

ÉVOLUTION PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DU LÉMAN

Campagne 1999

PAR

Paul BLANC

STATION D'HYDROBIOLOGIE LACUSTRE (INRA), BP 511, F - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex

Claude CORVI et Sophal KHIM-HEANG

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

François RAPIN

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

RÉSUMÉ

Après treize ans sans brassage complet dans le Grand Lac, l'hiver 1998-99 a provoqué un brassage presque complet en mars 1999. La réoxygénation des eaux profondes a permis d'atteindre une concentration de 9.1 mgO₂ à 309 mètres. Pour toute l'année et dans l'ensemble de la masse d'eau, les concentrations sont supérieures à 4 mgO₂/l.

La température des eaux du fond se stabilise à environ 5.8 °C, après un accroissement de 1 °C depuis 1986.

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

La transparence maximale de 17.5 mètres mesurée au début mars 1999 est relativement élevée comparée aux années précédentes.

La reprise de l'activité phytoplanctonique a été importante et brutale dès la mi-avril, suivant l'évolution des températures superficielles des eaux.

Dès mi-mai et jusqu'à mi-juillet, les transparences sont élevées. En août l'activité phytoplanctonique a redémarré avec pour conséquence une chute des teneurs en nitrate et silice jusqu'à fin septembre, le phosphore dissous restant à des concentrations très faibles jusqu'à fin octobre.

Pour les stocks de phosphore contenus dans le lac, on ne constate pas d'évolution significative par rapport à 1998 (- 1 %). Pour le Grand Lac, le stock de phosphore total est de 3'360 tonnes en 1999, contre 3'395 en 1998. Pour l'azote total et l'azote nitrique, la stabilité des concentrations se poursuit depuis quelques années. Pour le chlorure, on constate d'année en année une augmentation des concentrations.

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 pesticides (phytosanitaires), d'acide nitrilo-triacétique (NTA) et d'acide éthylène-diamine-tétracétique (EDTA) ont également été effectués. Des traces d'herbicides, atrazine, simazine, terbutylazine et métolachlore sont observées. Les concentrations mesurées sont inférieures aux exigences requises pour l'eau potable. Cependant, la présence de ces substances dans les eaux du lac n'est pas souhaitable. 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), 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 18 campagnes de prélèvements en 1999.

Les prélèvements sont effectués, selon des techniques uniformisées, par la Station d'Hydrobiologie Lacustre (INRA-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-Thonon-les-Bains). La validité des résultats est périodiquement testée par des analyses inter-laboratoires auxquelles participent environ 20 laboratoires. En 1999, 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).

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. 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 aussi 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.

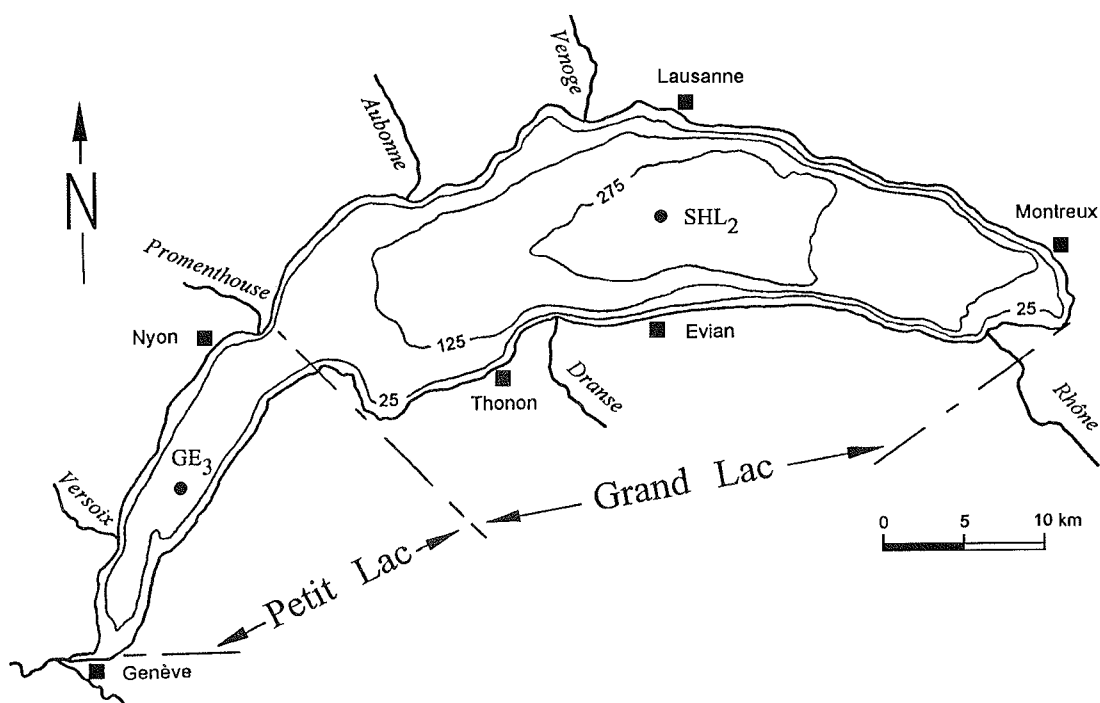
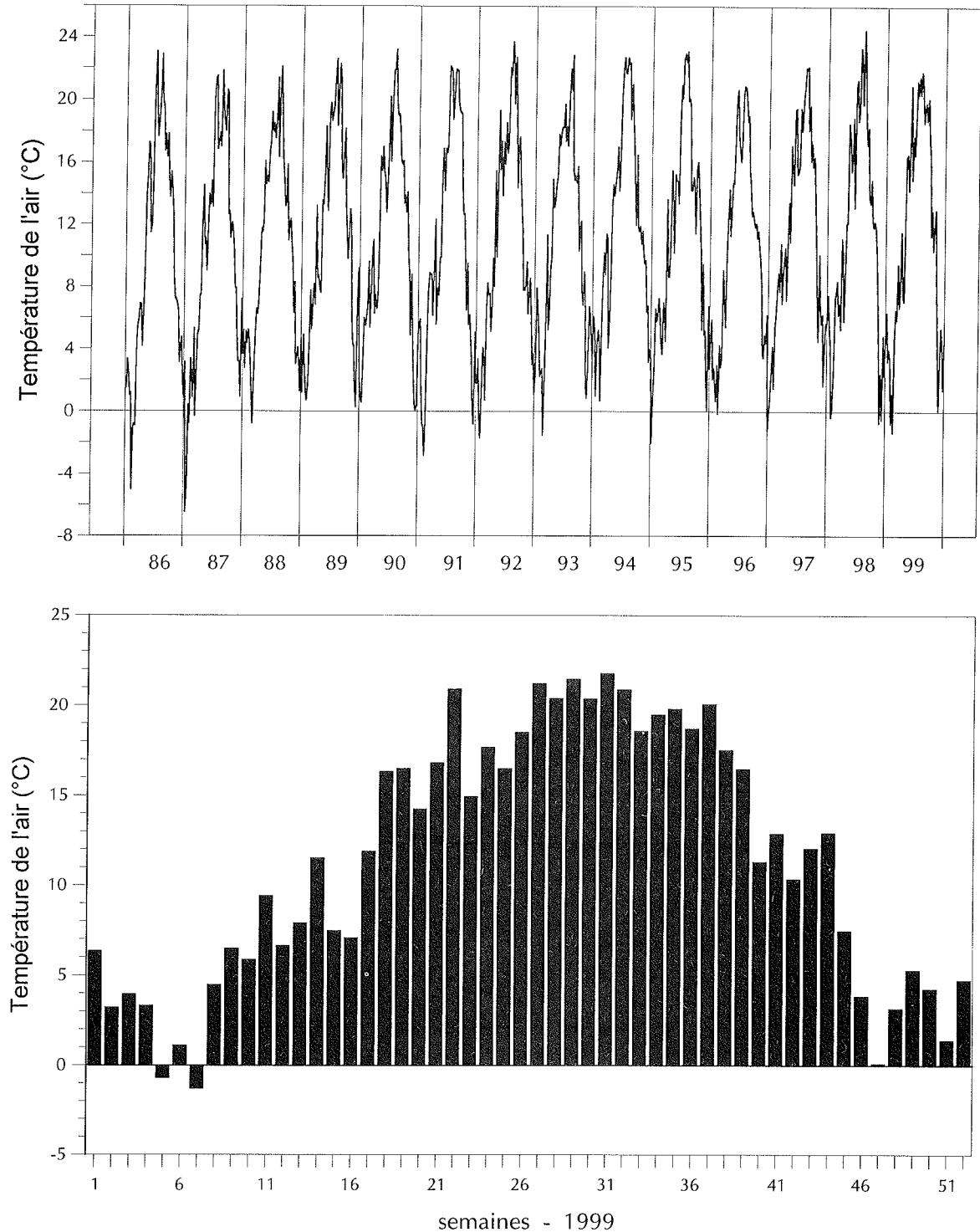


Figure 1 : Situation des points de prélèvement

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

Les températures moyennes de l'air du mois de février 1999 (figures 2a et 2b) (ORAND et GAGNAIRE, 2000a) ont été un peu plus faibles qu'en 1998. Le brassage hivernal presque complet du lac a été observé au début mars 1999. L'oxygène des eaux du fond a atteint durant cette période 9.1 mgO₂/l (figures 14 et 16).

Bien que l'hiver n'ait pas été très rigoureux, le brassage s'est trouvé facilité du fait de l'augmentation globale des températures des eaux les plus profondes d'un degré depuis 1986 (figures 3 et 4).



Figures 2 a : Température moyenne hebdomadaire de l'air à la station de Pully de 1986 à 1999
b : Température moyenne hebdomadaire de l'air à la station de Pully en 1999

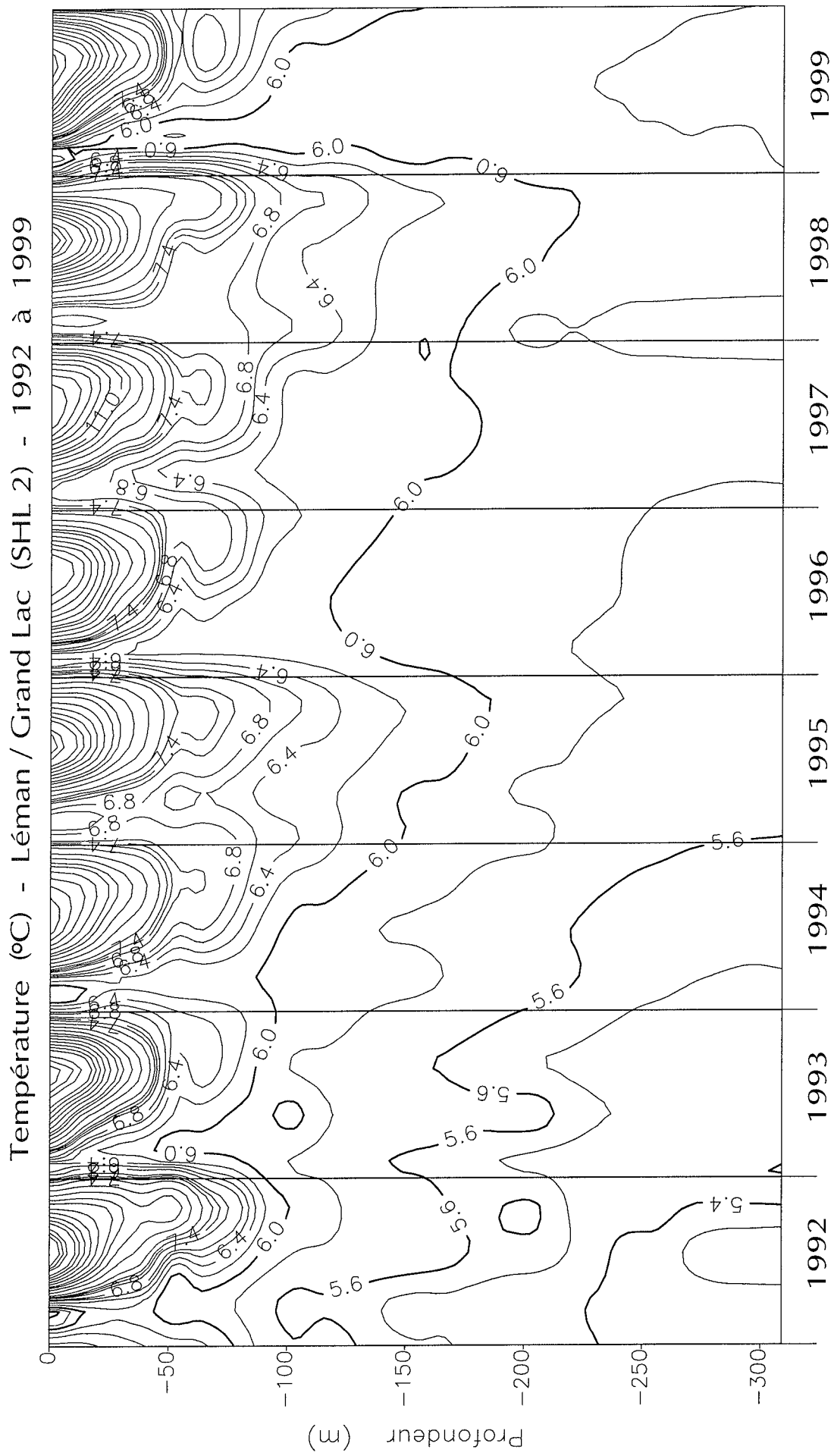


Figure 3 : Température des eaux du Léman (Grand Lac - SHL2) en fonction de la profondeur

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)

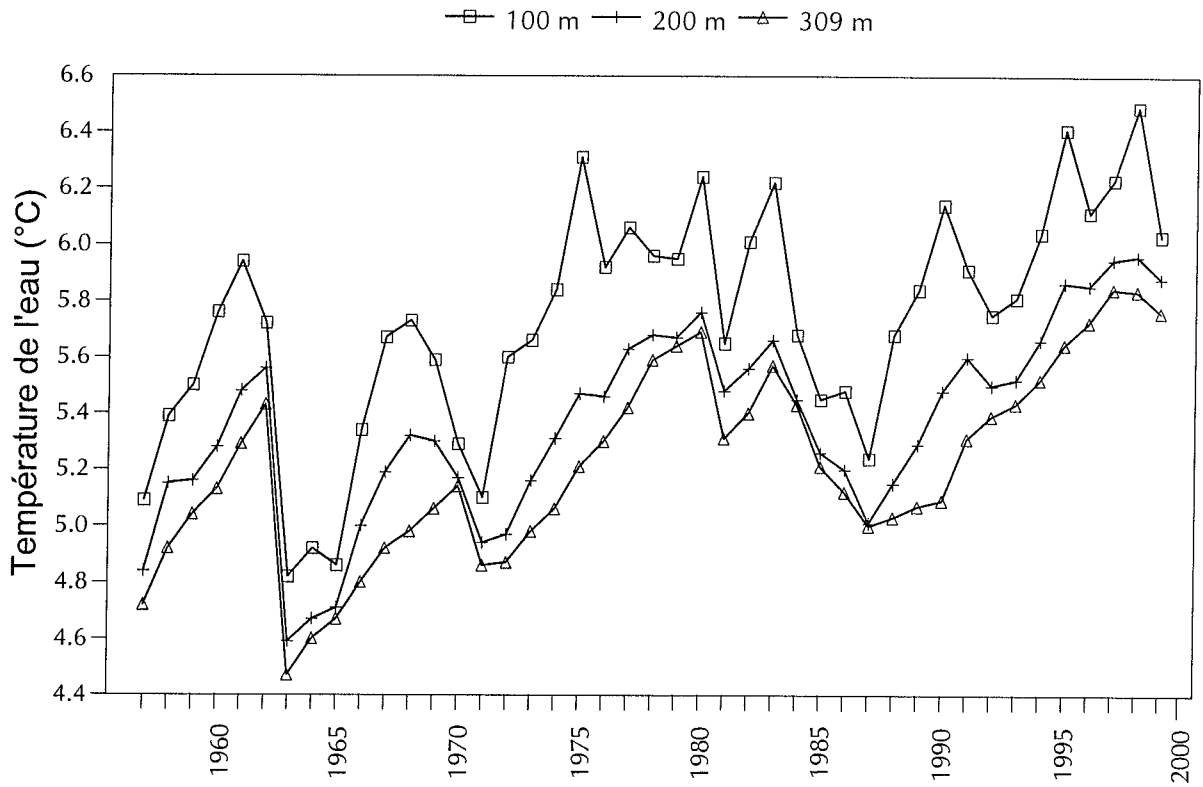


Figure 4 : Evolution de la température moyenne annuelle de l'eau du Léman - Grand Lac à 100, 200 et 309 mètres de profondeur

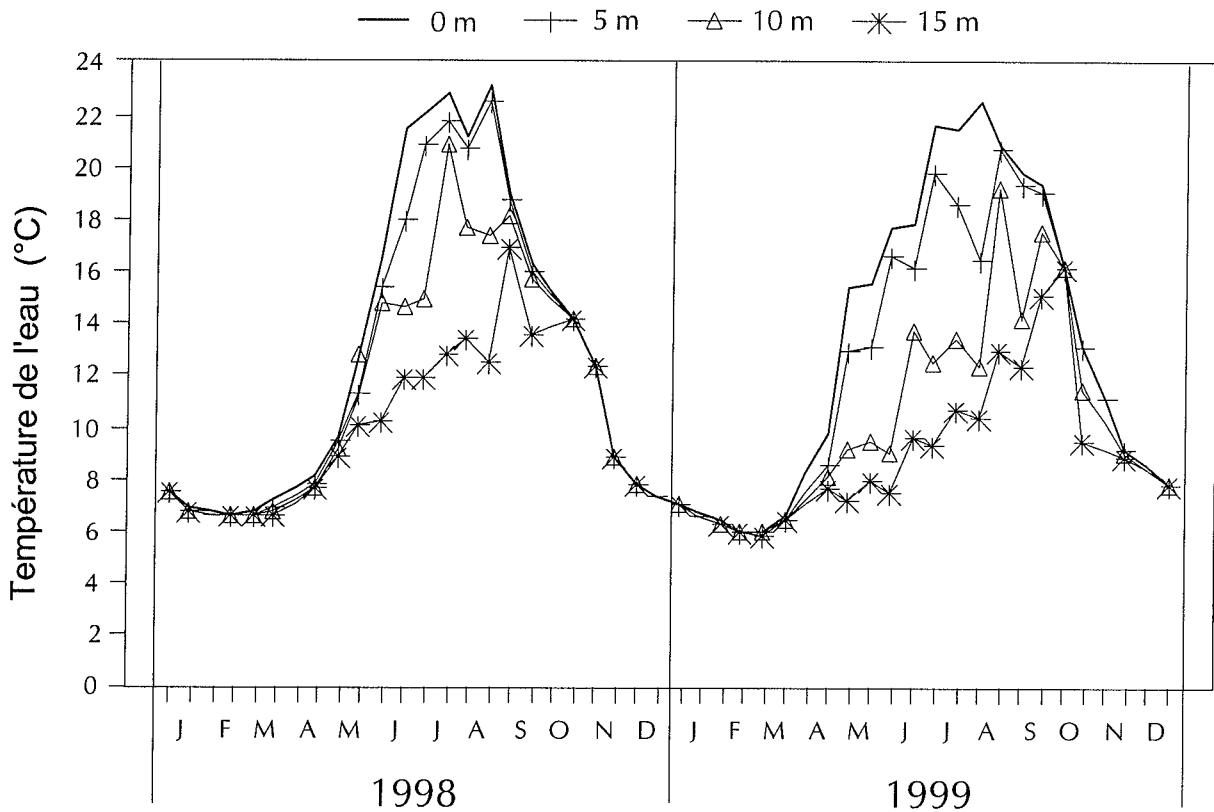


Figure 5 : Température de l'eau des couches superficielles (0, 5, 10 et 15 m) Léman - Grand Lac (SHL 2)

3. ÉVOLUTION SAISONNIÈRE DANS LES COUCHES SUPERFICIELLES

3.1 Reprise de l'activité photosynthétique au printemps

Le brassage hivernal en début 1999 induit un renouvellement des nutriments en provenance de la zone profonde. La concentration de phosphore dissous en mars 1999 était d'environ 32 $\mu\text{gP/l}$ dans les couches superficielles de 0 à 10 mètres (figure 6).

La transparence maximale de 17.5 m le 1^{er} mars 1999 est relativement élevée comparée aux années précédentes (figure 10).

La reprise de l'activité photosynthétique est importante de mi-avril à mi-mai suivant le réchauffement des eaux superficielles (figure 5).

Ceci entraîne une chute brutale des concentrations en nutriments (PO_4 - SiO_2 - NO_3 - figures 7 à 9) à mettre en parallèle avec la poussée de diatomées et de cryptophycées constatée à la même époque (REVACLIER et al., 2000) et qui s'accompagne de valeurs faibles de la transparence (inférieure à 3 mètres - figure 10), ainsi que des concentrations en oxygène dissous importantes dans la couche de 0 à 10 mètres (figure 11).

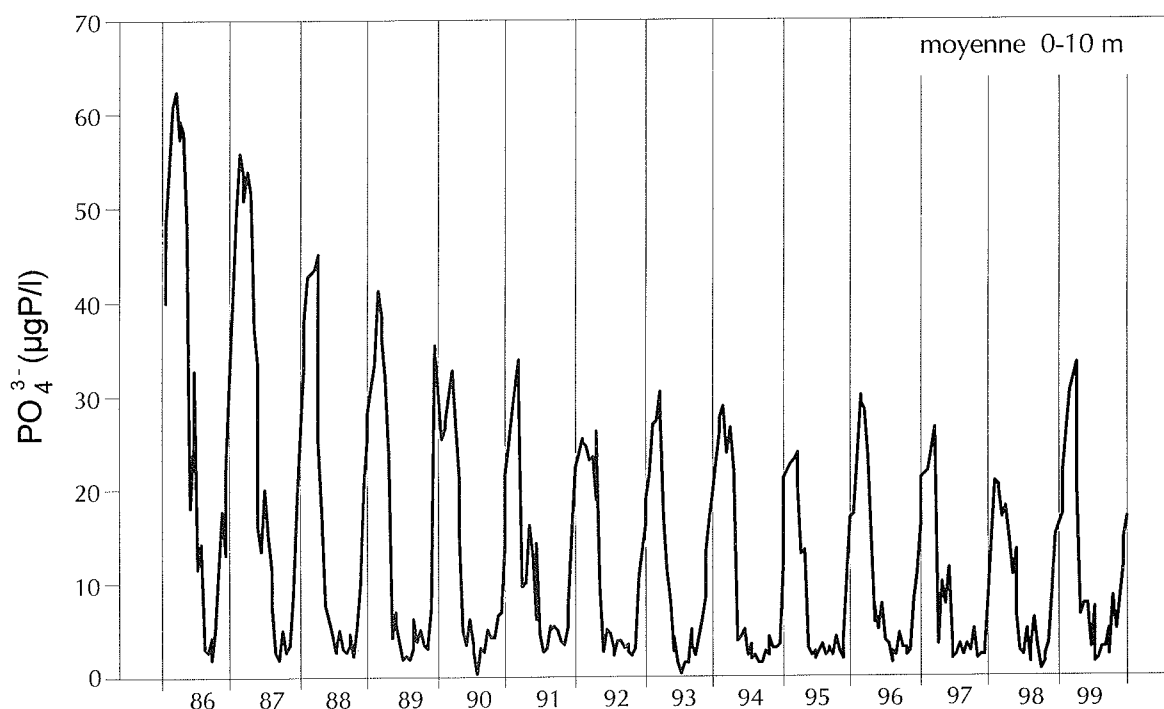


Figure 6 : Concentration en phosphore dissous (PO_4^{3-}) des eaux de la couche superficielle (moyenne 0-10 m), Léman - Grand Lac (SHL 2)

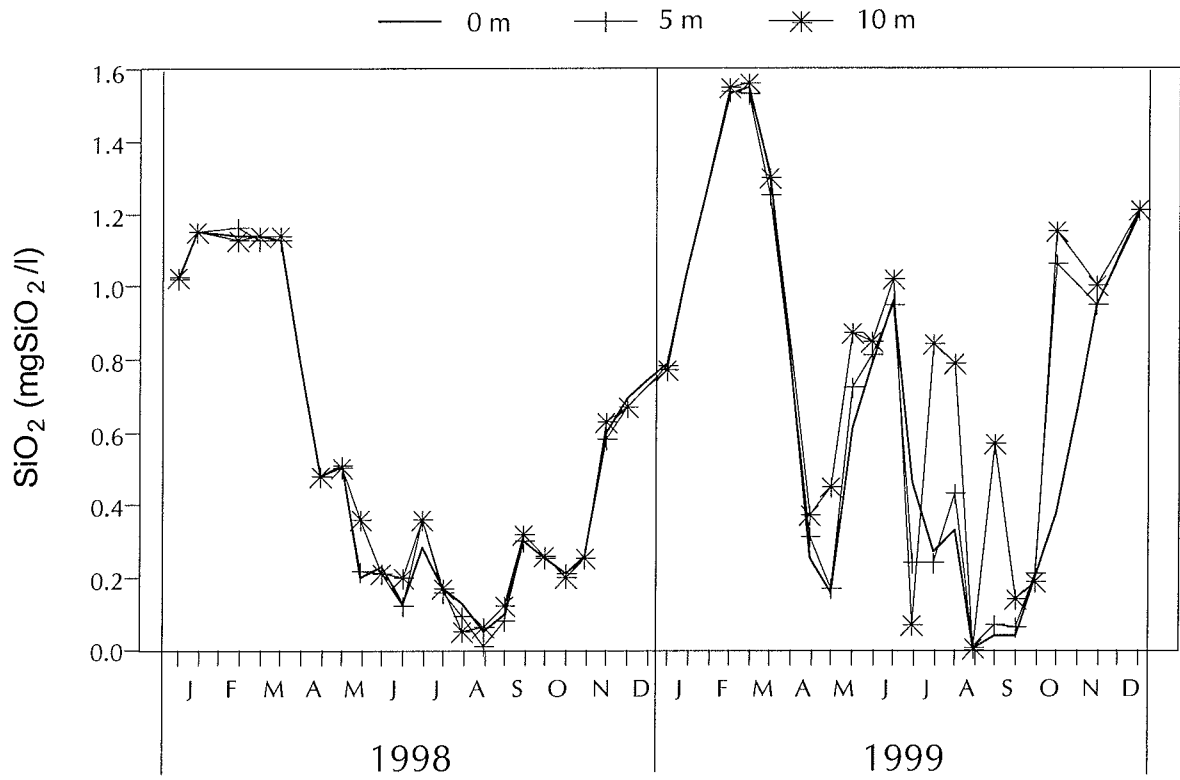


Figure 9 : Concentration en silice dissoute (SiO₂) des eaux des couches superficielles (0, 5 et 10 m), Léman - Grand Lac (SHL 2)

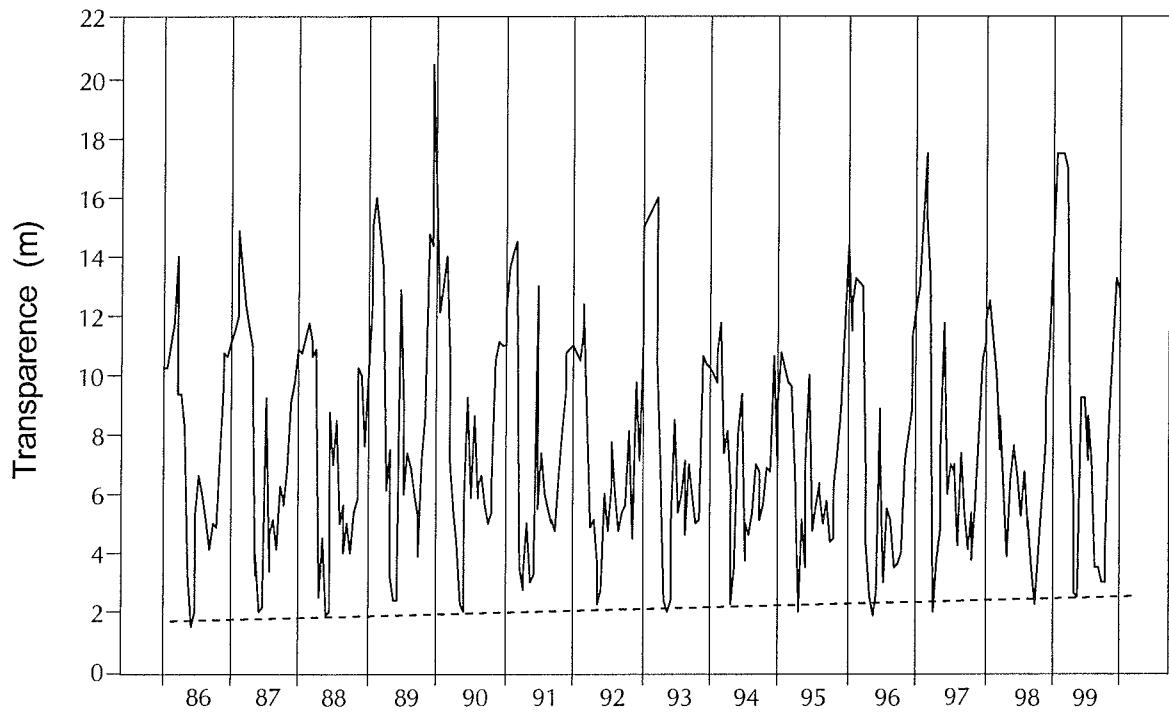


Figure 10 : Transparence mesurée avec le disque de Secchi, Léman - Grand Lac (SHL 2)

3.2 Reste de l'année

De mi-mai à mi-juillet, on constate une nette augmentation de la transparence (figure 10), avec un maximum entre le 25 mai et le 16 juin (9.3 m) correspondant à une période des "eaux claires" relativement prolongée cette année.

Cette période pourrait avoir été favorisée par une stabilité plus grande des couches d'eaux superficielles qui de ce fait n'ont pas été réapprovisionnées en nutriments depuis les couches plus profondes. On constate également un moindre réchauffement des couches entre 10 et 15 mètres limitant la production phytoplanctonique (REVA CLIER et al., 2000). Ce phénomène se caractérise par une non-consommation du nitrate à 10 mètres (figure 8). Il en est de même pour la silice de 0 à 10 mètres (figure 9).

En août l'activité du phytoplancton a redémarré avec comme conséquence une chute des teneurs en nitrate et silice jusqu'à fin septembre, le phosphore restant à des concentrations très faibles jusqu'à fin octobre. Cette activité s'accompagne de deux pics d'azote ammoniacal (figure 12) et de carbone et azote particulaires (figure 13).

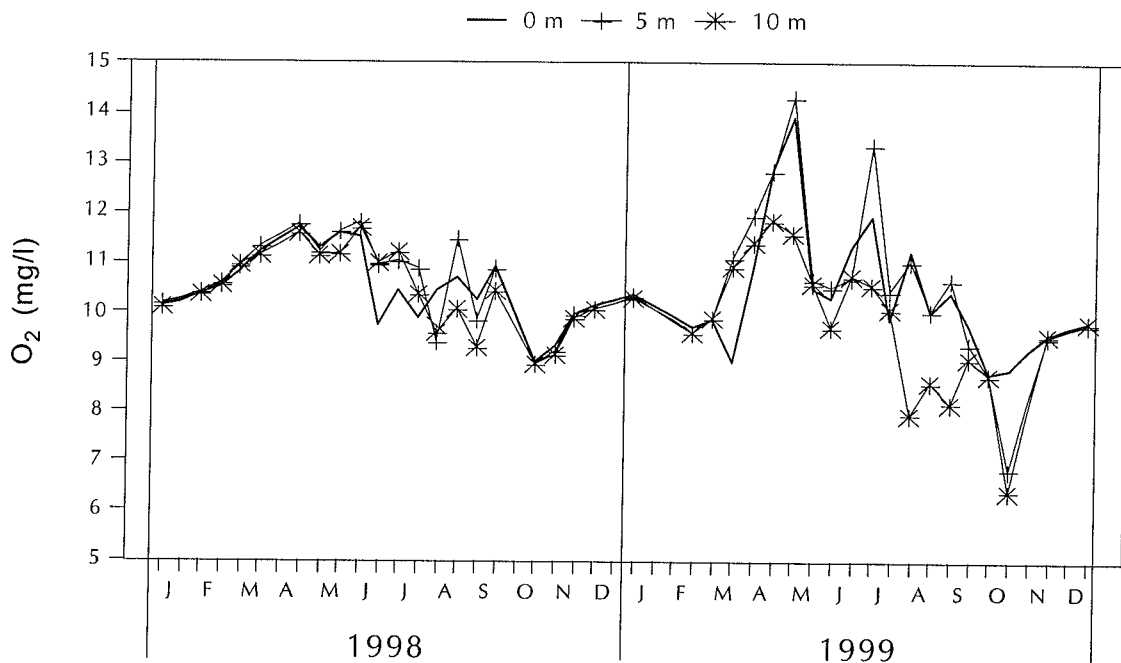


Figure 11 : Concentration en oxygène dissous des eaux des couches superficielles (0, 5, 10 et 15 m), Léman - Grand Lac (SHL 2)

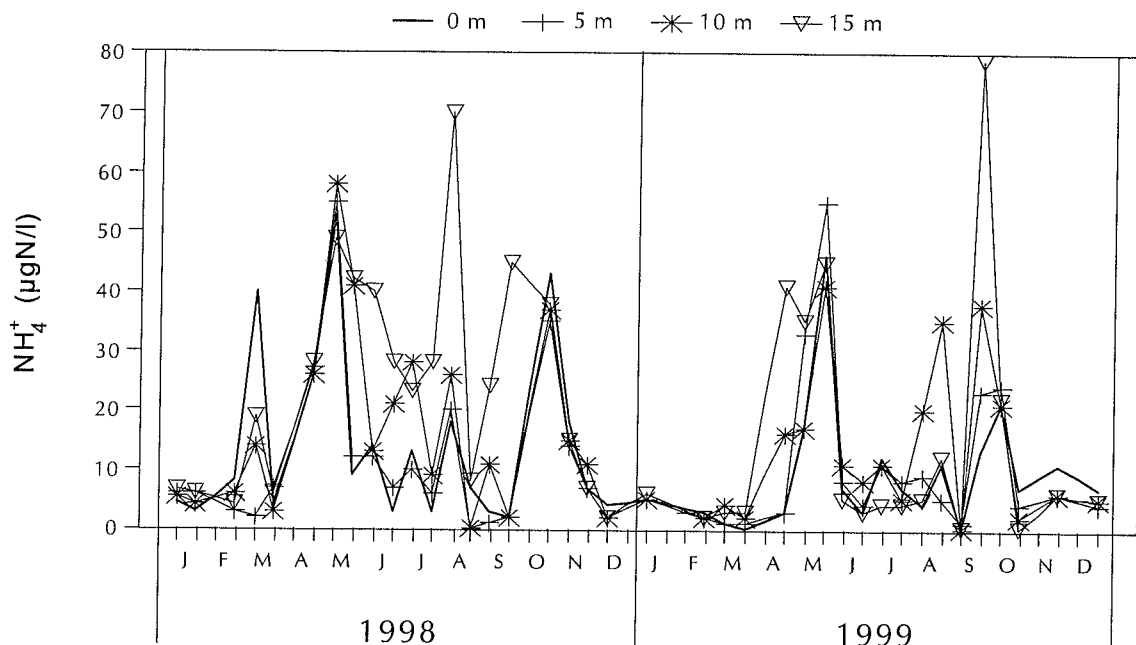


Figure 12 : Concentration en azote ammoniacal des eaux des couches superficielles (0, 5, 10 et 15 m), Léman - Grand Lac (SHL 2)

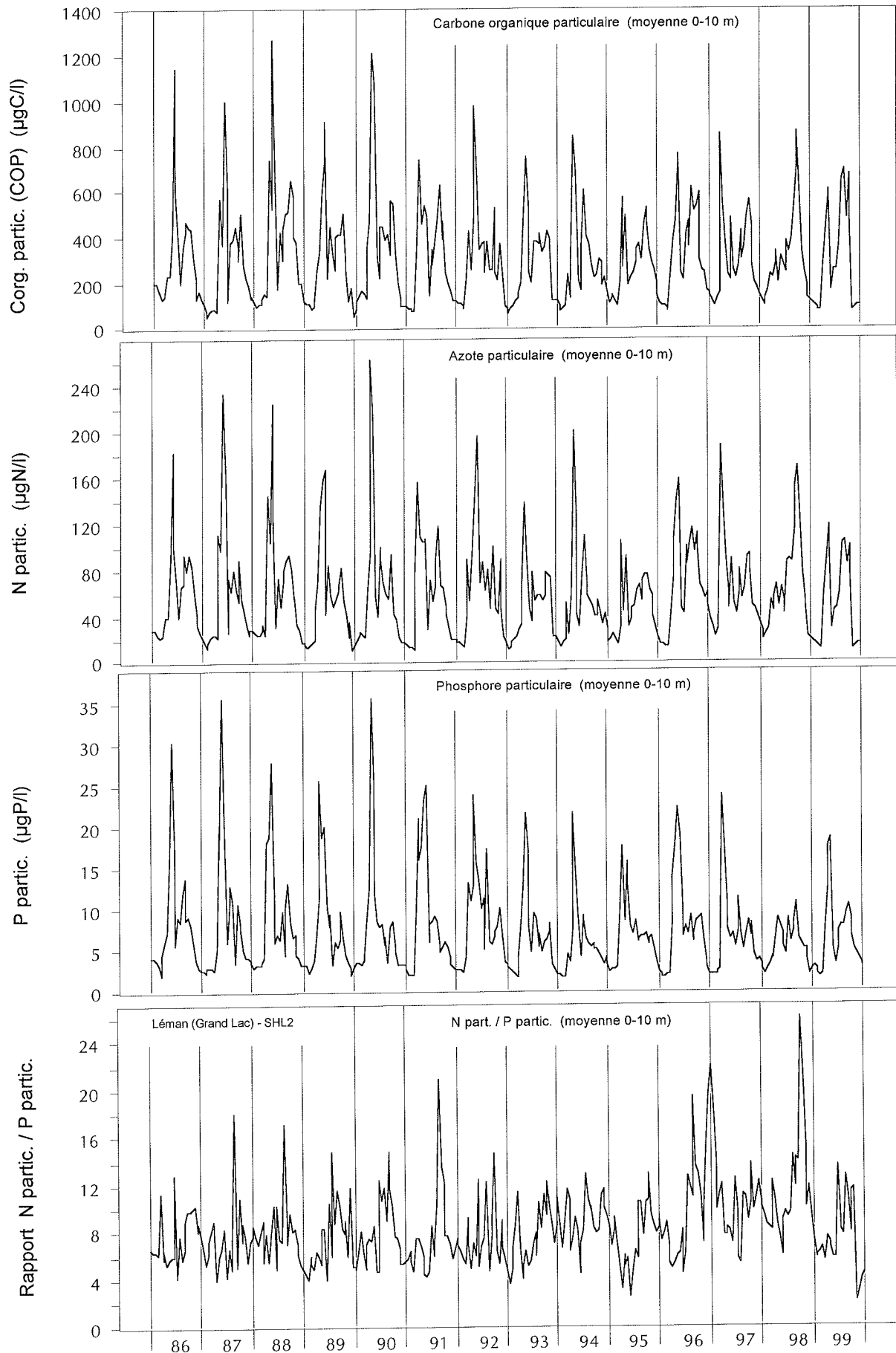


Figure 13 : Concentrations en carbone organique, azote et phosphore particulaires des eaux de la couche superficielle (0-10 m). Rapport N particulaire / P particulaire, Léman - Grand Lac (SHL 2)

4. ÉVOLUTION SAISONNIÈRE DANS LES COUCHES PROFONDES

Le brassage presque complet en mars 1999 entraîne une bonne oxygénation des couches profondes (figures 14 et 16), sans toutefois atteindre la saturation. Très rapidement une partie de cet oxygène se trouve consommé par la nature réductrice des sédiments profonds.

Ce brassage rétablit partiellement l'homogénéisation chimique de la colonne d'eau (PO_4 - figure 20).

La teneur en oxygène est presque toujours supérieure à $4 \text{ mgO}_2/\text{l}$ dans les couches profondes (figure 16).

Le mélange des eaux, donc l'homogénéisation, entraîne une chute des teneurs en phosphore dissous dans les couches profondes et sa diffusion depuis les sédiments a été limitée (figures 15 et 20).

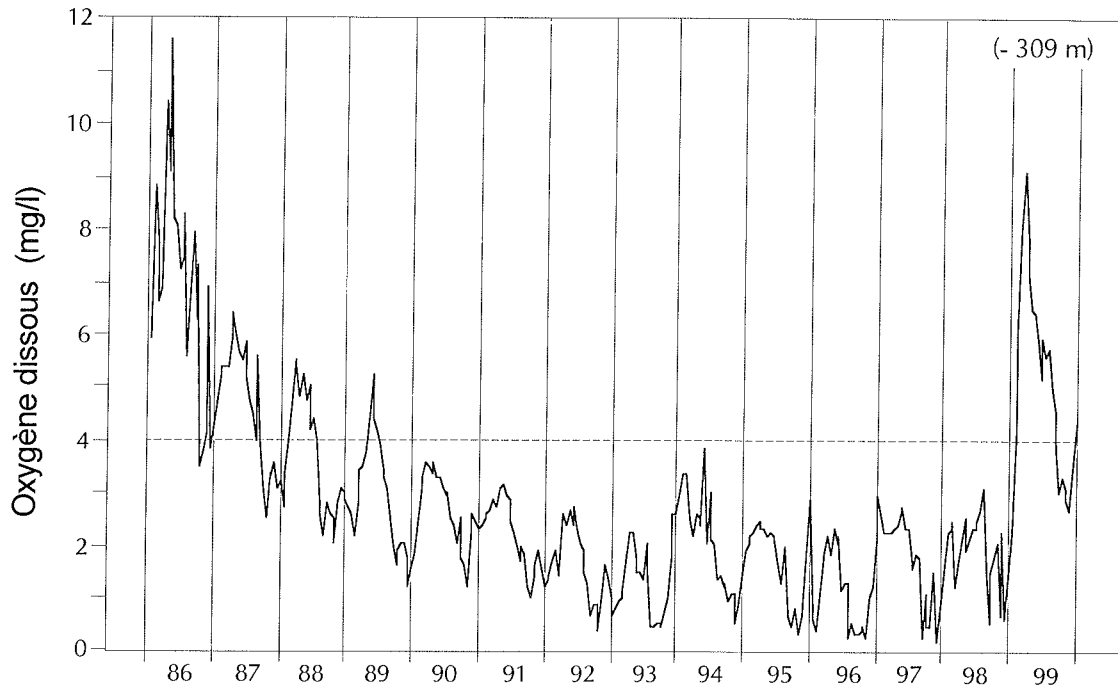


Figure 14 : Concentration en oxygène dissous des eaux du fond, Léman - Grand Lac (SHL 2)

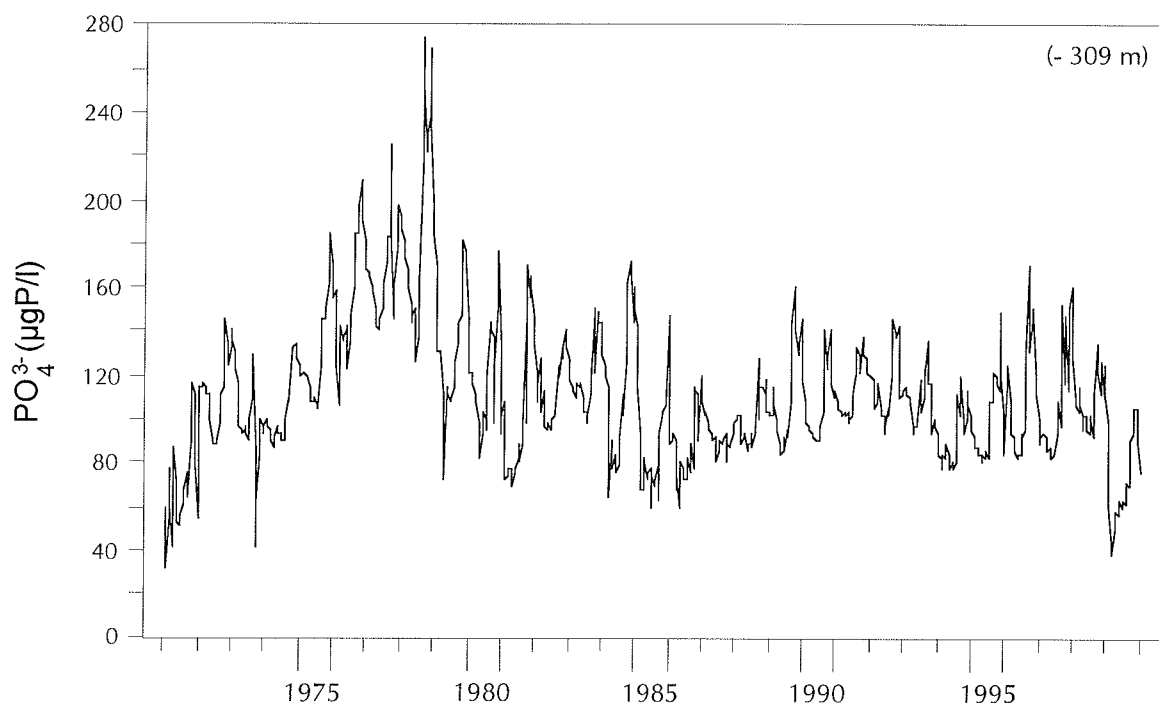


Figure 15 : Concentration en phosphore dissous (PO_4^{3-}) des eaux du fond, Léman - Grand Lac (SHL 2)

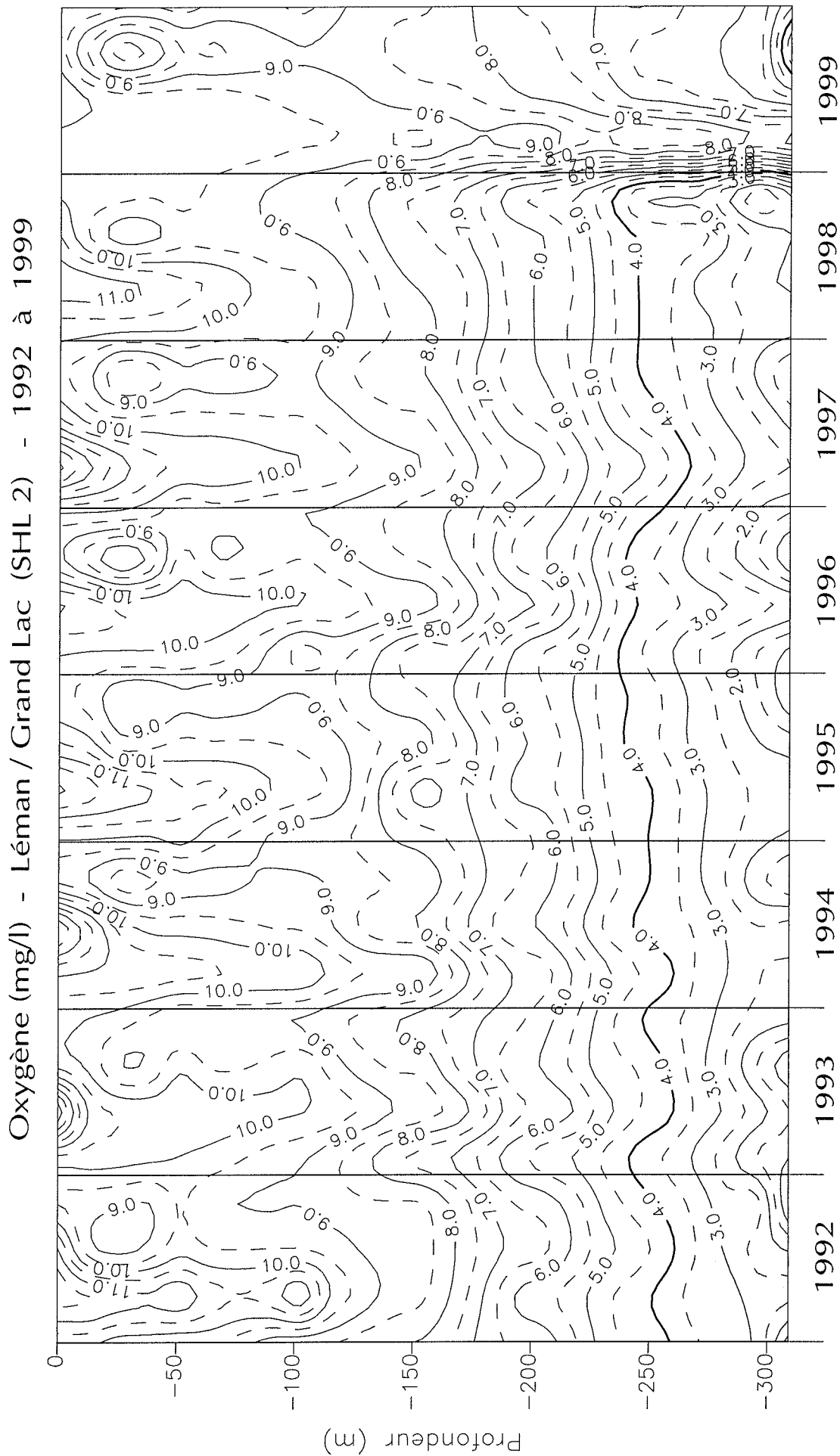


Figure 16 : Concentration en oxygène dissous des eaux du Léman (SHL 2) (zone grisée = concentration inférieure à 4 mgO₂/l)

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)

Du fait de la bonne oxygénation des eaux profondes, il n'y a pas eu de réduction des sels de manganèse et donc de leur diffusion à partir des sédiments (figure 17).

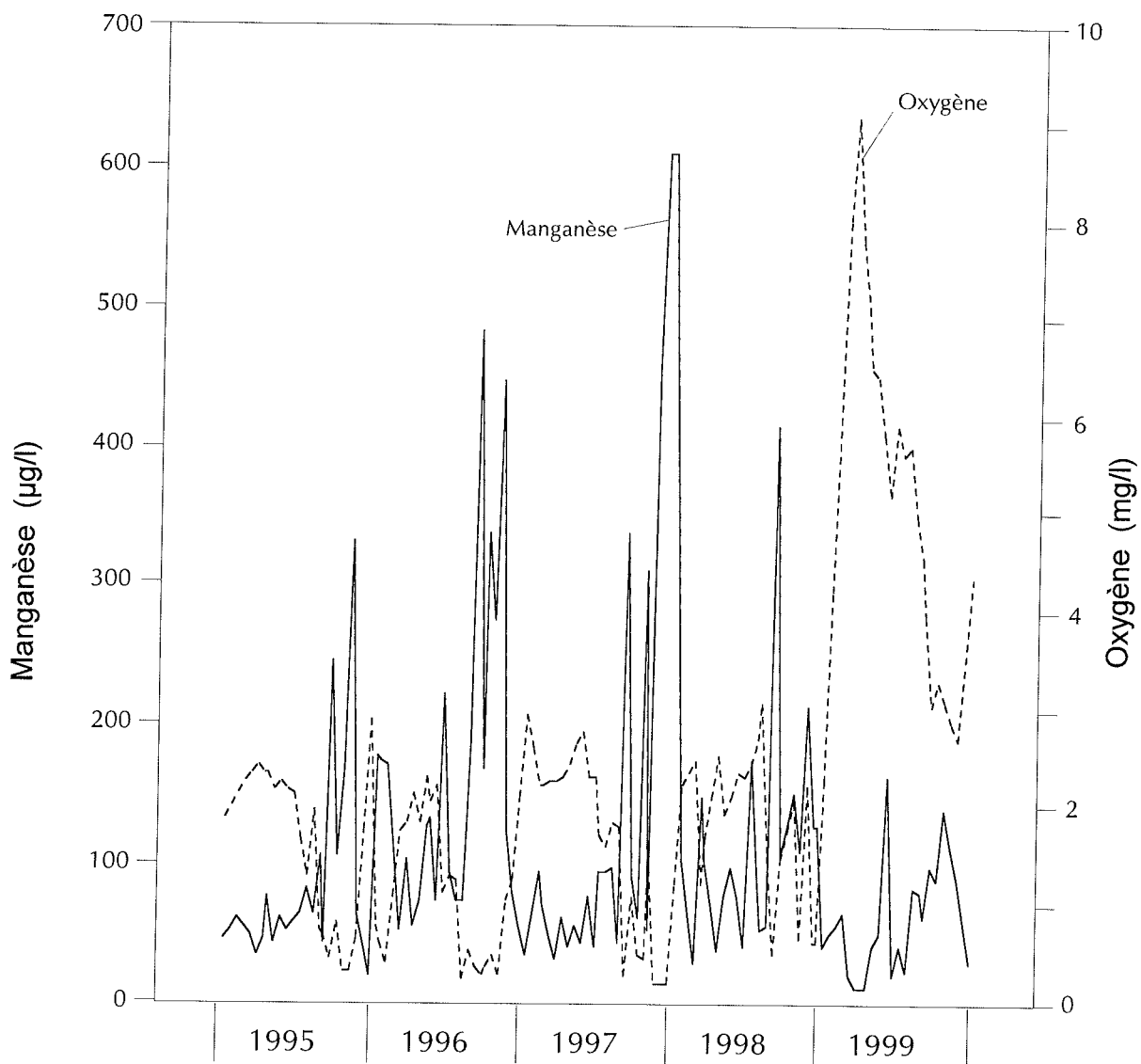


Figure 17 : Evolution comparée des concentrations en manganèse total et en oxygène dissous dans les eaux du fond du Léman Grand Lac (SHL2)

5. ÉVOLUTION INTERANNUELLE DES PRINCIPAUX PARAMÈTRES

Les concentrations moyennes pondérées¹ 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).

5.1 Oxygène dissous (figures 14, 16 et 18)

Le brassage en mars 1999 a provoqué une bonne réoxygénation des eaux profondes avec une valeur qui a atteint 9.1 mgO₂/l. La figure 18 montre l'évolution de la teneur au fond du lac depuis 1957.

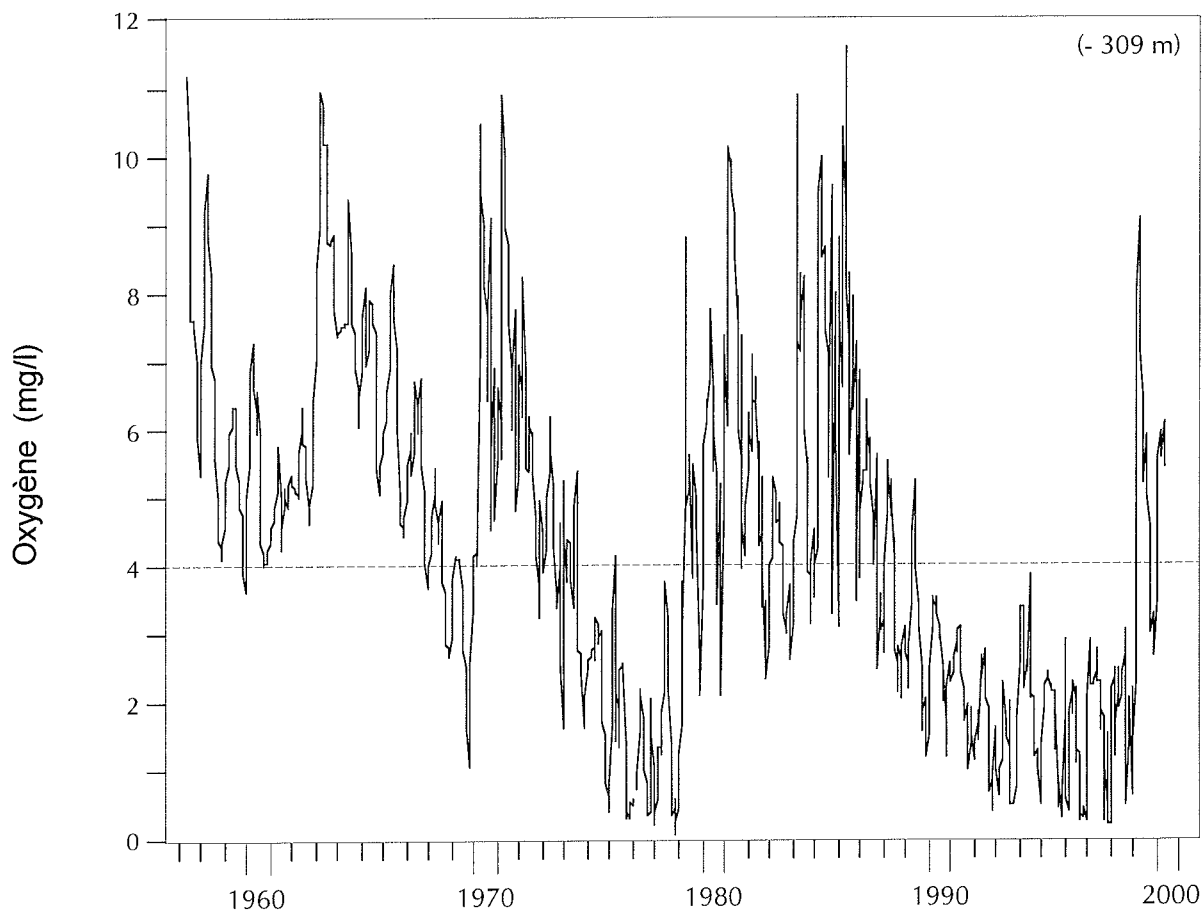


Figure 18 : Concentration en oxygène dissous des eaux au fond du Léman - Grand Lac (SHL 2)

Sur les figures 14 et 18, la limite indiquée à 4 mgO₂/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/l O₂... Les conditions naturelles particulières sont réservées".

1 Les concentrations moyennes pondérées sont calculées de la façon suivante :

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

5.2 Phosphore dissous et phosphore total (figures 19 et 20)

En 1999, on mesure un stock moyen quasi égal à celui de 1998 (- 1 %). Les concentrations moyennes annuelles sont en 1999 de 39 $\mu\text{gP/l}$ pour le phosphore total et de 35 $\mu\text{gP/l}$ pour le phosphore dissous, ce qui correspond à une quantité de phosphore total contenu dans le Grand Lac de 3'360 tonnes et de 2'990 tonnes de phosphore dissous.

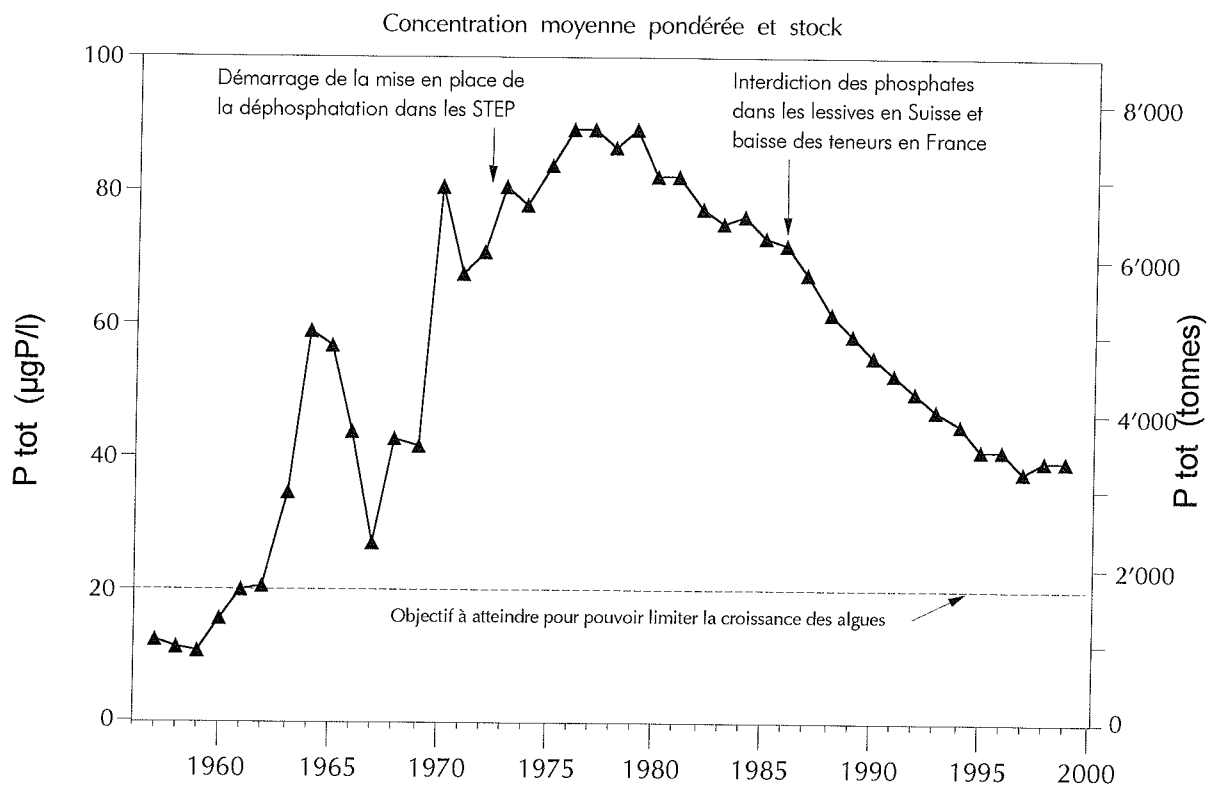


Figure 19 : Evolution de la concentration moyenne annuelle pondérée et du stock de phosphore total contenu dans le Grand Lac

La figure 20 montre l'évolution des concentrations en phosphore dissous dans les différentes couches pour les années 1992 à 1999. L'homogénéisation de mars 1999 se marque bien.

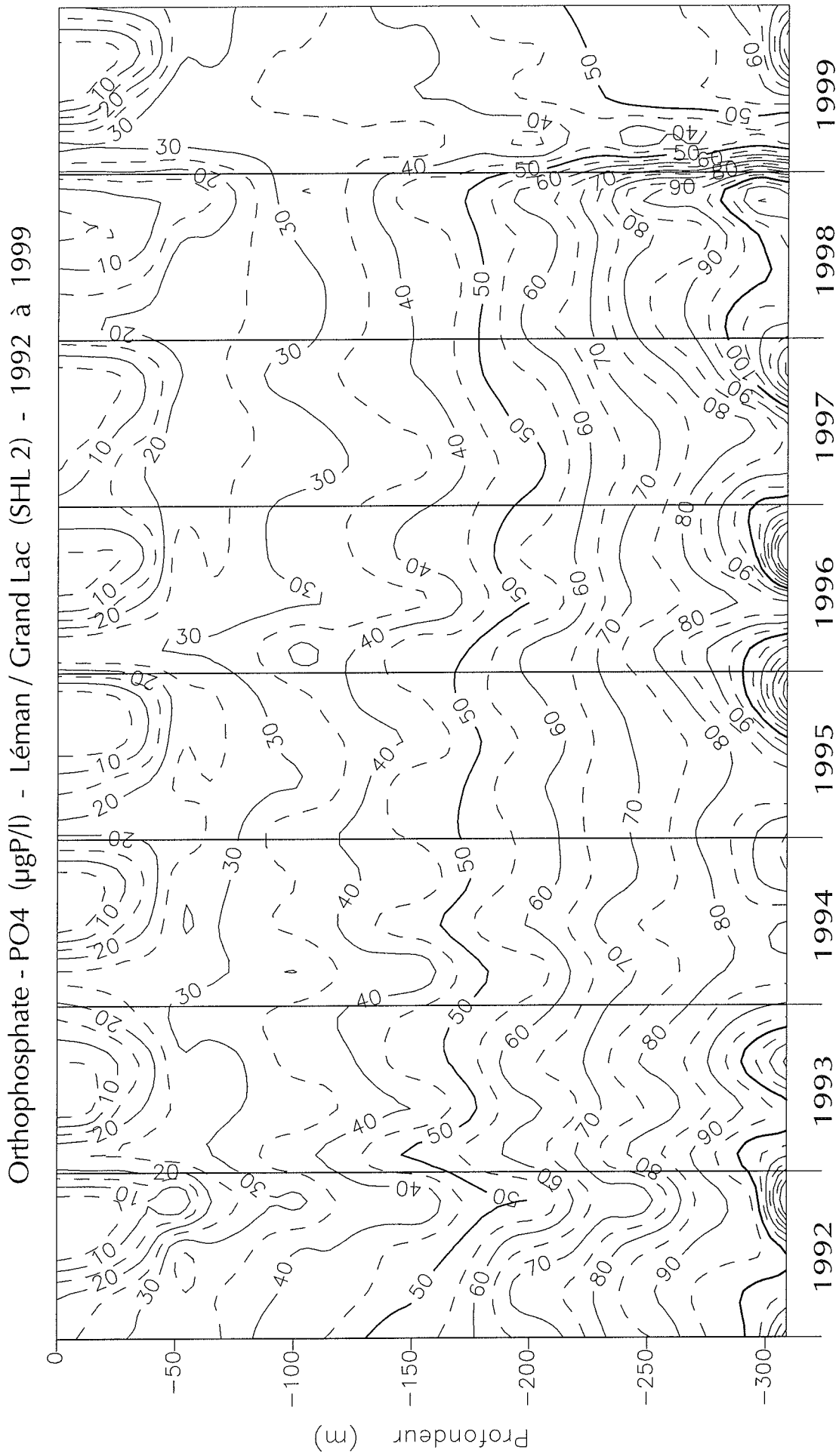


Figure 20 : Concentration en phosphore dissous (PO₄³⁻) dans les différentes couches du Léman (SHL2)
(Zone grisée = concentration supérieure à 100 µgP/l)

5.3 La transparence (figure 10)

On peut constater (figure 10) une tendance à l'augmentation des minima de transparence observés lors des poussées phytoplanctoniques ces quinze dernières années.

5.4 Azote nitrique et azote total (figure 21)

Les concentrations pour 1999 sont de 660 $\mu\text{gN/l}$ pour l'azote total et 560 $\mu\text{gN/l}$ pour l'azote nitrique. La stabilité des concentrations se poursuit depuis quelques années.

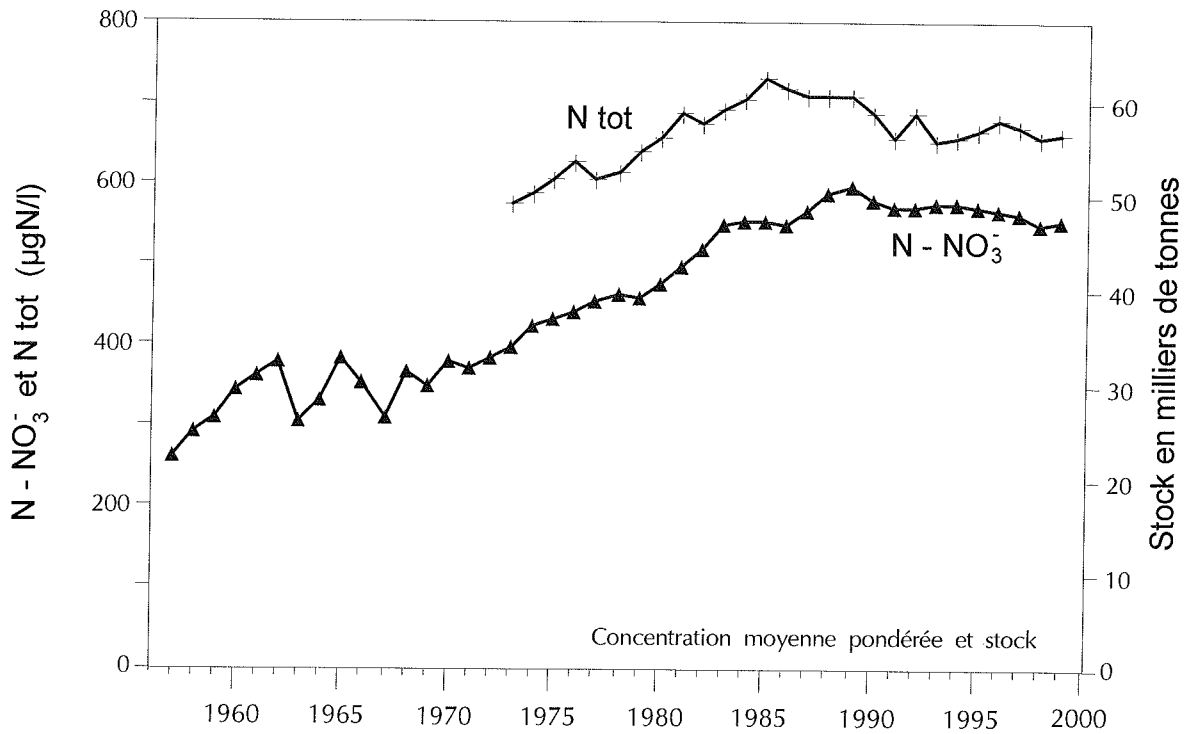


Figure 21 : Evolution de la concentration moyenne annuelle pondérée et des stocks d'azote total et d'azote nitrique contenus dans le Grand Lac

5.5 Chlorure (figure 22)

Depuis que des mesures régulières de ce paramètre sont effectuées, on constate d'année en année une augmentation de la concentration en chlorure. En 1999, la concentration moyenne est de 7.19 mg/l, alors qu'elle n'était que de 2.73 mg/l en 1971.

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 adoucisseurs d'eau, des produits utilisés pour éliminer le phosphore dans les STEP, des rejets domestiques, des précipitations et du lessivage/érosion des sols (CORVI, 1984a).

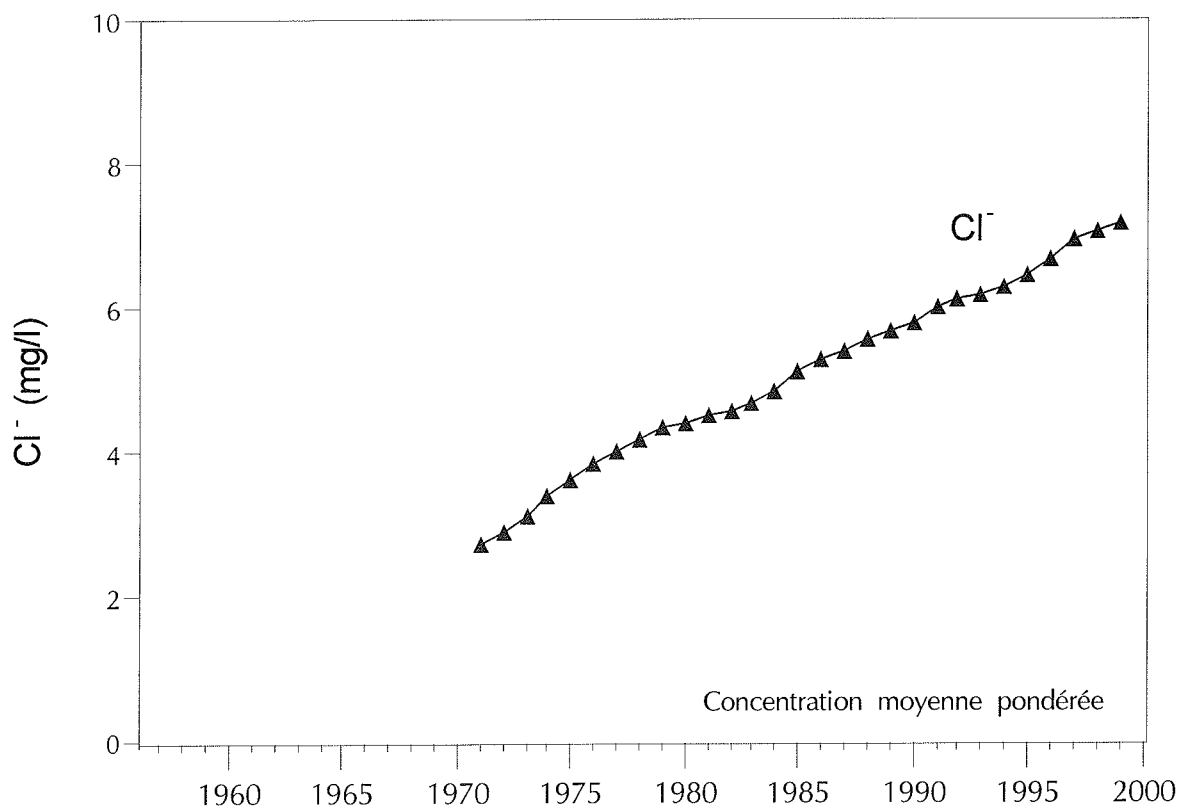


Figure 22 : Evolution de la concentration moyenne annuelle en chlorure, pondérée pour l'ensemble de la masse d'eau du Grand Lac

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, 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.

6.2 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.

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., 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 ou à la valeur limite fixée, pour la Suisse, à respectivement 5 et 200 µg/l (OSEC, 1995).

TABLEAU 1 - Campagne du 24 mars 1999

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	4	nd*	nd*	nd*	4	nd*
1	1	4	nd	nd	nd	5	nd
5	-	-	-	-	-	-	-
7.5	1	5	nd	nd	nd	5	nd
10	1	6	nd	nd	nd	5	nd
30	1.5	10	nd	nd	nd	4	nd
100	8	7	nd	nd	nd	4	nd
305	13	6	nd	nd	nd	5	nd
fond	11	6	-	-	-	-	-

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

TABLEAU 2 - Campagne du 21 septembre 1999

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*	<1	nd*
1	<1	1	nd	nd	nd	4	nd
5	<1	3	nd	0.06	nd	<1	nd
7.5	<1	2	nd	0.07	nd	3	nd
10	<1	2	nd	nd	nd	<1	nd
30	<1	4	nd	nd	nd	3	nd
100	<1	1	nd	nd	nd	4	nd
305	6	3	nd	nd	nd	<1	nd
fond	97	5	nd	nd	nd	<1	nd

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

TABLEAU 3 - Pesticides (phytosanitaires) décelés

Léman - Grand Lac (Station SHL2)

Profond. (m)	24 mars 1999				21 septembre 1999			
	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	0.02	0.05	0.02	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01
1	0.03	0.05	0.03	0.07	0.02	0.03	0.03	0.03
5	-	-	-	-	0.02	0.03	0.03	0.02
7.5	0.03	0.05	0.02	0.06	0.02	0.04	0.03	0.02
10	0.03	0.04	0.02	0.06	0.02	0.04	0.02	0.02
30	0.03	0.04	0.02	0.06	0.03	0.04	0.03	0.03
100	0.03	0.04	0.02	0.07	0.03	0.05	0.03	0.05
305	0.03	0.04	0.02	0.05	0.03	0.06	0.03	0.04
fond	-	-	-	-	0.02	0.05	0.03	0.04

TABLEAU 4 - NTA et EDTA

Léman - Grand Lac (Station SHL2)

Profondeur (m)	NTA ($\mu\text{g/l}$)		EDTA ($\mu\text{g/l}$)	
	24 mars 1999	21 septembre 1999	24 mars 1999	21 septembre 1999
0	0.6	0.2	0.6	0.4
1	0.6	0.2	0.6	1.0
5	0.5	0.2	0.3	0.7
7.5	0.8	0.2	0.4	0.4
10	0.5	0.2	0.8	0.5
30	0.4	-	0.3	-
100	0.1	-	0.5	-
305	0.2	0.1	0.5	0.4
fond	0.1	0.2	0.5	0.6

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	50	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).

7. CONCLUSIONS

Les principales observations en 1999 sont les suivantes :

- le brassage hivernal des eaux a été presque complet en mars 1999 dans le Grand Lac; le Petit Lac, qui a une profondeur maximum inférieure à 80 m, a été entièrement brassé comme chaque année,
- le brassage a permis de réoxygéner les couches profondes. Les teneurs en oxygène demeurent presque toute l'année et en tous points supérieures à 4 mgO₂/l,
- le brassage hivernal dans le Grand Lac a réparti les nutriments de façon homogène dans toute la masse d'eau, ce qui a provoqué une augmentation sensible des concentrations en phosphore dans les couches superficielles par rapport aux années précédentes,
- la reprise de l'activité photosynthétique a été importante dès la mi-avril. De mi-mai à mi-juillet, on constate une nette augmentation de la transparence, avec un maximum entre le 25 mai et le 16 juin (9.3 m) correspondant à une période des "eaux claires" relativement prolongée cette année.

Le phosphore dissous est consommé en quasi-totalité dans les couches superficielles de mai à fin septembre.

Pour les stocks de phosphore contenus dans le lac, on ne constate pas d'évolution significative par rapport à 1998 (- 1 %). Pour l'azote total et l'azote nitrique, la stabilité des concentrations se poursuit depuis quelques années. Pour le chlorure, on constate d'année en année une augmentation des concentrations.

- Pour le Grand Lac, le stock de phosphore total est de 3'360 tonnes en 1999, contre 3'395 en 1998,
- pour le Grand Lac, le stock d'azote nitrique (47'655 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 des rivières fixées dans l'Ordonnance suisse sur la protection des eaux (OEaux, 1998) sont respectées pour les métaux surveillés. Seules les concentrations de cuivre observées sont quelquefois proches des exigences fixées par cette ordonnance prise comme point de comparaison.

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 développer.

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

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. (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 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.
- 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.
- ORAND, A. et GAGNAIRE, J. (2000 a) : Météorologie. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1999.
- ORAND, A. et GAGNAIRE, J. (2000 b) : Bilan des apports par les affluents au Léman et au Rhône à l'aval de Genève. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1999.
- 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.
- REVACLIER, R. et DRUART, J.-C. (2000) : Evolution du phytoplancton du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1999.
- SIGG, L. (1992) : Les métaux lourds dans les cours d'eau. Nouvelles de l'EAWAG, 32, 32-35.

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
DICOFOFOL
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
CHLOROXURON
DIURON
LINURON
ISOPROTURON
DIFENOXURON

II.3 Divers :

METOLACHLORE

III. INSECTICIDES PHOSPHORÉS

ACEPHATE
AMIDITHION
AZINPHOS-ETHYLE
AZINPHOS-METHYLE
BROMOPHOS METHYLE
BROMOPHOS-ETHYLE
CARBOPHENOTHION-ETHYLE
CARBOPHENOTHION-METHYLE
CHLORFENVINFOS
CHLORMEPHOS
CHLORPYRIFOS
CHLORTHION
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
ETRIMFOS
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
TETRACHLORVINFOS
THIOMETON
TRIAMIPHOS
TRIAZOPHOS
TRICHLORONAT
TRICHLORPHON
VAMIDOTHION
ZINOPHOS

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
1998	8.26	39.6	35.2	658	557	5.1	0.9	551	7.06	100.3	22.1	2.2	7.36	5.65
1999	8.79	39.2	34.9	662	560	3.3	0.8	556	7.19	92.3	13.2	2.3	8.99	5.72

C.I.P.E.L. : 16/03/2000

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)

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
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