
1966	10.44	439			362	4.8	1.4	356					8.10	574
1967	9.72	270			314	2.1	1.0	311					9.80	630
1968	9.43	425			372	5.4	0.7	366					10.30	652
1969	9.01	417			354	4.2	1.1	349					9.60	724
1970	9.69	805	50.5		383	2.9	1.3	379					8.63	486
1971	9.69	676	45.6		382	9.0	1.6	371	2.73				9.49	602
1972	9.25	711	56.3		401	14.6	1.6	385	2.93				8.45	688
1973	9.36	805	66.1	574	412	13.8	2.4	396	3.16				9.33	548
1974	9.12	782	63.2	588	438	13.8	1.9	422	3.44				8.46	598
1975	8.96	840	66.1	606	447	10.6	1.9	434	3.66				7.30	378
1976	8.36	896	72.3	628	454	11.7	1.4	441	3.84				8.18	400
1977	8.31	894	74.0	608	468	11.2	1.8	455	4.05				7.95	518
1978	8.55	868	73.4	617	474	7.0	1.8	465	4.18				7.27	564
1979	8.93	895	74.0	641	466	5.5	1.5	459	4.35				10.42	586
1980	9.06	825	71.5	657	485	7.4	1.9	476	4.39				8.88	604
1981	9.32	826	71.6	688	507	8.0	1.1	498	4.53				8.10	580
1982	9.24	775	69.5	675	529	8.4	1.2	519	4.60				7.54	552
1983	9.19	754	67.3	693	560	10.2	1.2	549	4.70				8.23	604
1984	9.46	764	67.6	706	566	11.2	1.0	554	4.88				7.59	555
1985	9.54	731	65.0	734	571	14.0	0.6	556	5.12				8.44	494
1986	9.83	718	61.9	718	558	6.8	1.0	550	5.30	106.7	19.0	3.1	7.50	431
1987	9.62	677	58.3	713	573	6.6	0.8	566	5.40	72.9	14.0	2.9	8.00	470
1988	9.33	617	54.5	709	594	5.4	0.9	588	5.60	115.3	17.2	2.5	7.18	519
1989	8.65	583	51.7	712	605	5.6	0.9	598	5.68	93.3	14.2	2.1	8.85	622
1990	8.33	553	48.3	689	589	5.8	0.9	582	5.79	101.7	16.4	2.4	7.82	608
1991	8.49	523	45.3	660	580	5.9	0.9	572	6.00	91.5	15.1	2.5	7.79	586
1992	8.42	499	40.8	690	577	5.4	1.2	570	6.16	91.2	17.7	2.8	6.77	519
1993	8.29	473	40.4	656	581	3.2	0.9	577	6.18	88.1	13.3	2.3	8.24	542
1994	8.33	448	39.4	660	580	3.9	1.1	575	6.29	83.6	14.0	2.2	7.10	587
1995	8.22	413	37.0	667	576	3.5	1.2	571	6.47	90.1	13.1	2.3	7.47	589
1996	8.27	409	36.0	681	575	4.5	1.1	569	6.68	107.4	22.3	2.3	7.17	456
1997	8.41	377	33.7	673	568	4.2	1.1	563	6.96	107.4	23.1	2.2	8.82	673
1998	8.26	396	35.2	658	557	5.1	0.9	551	7.06	100.3	22.1	2.2	7.36	565
1999	879	392	34.9	662	560	3.3	0.8	556	7.19	92.3	13.2	2.3	8.99	572
2000	909	365	31.8	629	550	2.9	1.3	546	7.42	109.8	14.7	2.5	7.42	496

## 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).

## Stocks en tonnes - Lac Léman (Grand Lac - SHL 2)

Année	Oxygène tonnes	P tot. tonnes	P-PO <sub>4</sub> tonnes	N tot. tonnes	Nmintot tonnes	N-NH <sub>4</sub> tonnes	N-NO <sub>2</sub> tonnes	N-NO <sub>3</sub> tonnes	Cl tonnes	C.O.P. tonnes	P partic tonnes	N partic 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
1998	707'750	3'395	3'020	56'430	47'764	434	80	47'250	604'630	8'596	186	1'897
1999	753'185	3'360	2'990	56'780	48'002	283	64	47'655	615'910	7'905	193	1'134
2000	778'880	3'130	2'725	53'910	47'815	250	115	47'450	635'650	9'413	212	1'263