

ÉVOLUTION PHYSICO-CHEMIQUE ET RECHERCHE DE MÉTAUX ET DE QUELQUES MICROPOLLUANTS DANS LES EAUX DU LÉMAN

PHYSICAL-CHEMICAL CHANGES AND TESTS FOR METALS AND VARIOUS MICROPOLLUTANTS IN THE WATERS OF LAKE GENEVA

Campagne 2003

PAR

Jérôme LAZZAROTTO

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

François RAPIN

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

Claude CORVI

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

RÉSUMÉ

L'année 2003 se caractérise par une activité photosynthétique printanière importante avec un fort réchauffement, puis une période d'eau claire marquée.

L'hiver 2002-2003 n'a pas fourni de brassage permettant de réoxygéner les eaux profondes. On peut estimer que la circulation hivernale des eaux a atteint 160 mètres en février 2003.

La concentration en oxygène dissous est inférieure à 4 mgO₂/L à partir du mois de septembre pour les eaux du fond du Grand Lac.

La concentration moyenne en phosphore total du lac est de 32.8 µgP/L en 2003, cette valeur indique une diminution sensible par rapport à l'année 2002.

Le stock du lac en chlorure a augmenté de 8 % en un an, on observe désormais une concentration moyenne de 8.47 mg/L de chlorure. Cependant, on constate en début d'année 2004 des teneurs qui sont dans la tendance des années précédentes.

On observe un comportement asymptotique de la teneur en phosphore pour ces dernières années, il est donc important de poursuivre et d'intensifier les efforts au niveau de la lutte à la source et au niveau de l'assainissement.

L'azote nitrique et l'azote total restent constants relativement aux années précédentes.

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.

ABSTRACT

2003 was characterized by high photosynthetic activity in the spring with marked warming, followed by a distinct period of clear water.

The winter of 2002-2003 did not provide enough churning to reoxygenate the water at the bottom of the lake. The winter circulation of the water can be estimated to have reached a depth of 160 meters in February 2003.

The concentration of dissolved oxygen in the water at the bottom of the Grand Lac was less than 4 mgO₂/L from the month of September.

The mean total phosphorus concentration of the lake was 32.8 µgP/L in 2003, a value that indicates a clear reduction from 2002.

The chloride reserves in the lake increased by 8 % in one year, and the mean concentration of chloride is now 8.47 mg/L. This increase is much greater than in previous years.

The level of phosphorus in recent years displays an asymptotic pattern, which means that it is important to continue to step up efforts to tackle this, both at source and by means of purification.

The nitric and total nitrogen levels remained fairly similar to previous years.

The heavy-metal content of the waters of lake Geneva have remained low, and comply fully with the requirements specified for drinking water and water for fish life. Traces of triazine herbicides and metolachlor are still detectable in the water of the lake. Although these concentrations are still low, and probably have no toxic effect on the ecosystem, it should be pointed out that the presence of these metals is not desirable, and every attempt to restrict their input should be encouraged.

1. MÉTHODES

La station de mesure des paramètres physico-chimiques, représentée sur la figure 1, est la suivante :

- 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),

Cette 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 - 25 - 30 - 35 - 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 biologique est intense et subit de fortes et rapides fluctuations. Il y a eu 20 campagnes de prélèvements en 2003.

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. La validité des résultats est périodiquement testée par des analyses interlaboratoires auxquelles participent environ 20 laboratoires. En 2003, les résultats analytiques sont concordants (STRAWCZYNSKI, 2004).

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

Certains métaux et micropolluants organiques sont recherchés, à différentes profondeurs (0 - 1 - 5 - 7.5 - 10 - 30 - 100 - 305 - 309 m), après circulation des eaux (mars) et en période de stratification (septembre). Les éléments suivants ont été dosés : 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).

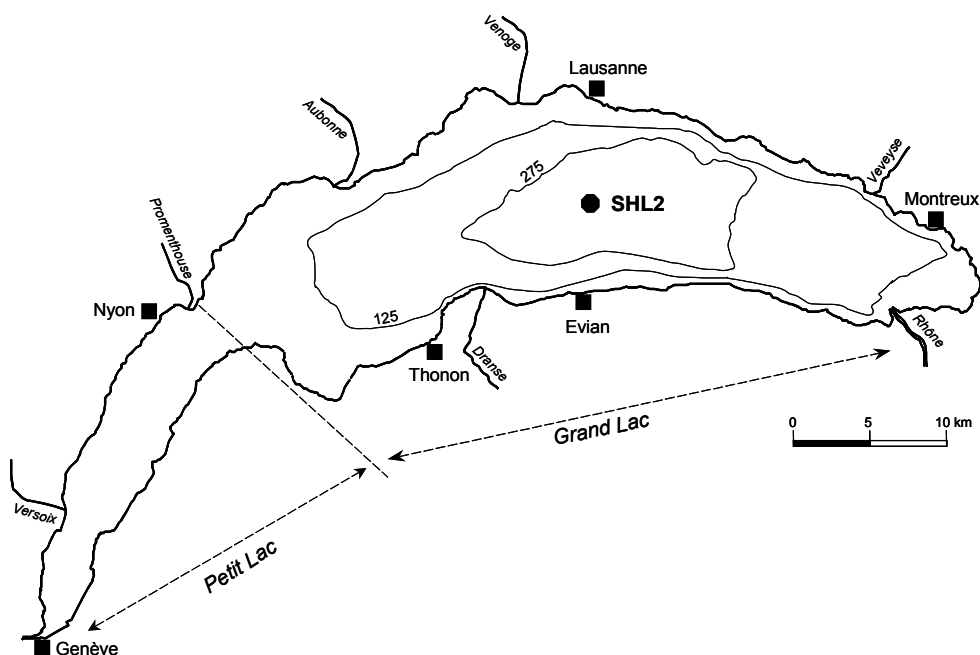


Figure 1 : Situation du point de prélèvement

Figure 1 : Location of the sampling station

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

L'hiver 2002-2003 a été assez froid (figures 2a et 2b), on observe une température constante de 6.1 °C sur toute la longueur de la colonne d'eau lors de la campagne du 20 février 2003, mais les vents n'ont pas été suffisamment forts pour homogénéiser l'ensemble de la colonne d'eau. Cela a entraîné un brassage incomplet atteignant 160 m pour l'année 2003 (figure 3), soit légèrement supérieur à celui de 2002 (150 m).

La réoxygénation des eaux du fond a continué après le brassage pour atteindre un maximum en oxygène dissous le 10 mars 2003 avec 6.26 mgO₂/L.

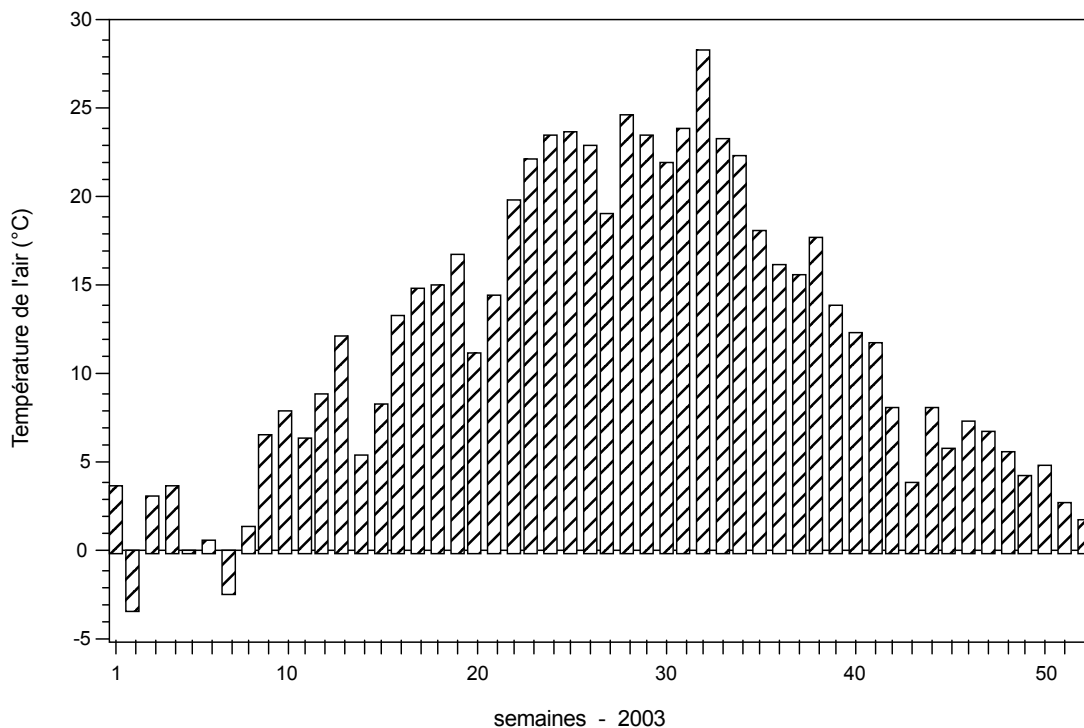


Figure 2 a : Température moyenne hebdomadaire de l'air à la station de Pully en 2003

Figure 2 a : Mean weekly air temperature at the Pully station in 2003

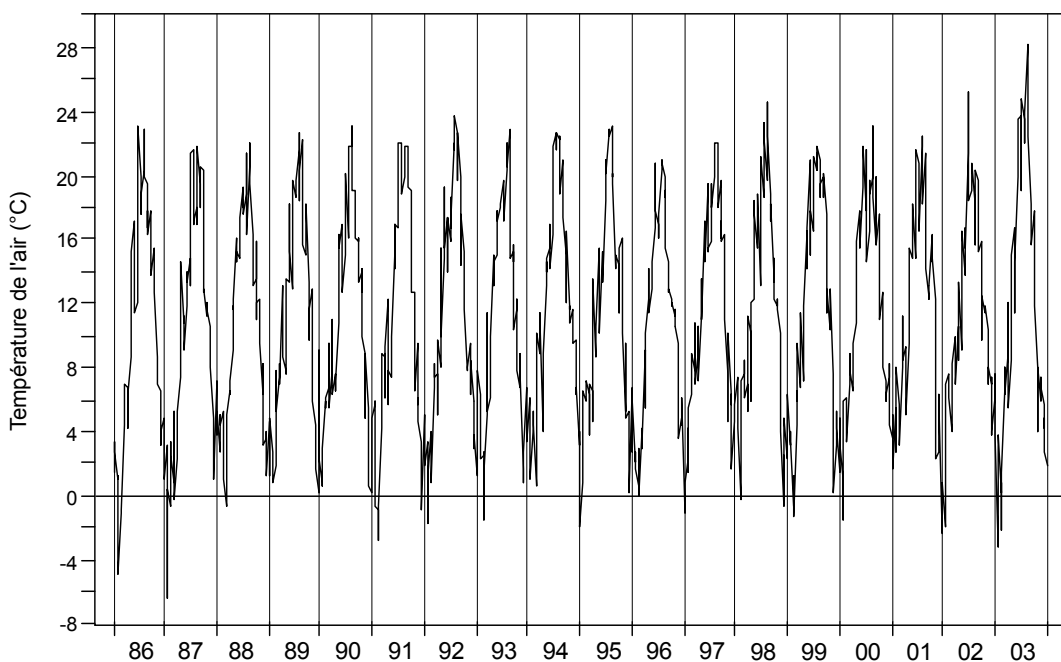


Figure 2 b : Température moyenne hebdomadaire de l'air à la station de Pully de 1986 à 2003

Figure 2 b : Mean weekly air temperature at the Pully station from 1986 to 2003

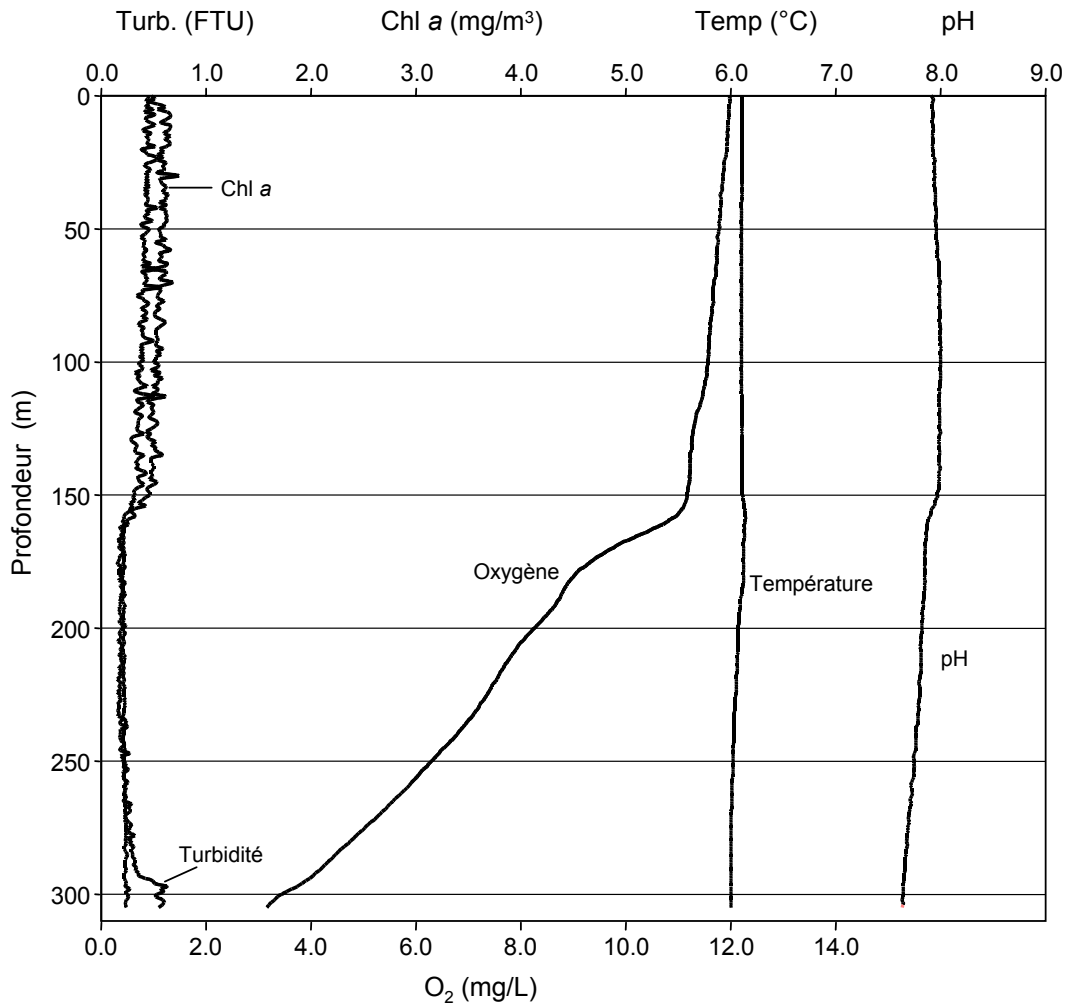


Figure 3 : Profil à la sonde multiparamètres (20.02.2003)

Figure 3 : Multi-Parameter Water Quality Logger profile (20.02.2003)

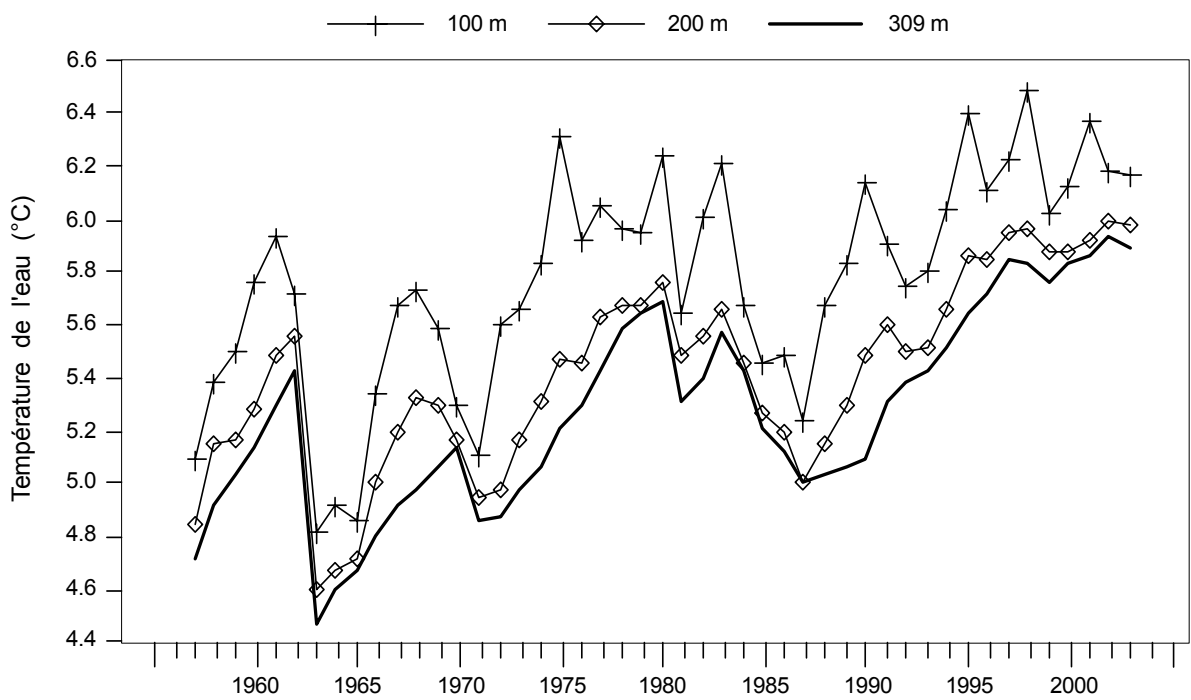


Figure 4 : Evolution de la température moyenne annuelle de l'eau à 100, 200 et 309 mètres de profondeur, Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 4 : Change in the mean annual water temperature at depths of 100, 200 and 309 meters, lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

Température (°C) - Léman / Grand Lac (SHL 2) - 1996 à 2003

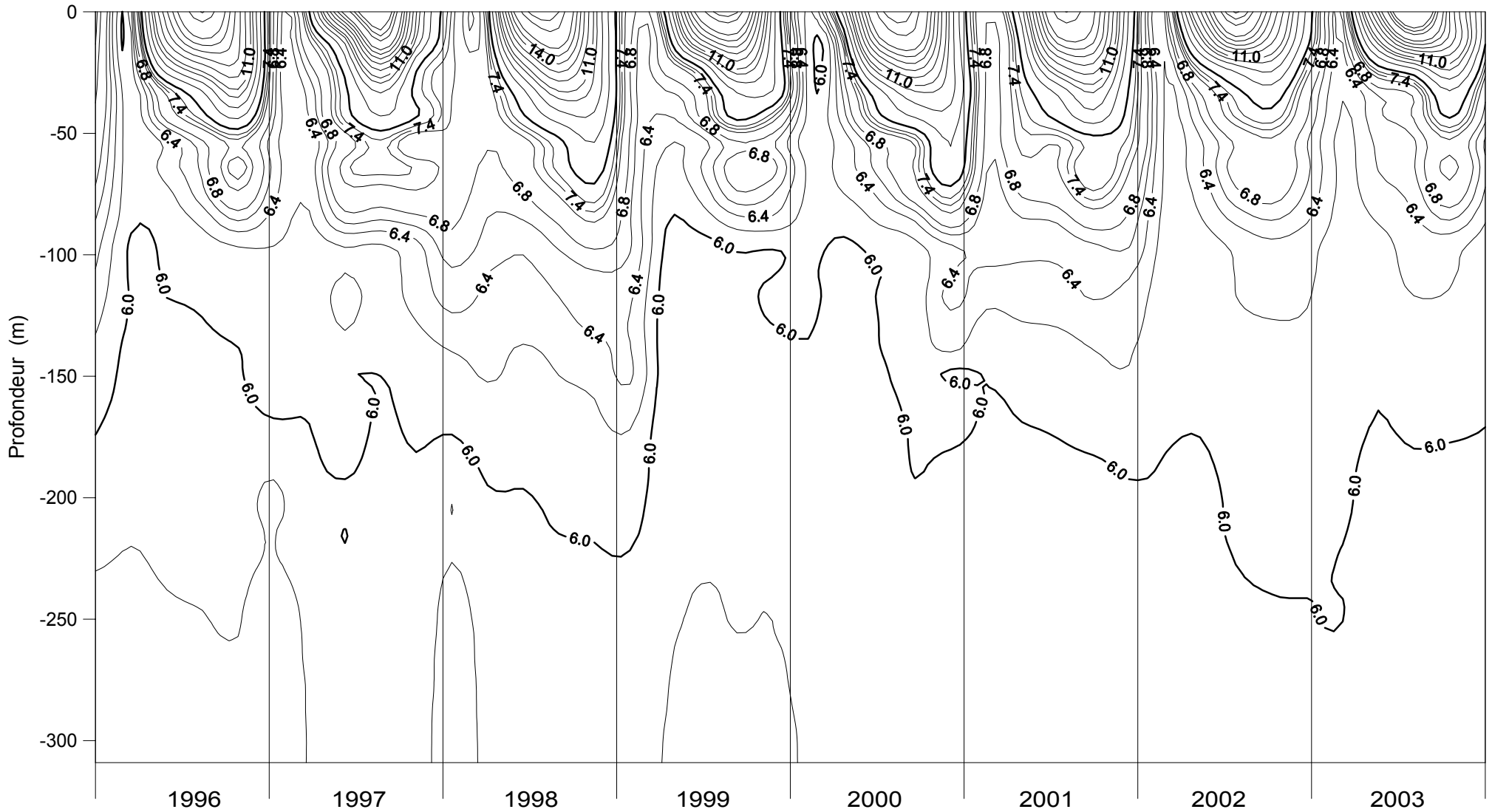


Figure 5 : Température des eaux du Léman (Grand Lac - SHL2) en fonction de la profondeur (N.B. : suivant le nombre d'années prises en considération, de très légères modifications de présentation graphique peuvent apparaître (différence de lissage des courbes d'isovaleurs))

Figure 5 : Water temperature in lake Geneva (Grand Lac - SHL2) as a function of depth (N.B.: depending on how many years are taken into consideration, there may be some very slight differences in the graphical presentation (differences in the smoothing of the isothermal curves))

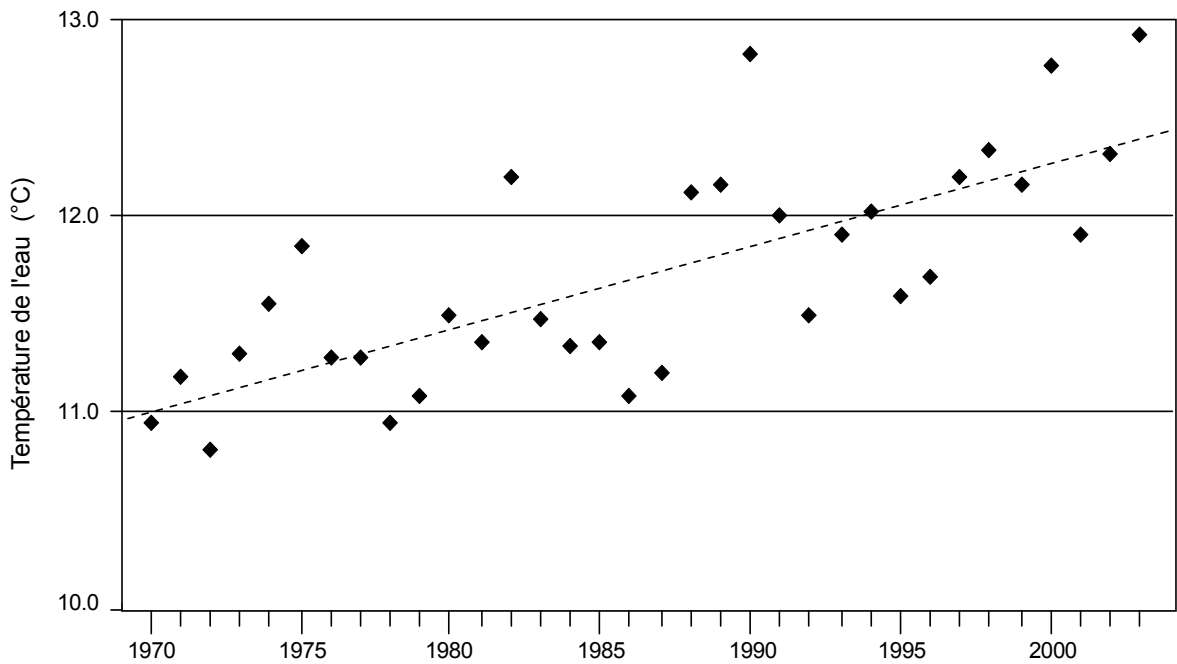


Figure 6 : Evolution de la température moyenne annuelle de l'eau du Léman à 5 mètres de profondeur - Grand Lac (SHL2)

Figure 6 : Change in the mean annual water temperature of lake Geneva at a depth of 5 meters - Grand Lac (SHL2)

On observe toujours une tendance à l'augmentation de la température de la colonne d'eau du Léman depuis les années 1960 (figures 4, 5 et 6).

La figure 7 indique un réchauffement exceptionnel sur les couches 0-5 m durant la canicule de l'été 2003 (QUETIN, 2004). Ce réchauffement n'affecte que les premiers mètres du lac et aura un impact sur l'évolution des phénomènes biologiques (cf. 3.1).

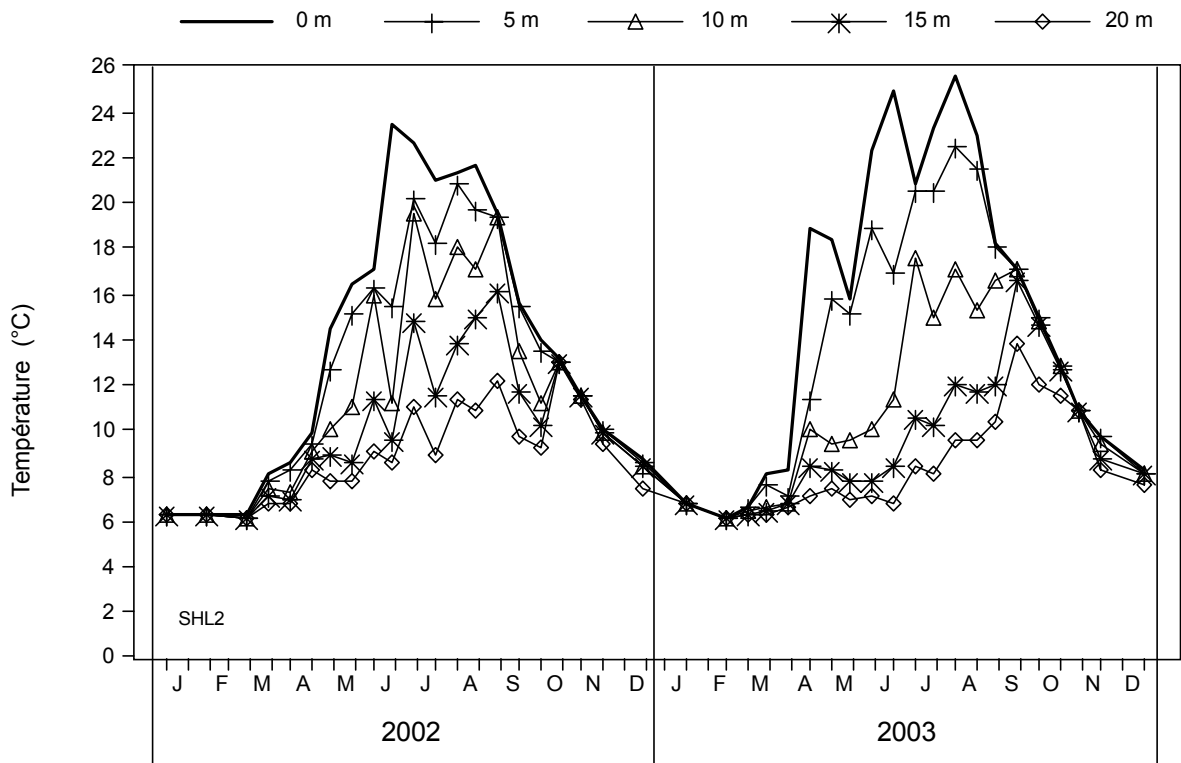


Figure 7 : Température de l'eau des couches superficielles (0, 5, 10, 15 et 20 m) Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 7 : Temperature of the water in the surface layers (0, 5, 10, 15 and 20 m) lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

3. ÉVOLUTION SAISONNIÈRE DANS LES COUCHES SUPERFICIELLES

3.1 Brassage hivernal et reprise de l'activité photosynthétique au printemps

Le brassage hivernal du début de l'année 2003 permet un renouvellement partiel des nutriments en provenance des couches profondes. La concentration en orthophosphates est remontée à 22 µgP/L au début février 2003 dans les couches superficielles contre 20 µgP/L en mars 2002 (figures 8 et 9).

Parallèlement, l'azote nitrique est remonté à 600 µgN/L (figure 10) et la silice dissoute à 1.44 mgSiO₂/L (figure 11) dans les couches superficielles au mois de février.

La transparence maximale de 14.0 m observée le 20 février 2003 est du même ordre que l'année précédente (13.0 m en février 2002) (figure 12).

L'activité photosynthétique a faiblement démarré à partir de mi-mars, puis a continué plus fortement fin avril, suivant le réchauffement des eaux superficielles (figure 12). Cette augmentation de l'activité photosynthétique commence beaucoup plus tard qu'en 2002 et ne s'est pas maintenue toute l'année; on observe deux autres croissances phytoplanctoniques notables durant l'année : en été et en automne.

Cette activité est accompagnée d'une chute brutale en nutriments (PO₄³⁻, SiO₂, NO₃⁻ : figures 9 à 11) et de faibles valeurs de transparence (inférieure à 5 mètres : figure 12) qui correspondent à la poussée de diatomées.

L'activité phytoplanctonique induit aussi une augmentation de l'oxygène dissous dans les couches superficielles, cette augmentation due au départ de l'activité phytoplanctonique est moins importante que l'année précédente, cette concentration atteint 13.48 mgO₂/L en surface le 24 mars 2003 contre 16.63 mgO₂/L le 18 mars 2002 (figure 13).

On observe cependant les maxima de l'oxygénation par l'activité phytoplanctonique durant le mois de juin à 5 m où elle atteint plus de 16 mgO₂/L, alors que l'oxygénation due à la photosynthèse en été 2002 est beaucoup plus modérée et atteint une concentration de l'ordre de 12 mgO₂/L.

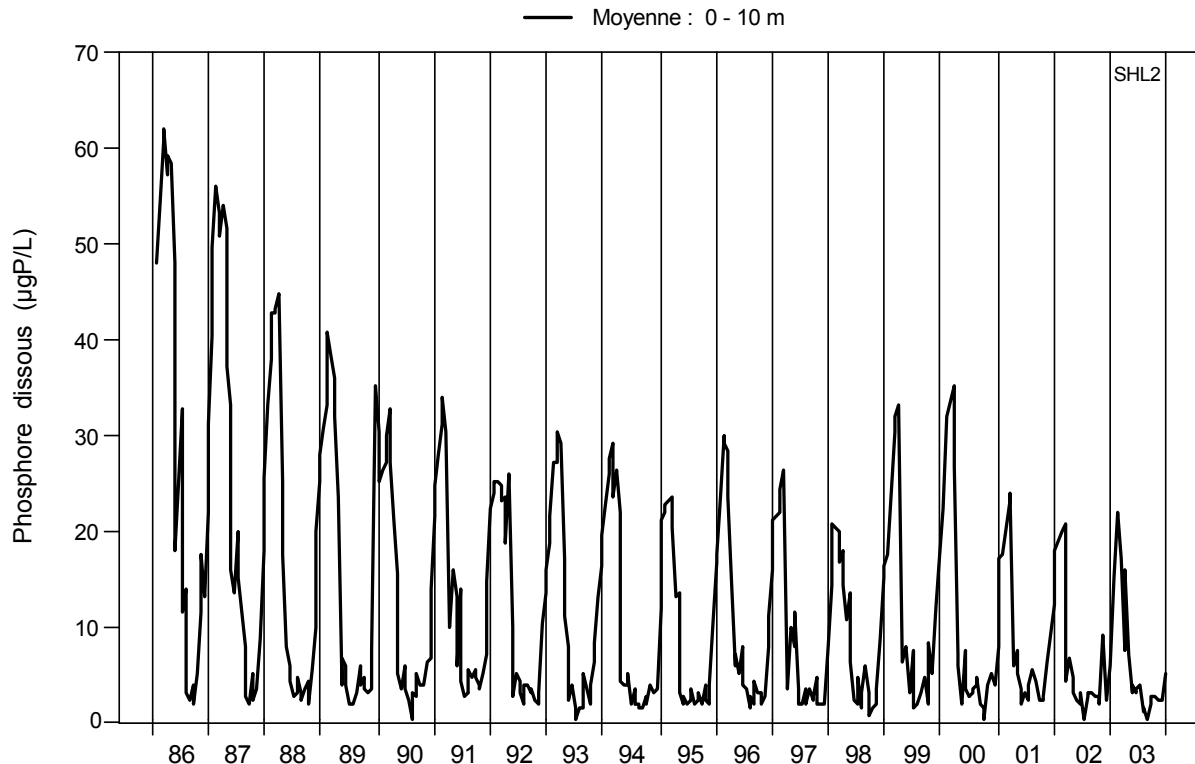


Figure 8 : Concentration en phosphore dissous (PO₄³⁻) des eaux de la couche superficielle (moyenne 0-10 m), Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 8 : Concentration of dissolved phosphorus (PO₄³⁻) in the water in the surface layers (mean 0-10 m), lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

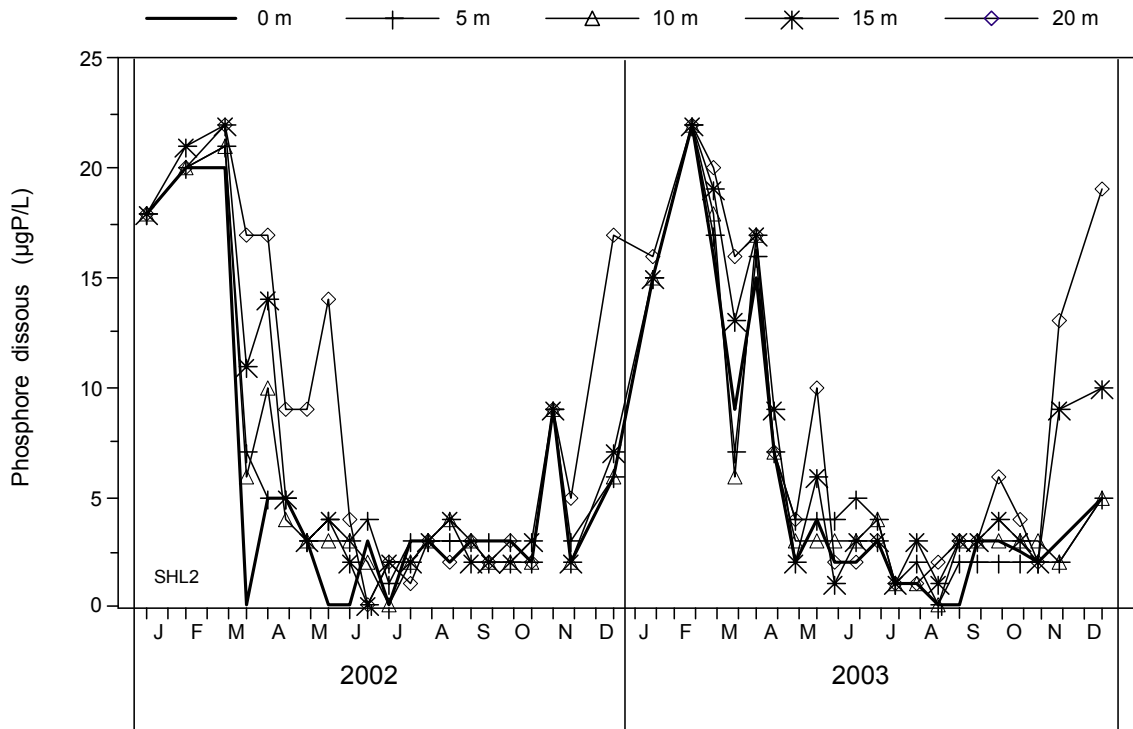


Figure 9 : Concentration en phosphore dissous (PO₄³⁻) des eaux des couches superficielles (0, 5, 10, 15 et 20 m), Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 9 : Concentration of dissolved phosphorus (PO₄³⁻) in the water in the surface layers (0, 5, 10, 15 and 20 m), lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

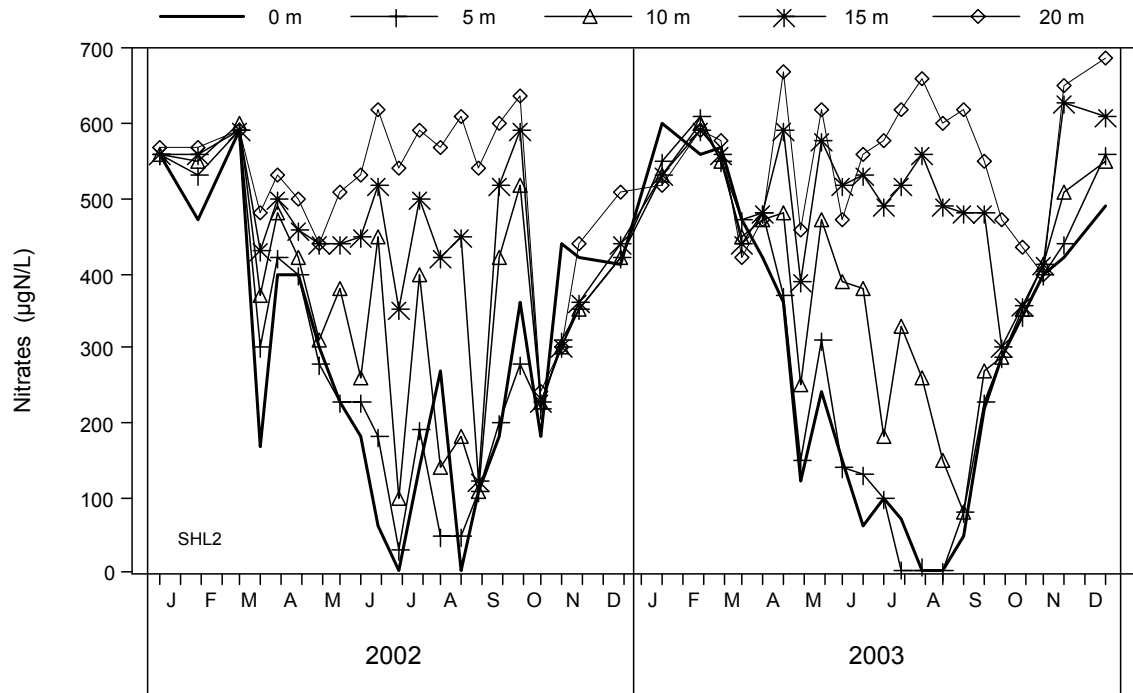


Figure 10 : Concentration en nitrate (NO₃⁻) des eaux des couches superficielles (0, 5, 10, 15 et 20 m), Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 10 : Concentration of nitrate (NO₃⁻) in the water in the surface layers (0, 5, 10, 15 and 20 m), lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

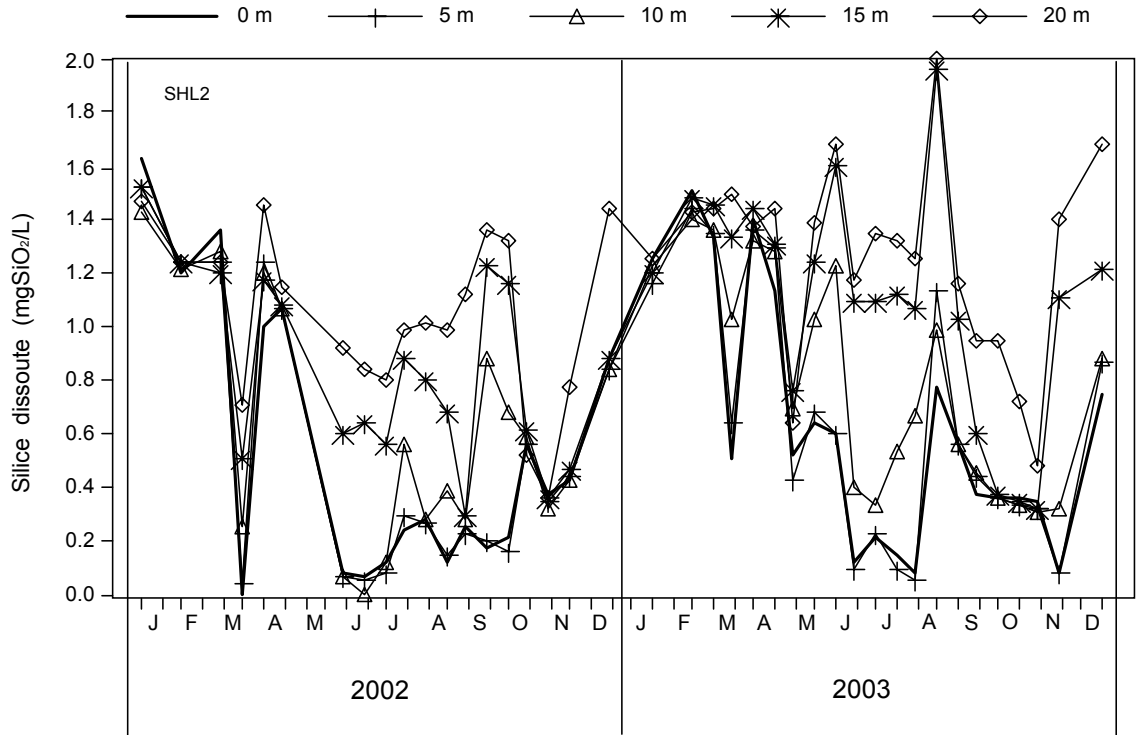


Figure 11 : Concentration en silice dissoute (SiO_2) des eaux des couches superficielles (0, 5, 10, 15 et 20 m), Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 11 : Concentration of dissolved silica (SiO_2) in the water in the surface layers (0, 5, 10, 15 and 20 m), lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

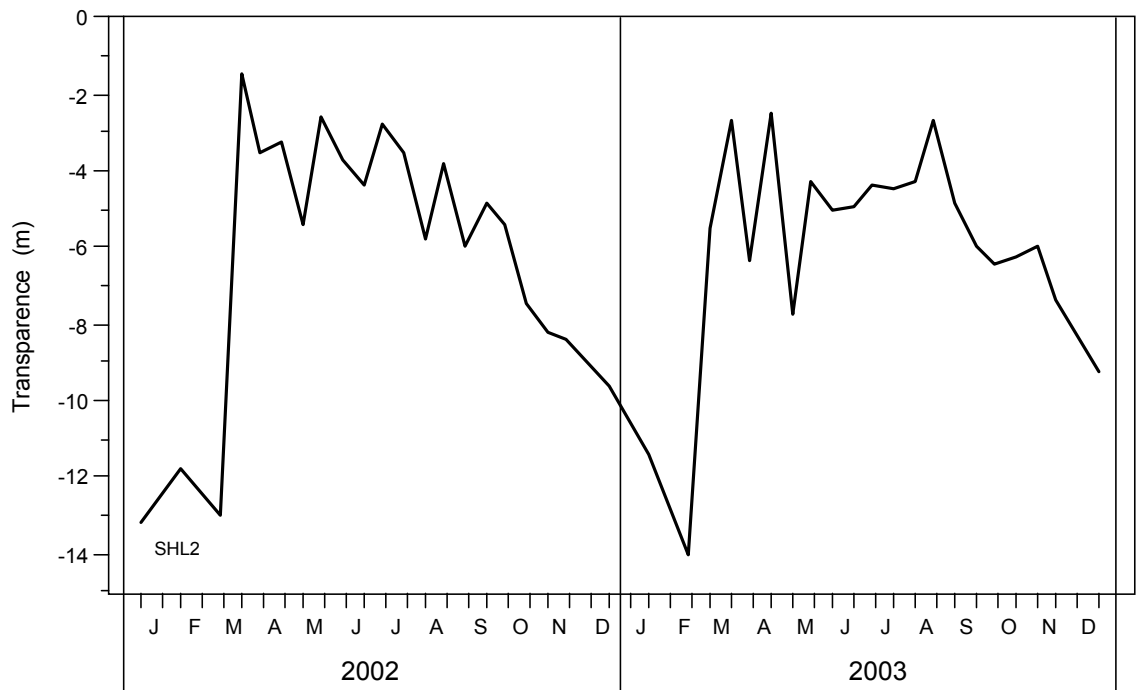


Figure 12 : Transparence mesurée avec le disque de Secchi, Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 12 : Transparency measured using a Secchi disk, lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

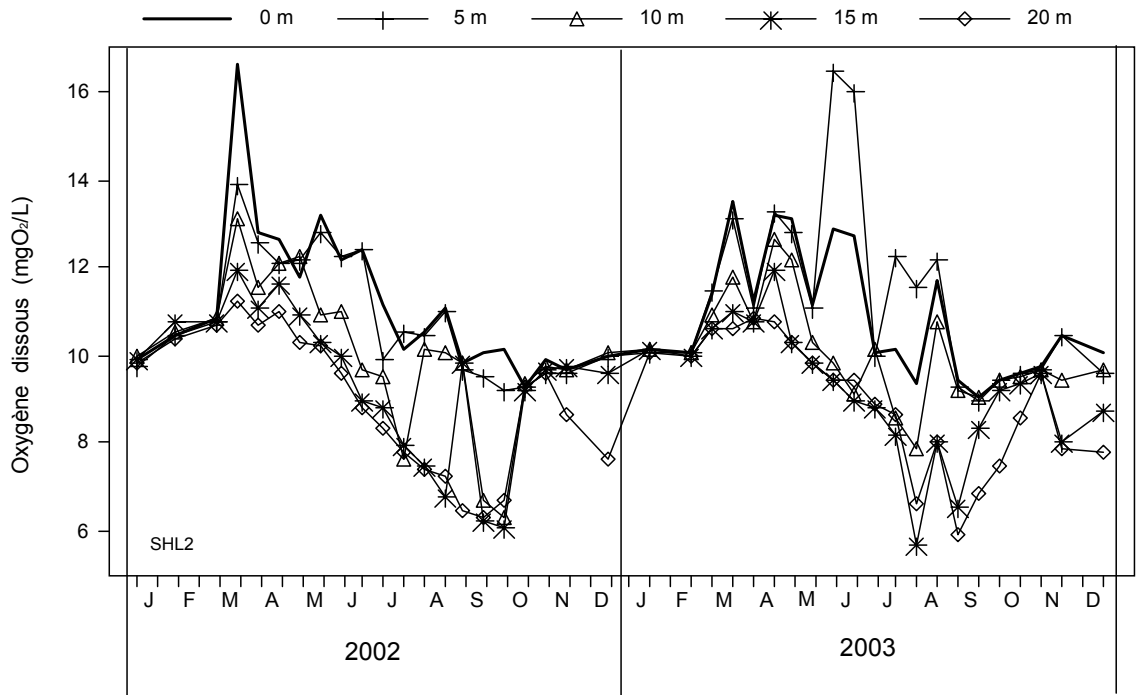


Figure 13 : Concentration en oxygène dissous des eaux des couches superficielles (0, 5, 10, 15 et 20 m), Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 13 : Concentration of dissolved oxygen in the water in the surface layers (0, 5, 10, 15 and 20 m), lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

3.2 Reste de l'année

La période des " eaux claires " est liée au développement du zooplancton. Elle est bien marquée cette année : on l'observe au mois de mai avec une transparence maximum de 7.7 m durant la campagne du 12 mai 2003. A la différence de l'année précédente où elle fut de 3.5 m en avril 2002, cette période se distingue nettement du reste de l'année 2003 (figure 12).

Confirmant cette situation, on constate une augmentation de l'azote ammoniacal due au développement du zooplancton et de ses excréta (BALVAY et al., 2004). L'azote ammoniacal atteint des concentrations de 40 µgN/L en surface de manière continue d'avril à juin avec un maximum de 96 µgN/L en mai, soit du même ordre que l'année précédente (figure 14).

L'activité phytoplanctonique redémarre début juin entraînant une chute des concentrations en nutriments dans les couches superficielles. La silice, les orthophosphates et les nitrates chutent à la même période (figures 9 à 11), les orthophosphates restent à des concentrations très faibles jusqu'en décembre (figure 9).

Cette activité est accompagnée d'un pic en carbone particulaire et en azote particulaire et atteint un maximum lors de la campagne du 24 mars 2003 (figure 15).

Les températures des couches superficielles en 2003 sont supérieures à celles de 2002, avec 2°C supplémentaires pour la période estivale. L'été 2003 a été exceptionnellement chaud comparativement aux 20 années précédentes (figure 7).

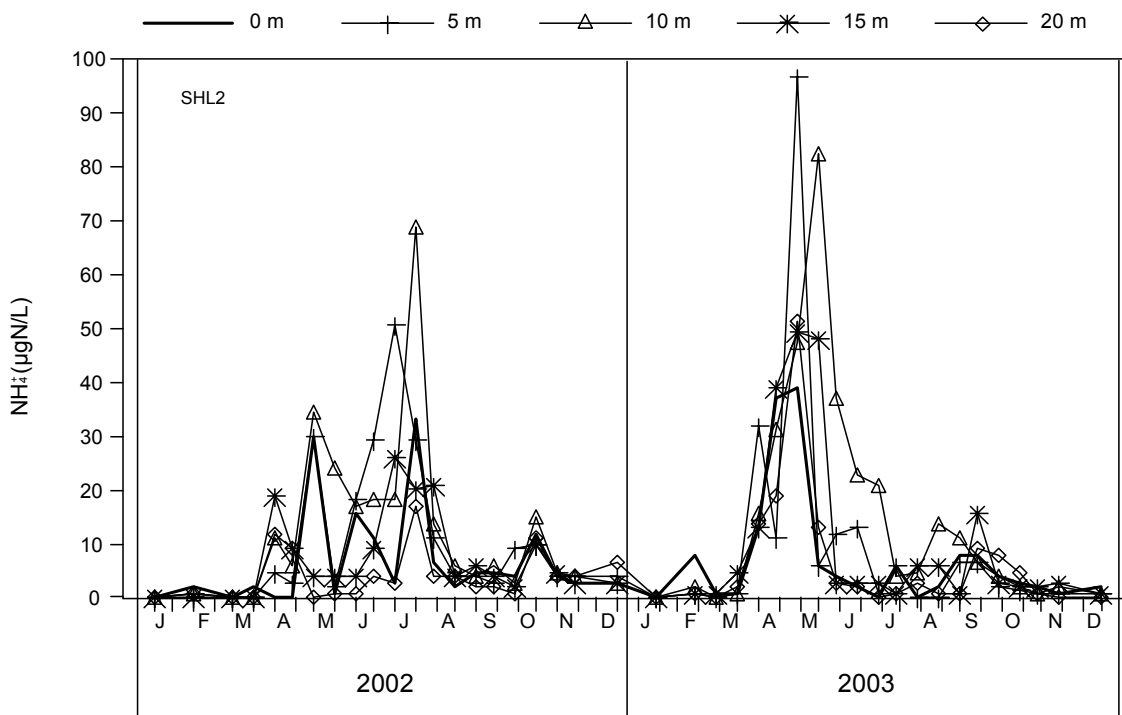


Figure 14 : Concentration en azote ammoniacal des eaux des couches superficielles (0, 5, 10, 15 et 20 m), Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 14 : Concentration of ammoniacal nitrogen in the water in the surface layers (0, 5, 10, 15 and 20 m), lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

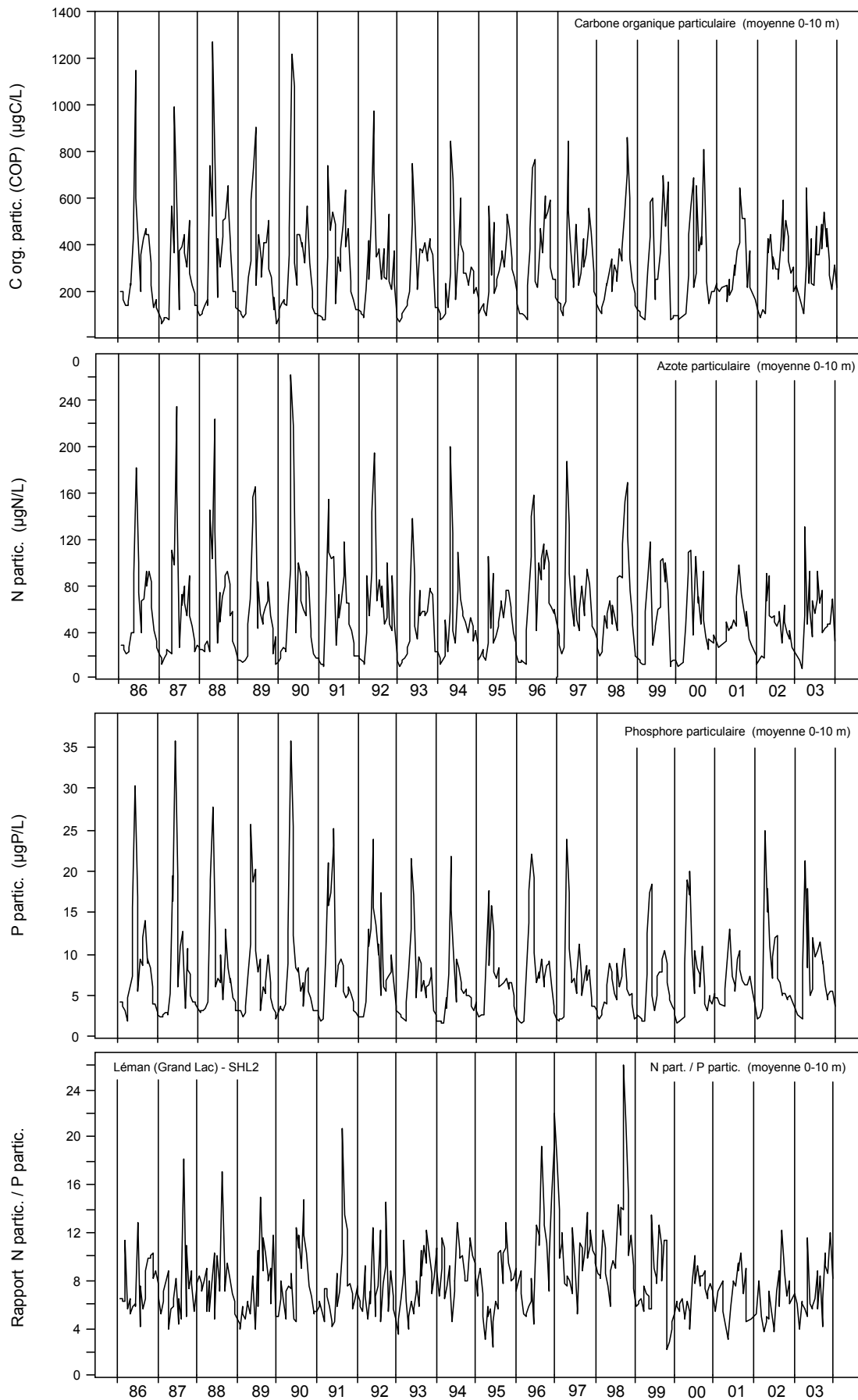


Figure 15 : Concentrations en carbone organique, azote et phosphore particulaires des eaux de la couche superficielle (0-10 m) et rapport Nparticulaire / Pparticulaire, Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 15 : Concentrations of particulate organic carbon, nitrogen and phosphorus in the water in the surface layer (0-10 m) and the N/P particulates ratio, lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

4. ÉVOLUTION SAISONNIÈRE DANS LES COUCHES PROFONDES

Depuis 1986, on n'a pas observé de brassage absolument complet du lac ; une température identique de l'eau de la surface jusqu'au fond du lac et des vents suffisamment forts sont les conditions permettant le brassage complet des eaux et une homogénéisation des eaux, cela n'a pas été observé depuis cette date. De ce fait, le dernier brassage presque complet remonte à 1999 (figure 16).

L'homogénéisation de la colonne d'eau atteint 160 m, observée lors de la campagne du 20 février 2003; elle est donc insuffisante pour assurer la réoxygénation des eaux profondes (figureS 16 et 18).

Lors du brassage, la concentration en oxygène dissous atteint 6.26 mgO₂/L, elle se maintient aux environs de 5 mgO₂/L jusqu'à fin août puis descend en dessous de 4 mgO₂/L. La moyenne de la teneur en oxygène au fond du Grand Lac en 2003 est de 4.21 mgO₂/L, contre 3.37 mgO₂/L en 2002 et elle est en dessous de 4 mgO₂/L à partir de septembre 2003 (figures 16 et 18).

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 19); cette diffusion entraîne la remise en solution des orthophosphates contenus dans les sédiments (figure 17). Cette diffusion reste faible et du même ordre que les années précédentes : 92 µgP/L au maximum le 9 décembre 2003 (contre 103 µgP/L en 2002).

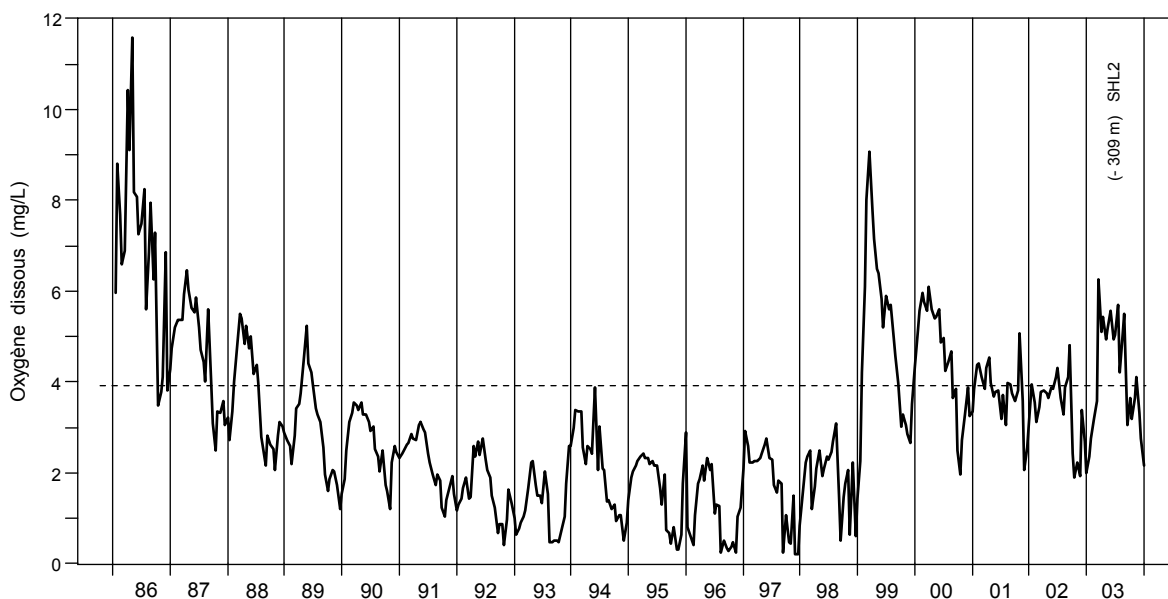


Figure 16 : Concentration en oxygène dissous des eaux du fond, Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 16 : Concentration of dissolved oxygen in the water at the bottom of the lake, lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

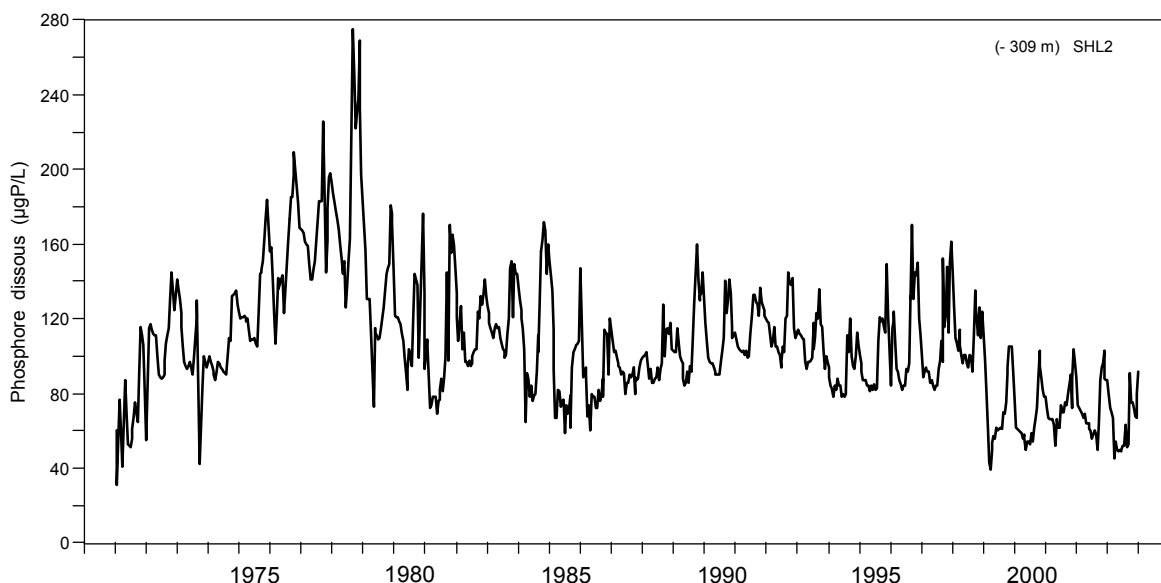


Figure 17 : Concentration en phosphore dissous (PO₄³⁻) des eaux du fond, Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 17 : Concentration of dissolved phosphorus (PO₄³⁻) in the water at the bottom of the lake, lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

Oxygène (mg/l) - Léman / Grand Lac (SHL 2) - 1996 à 2003

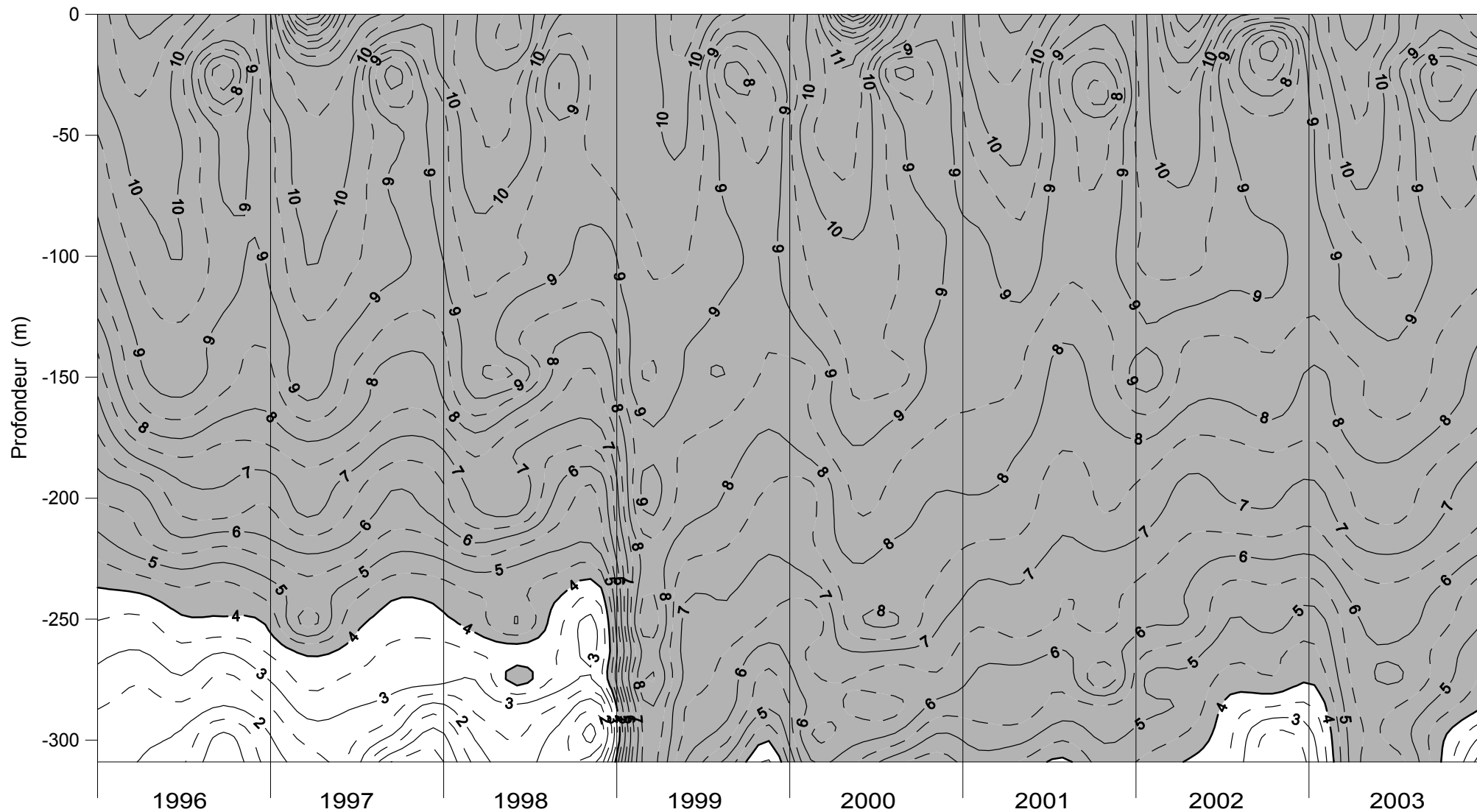


Figure 18 : Concentration en oxygène dissous des eaux du Léman (Grand Lac - SHL2) en fonction de la profondeur (zone grisée = concentration supérieure à 4 mg O₂/L)
(N.B. : suivant le nombre d'années prises en considération, de très légères modifications de représentation graphique peuvent apparaître - différence de lissage des courbes d'isovaleurs)

Figure 18 : Concentration of dissolved oxygen in the water of lake Geneva (Grand Lac - SHL2) as a function of depth (shaded zone = concentration > 4 mgO₂/L)
(N.B.: depending on how many years are taken into consideration, there may be some very slight differences in the graphical presentation (differences in the smoothing of the isothermal curves))

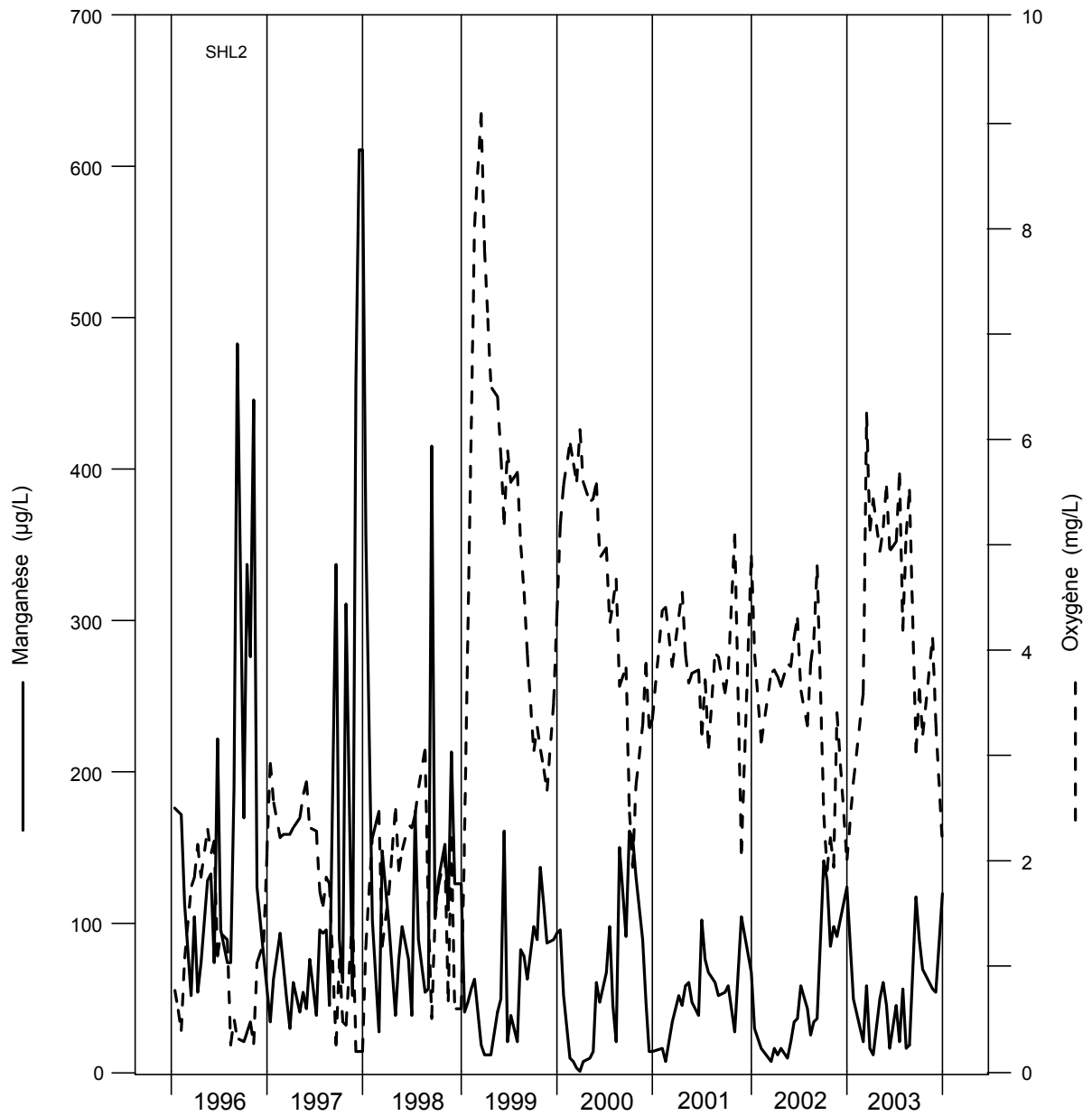


Figure 19 : Evolution comparée des concentrations en manganèse total et en oxygène dissous dans les eaux du fond du Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 19 : Comparison of the changes in the concentrations of total manganese and of dissolved oxygen in the water at the bottom of lake Geneva - 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 16, 18, 19 et 20)

Le faible brassage observé au mois de février 2003 n'a pas permis une réoxygénation totale des couches profondes, cependant cette année est marquée par une réoxygénation plus importante que ces 3 dernières années.

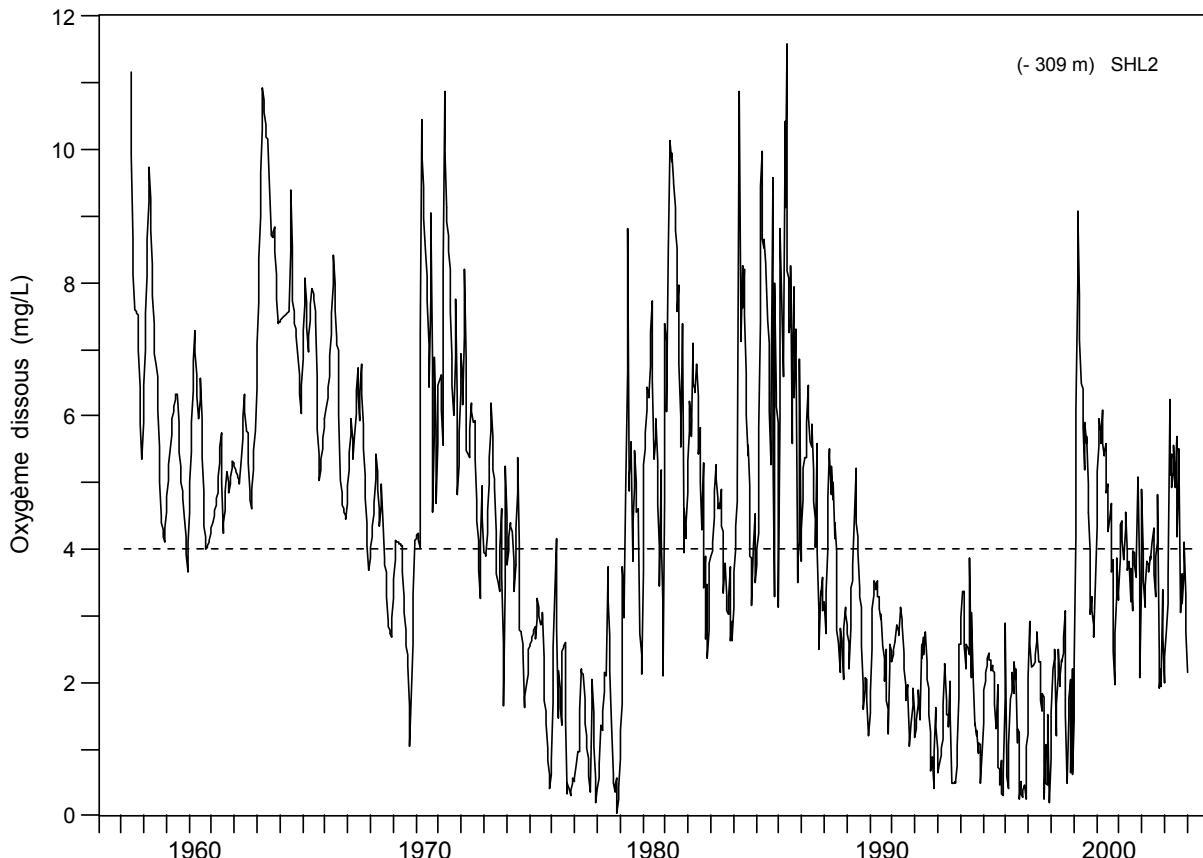


Figure 20 : Concentration en oxygène dissous des eaux au fond du Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 20 : Concentration of dissolved oxygen in the water at the bottom of lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

Sur les figures 16 et 20, la limite indiquée à 4 mg O₂/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 O₂/L ... Les conditions naturelles particulières sont réservées".

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

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

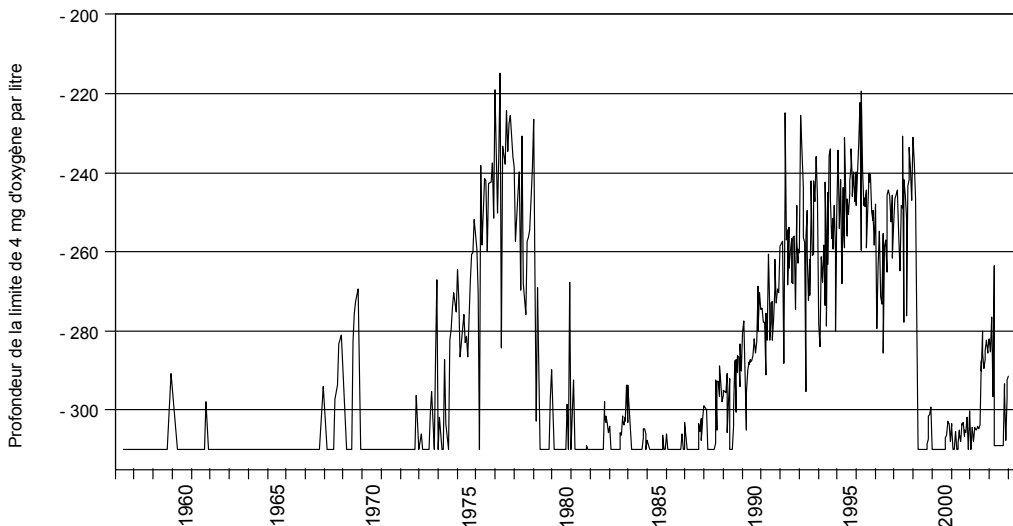


Figure 21 : Evolution de la profondeur de la limite à 4 mgO₂/L dans le Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 21 : Change in the depth of the 4 mgO₂/L threshold in lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

Le graphique de la figure 21 indique l'épaisseur de la colonne d'eau depuis le fond (-309 m) qui a des concentrations en oxygène inférieures à 4 mgO₂/L.

5.2 Phosphore dissous et phosphore total (figures 22 et 23)

En 2003, le stock moyen en phosphore total a sensiblement diminué par rapport à 2002. On observe une baisse de 4 % en phosphore total et de 6 % en phosphore dissous, soit 2'805 tonnes de P en phosphore total et 2'370 tonnes de P pour le phosphore dissous. Ce qui correspond à une concentration moyenne de 32.8 µgP/l en phosphore total (contre 34.0 µgP/L en 2002) et de 27.7 µgP/L en phosphore dissous (contre 29.5 µgP/L en 2002) (figure 22).

La baisse du stock du lac en phosphore continue mais plus lentement que dans les années 1990, des efforts supplémentaires de réduction du phosphore sont à produire, au niveau de l'assainissement et à la source, afin de pouvoir atteindre l'objectif de 20 µgP/L.

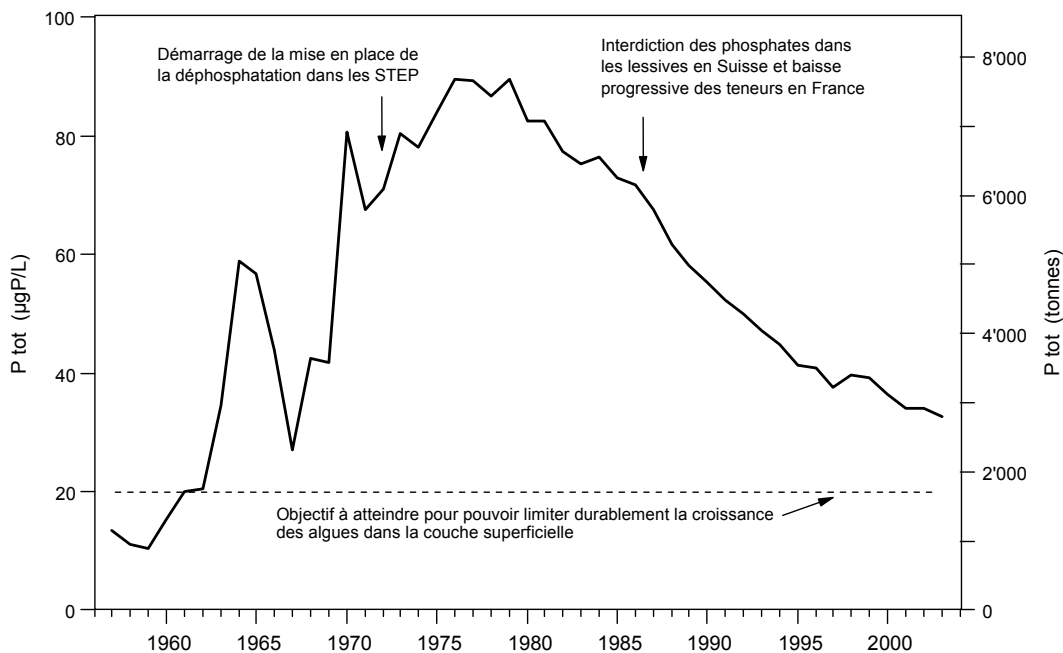


Figure 22 : Evolution de la concentration moyenne annuelle pondérée et du stock de phosphore total contenu dans le Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 22 : Change in the weighted mean annual total phosphorus concentration and total phosphorus content of the lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

La figure 23 montre l'évolution des concentrations en phosphore dissous dans les différentes couches pour les années 1996 à 2003.

Orthophosphate - PO₄ (µgP/l) - Léman / Grand Lac (SHL 2) - 1996 à 2003

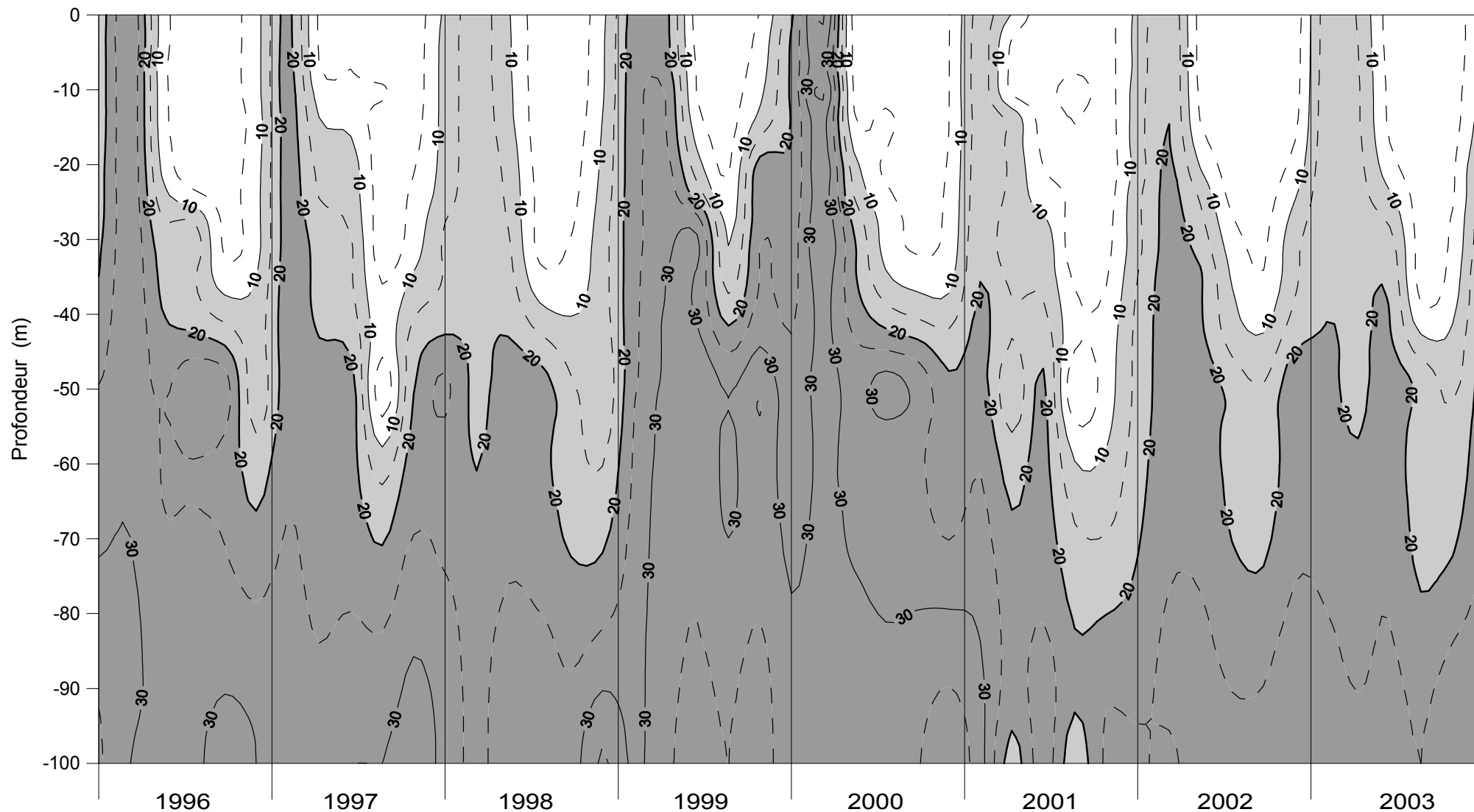


Figure 23 : Concentration en phosphore dissous (PO₄³⁻) dans les différentes couches du Léman (SHL2) (zone grisée foncée = concentration supérieure à 20 µgP/L; zone grisée claire = concentration entre 10 et 20 µgP/L) (N.B. : suivant le nombre d'années prises en considération, de très légères modifications de représentation graphique peuvent apparaître (différence de lissage des courbes d'isovaleurs))

Figure 23 : Concentration of dissolved phosphorus (PO₄³⁻) in the various layers of lake Geneva (SHL2) (dark gray shaded zone = concentration > 20 µgP/L; light gray shaded zone = concentration between 10 and 20 µgP/L) (N.B.: depending on how many years are taken into consideration, there may be some very slight differences in the graphical presentation (differences in the smoothing of the isothermal curves))

5.3 Transparence (figure 24)

L'évolution de la transparence est représentée par la figure 24. La transparence observée en 2003 est du même ordre qu'en 2002, avec un période des " eaux claires " plus marquée (figure 12).

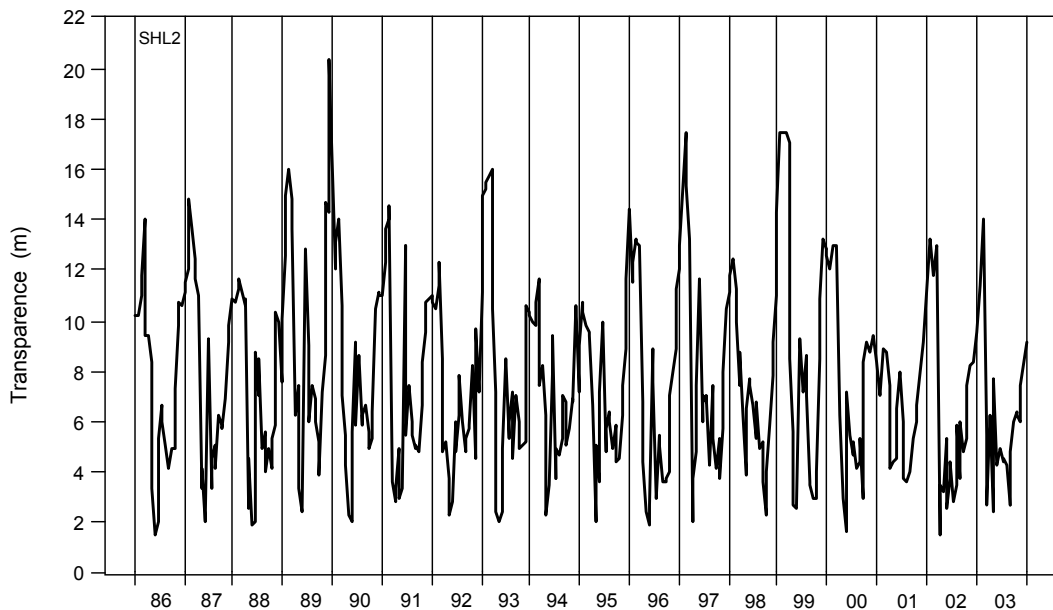


Figure 24 : Evolution de la transparence mesurée avec le disque de Secchi, Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 24 : Change in the transparency measured using a Secchi disk, lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

5.4 Azote nitrique et azote total (figure 25)

L'azote nitrique reste constant depuis quelques années avec une teneur moyenne annuelle de 0.58 mgN/L en 2003, soit 2.55 mgNO₃⁻/L (la norme pour l'eau de boisson en Suisse est de 40 mgNO₃⁻/L et en France de 50 mgNO₃⁻/L).

L'azote total reste constant relativement aux années précédentes avec une concentration de 0.634 mgN/L en 2003 soit un stock de 54'310 tonnes N (figure 25).

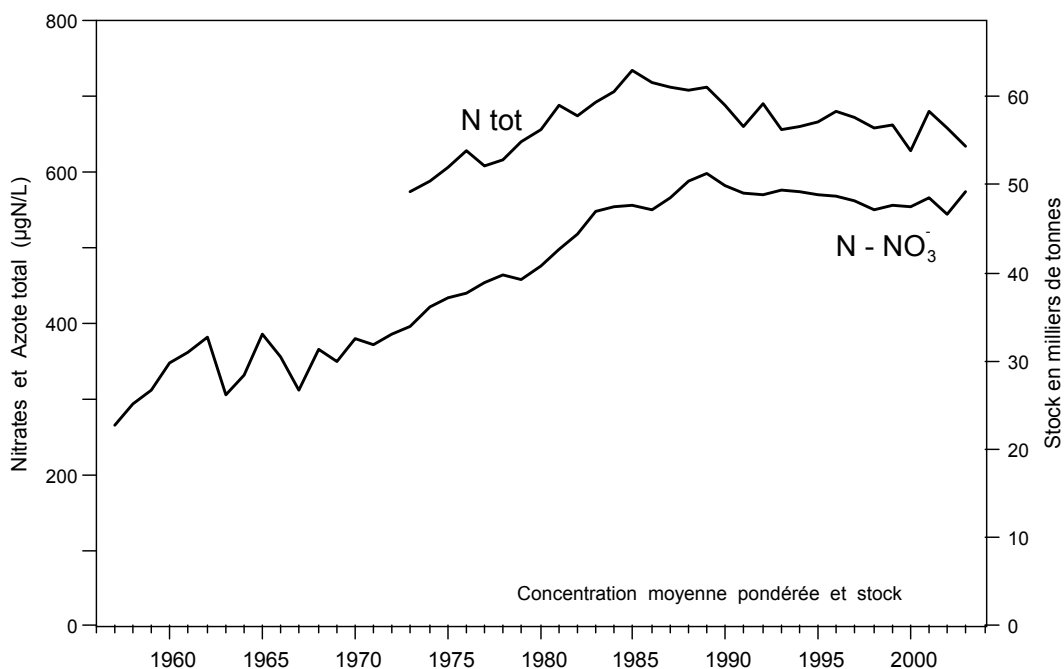


Figure 25 : Evolution de la concentration moyenne annuelle pondérée et des stocks d'azote total et d'azote nitrique contenus dans le Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 25 : Change in the weighted mean annual total nitrogen concentration, in the total nitrogen content and the nitric nitrogen content of the lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

5.5 Chlorure (figure 26)

Depuis le début des mesures en 1971, la teneur du Grand Lac en chlorure est en augmentation et passe en 2003 à 8.47 mg/L contre 2.73 mg/L en 1971 (figure 26). Le stock moyen du Grand Lac est alors de 725'580 tonnes de chlorure, soit 8 % de plus qu'en 2002. Cette augmentation est très importante; durant les années précédentes, le stock du lac en chlorure augmentait de l'ordre de 4 % par an. Nous devons rester vigilants sur cette évolution. Cependant, on constate en début d'année 2004 des teneurs qui sont dans la tendance de ces dernières années.

L'étude menée par GUMY et De ALENCASTRO (2001) indique que les principales sources de chlorure pour le Léman sont l'industrie majoritairement et les sels de déneigement. Il est à noter que les concentrations de chlorure observées dans le Léman sont très inférieures aux valeurs toxiques citées dans la littérature.

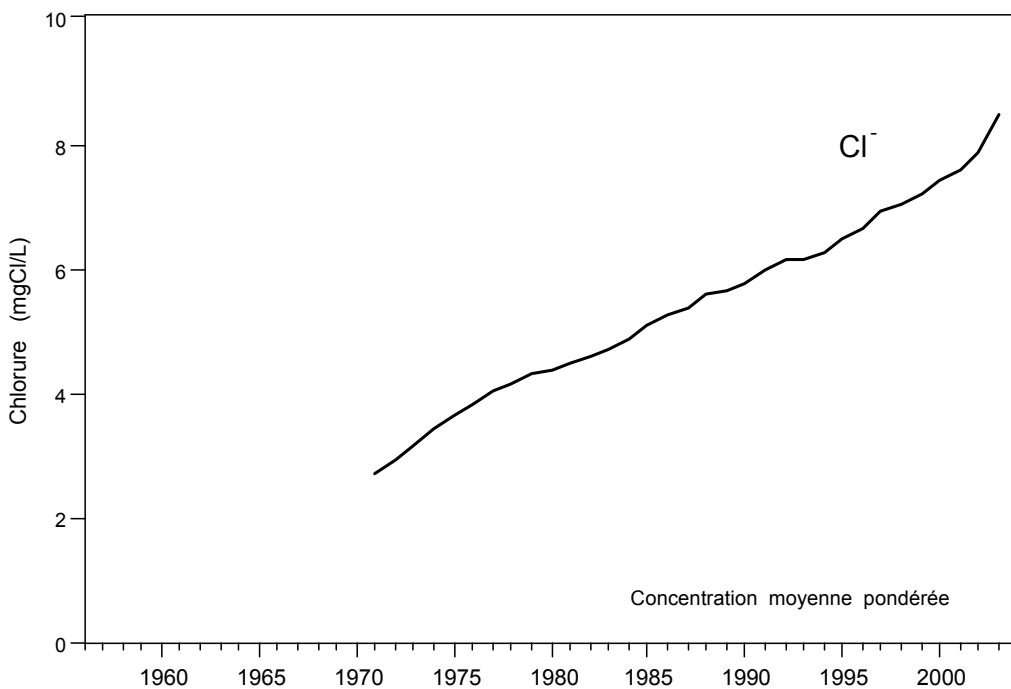


Figure 26 : Evolution de la concentration moyenne annuelle en chlorure, pondérée pour l'ensemble de la masse d'eau du Léman - Grand Lac (SHL2)

Figure 26 : Change in the weighted mean annual concentration of chloride in the entire mass of the water of the lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

6. MÉTAUX ET MICROPOLLUANTS ORGANIQUES

6.1 Métaux (tableaux 1 et 2)

Les concentrations en métaux sont déterminées sur les échantillons d'eau brute acidifiée sans filtration préalable, il s'agit donc de métaux totaux.

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, 1984; SIGG, 1992).

Les teneurs en cuivre du printemps (28.04.2003) et en septembre (29.09.2003) sont relativement élevées. Les fluctuations temporelles voire spatiales observées ces dernières années pour cet élément demeurent à ce jour non expliquées. Une étude en cours vise à expliciter cette constatation.

Les valeurs du manganèse, métal non toxique, sont données à titre indicatif. Elles permettent d'apprécier les conditions d'oxygénation des eaux du fond (figure 19).

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 (de quelques ordres de grandeurs 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. Il faut également relever qu'en France, la commercialisation de l'atrazine est interdite depuis octobre 2002. L'interdiction d'utilisation était totale dès le 30 juin 2003. Ces mesures devraient contribuer à la diminution des teneurs résiduelles dans les eaux du lac. La présence de métolachlore, herbicide de la famille des acétanilides, fréquemment associé à l'atrazine dans la culture du maïs, est toujours 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 exigences relatives à la qualité des eaux de cette ordonnance fixent la teneur en pesticides organiques à 0.1 microgramme/L par pesticide pour les cours d'eau. Cette concentration ne représente pas ce qui est admissible ou non pour les organismes, mais se veut au moins aussi sévère que ce qui est exigé pour l'homme (eau de boisson).

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, initialement un des produits de substitution des phosphates dans les lessives, aujourd'hui bien moins utilisé, 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 évolution significative de ces faibles 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 et de l'utilisation surtout des zéolithes comme substitut des phosphates pour les produits de lavage des textiles, on peut s'attendre à ce que les teneurs en NTA diminuent.

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 et à la valeur limite fixée, pour la Suisse, à 200 µg/L (OSEC, 1995).

Tableau 1 : Campagne du 28 avril 2003

Léman - Grand Lac (Station SHL 2)

Table 1 : Survey on April 28, 2003

lake Geneva - Grand Lac (SHL 2)

| Profondeur m | Manganèse µg/L | Plomb µg/L | Cadmium µg/L | Chrome µg/L | Cuivre µg/L | Mercure µg/L |
|-----------------|-------------------|---------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|
| 0 | < 1 | nd * | nd * | nd * | 7 | nd * |
| 1 | < 1 | nd | 0.02 | nd | 4 | nd |
| 5 | < 1 | nd | nd | nd | 3 | nd |
| 7.5 | < 1 | nd | nd | nd | nd * | nd |
| 10 | < 1 | nd | nd | nd | 2 | nd |
| 30 | < 1 | nd | nd | nd | 1 | nd |
| 100 | < 1 | nd | nd | nd | 3 | nd |
| 305 | 33 | nd | 0.02 | nd | nd | nd |
| fond | 50 | nd | nd | nd | 3 | nd |

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

Tableau 2 : Campagne du 29 septembre 2003

Léman - Grand Lac (Station SHL 2)

Table 2 : Survey on September 29, 2003

lake Geneva - Grand Lac (SHL 2)

| Profondeur m | Manganèse µg/L | Plomb µg/L | Cadmium µg/L | Chrome µg/L | Cuivre µg/L | Mercure µg/L |
|-----------------|-------------------|---------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|
| 0 | < 1 | nd * | nd * | 0.4 | 3 | nd * |
| 1 | 2 | nd | nd | 0.3 | 2 | nd |
| 5 | 1 | nd | nd | 0.2 | 2 | nd |
| 7.5 | < 1 | nd | 0.04 | 0.1 | 3 | nd |
| 10 | < 1 | nd | 0.02 | nd * | 5 | nd |
| 30 | < 1 | nd | nd | nd | 3 | nd |
| 100 | 1 | nd | 0.02 | nd | 7 | nd |
| 305 | 28 | nd | nd | nd | 2 | nd |
| fond | 86 | nd | nd | nd | 3 | nd |

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

Tableau 3 : Pesticides (phytosanitaires) décelés

Léman - Grand Lac (Station SHL2)

Table 3 : Pesticides (crop treatments) detected

lake Geneva - Grand Lac (SHL 2)

| Profondeur m | 28 avril 2003 | | | | 29 septembre 2003 | | | |
|-----------------|------------------|------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------|------------------|----------------------------|---------------------------|
| | Simazine µg/L | Atrazine µg/L | Terbutyla- zine µg/L | Métola- chlore µg/L | Simazine µg/L | Atrazine µg/L | Terbutyla- zine µg/L | Métola- chlore µg/L |
| 0 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 0.01 | 0.02 |
| 1 | 0.02 | 0.03 | < 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.03 | 0.01 | 0.01 |
| 5 | 0.01 | 0.03 | 0.01 | 0.03 | 0.01 | 0.03 | 0.01 | 0.01 |
| 7.5 | 0.01 | 0.03 | < 0.01 | 0.02 | < 0.01 | 0.04 | 0.01 | 0.02 |
| 10 | 0.01 | 0.02 | < 0.01 | 0.03 | 0.01 | 0.03 | 0.02 | 0.02 |
| 30 | 0.01 | 0.01 | < 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.04 | 0.02 | 0.02 |
| 100 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.03 | < 0.01 | 0.03 | 0.02 | 0.02 |
| 305 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.03 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.02 |
| fond | 0.01 | 0.02 | < 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.04 | 0.02 | 0.02 |

Tableau 4 : NTA et EDTA
Table 4 : NTA and EDTA

Léman - Grand Lac (Station SHL2)
lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

| Profondeur m | NTA (µg/L) | | EDTA (µg/L) | |
|-----------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|
| | 28 avril 2003 | 29 septembre 2003 | 28 avril 2003 | 29 septembre 2003 |
| 0 | 0.6 | 1.1 | 0.5 | 0.4 |
| 1 | 0.3 | 0.4 | 0.3 | 0.3 |
| 5 | 0.2 | 0.6 | 0.5 | 0.5 |
| 7.5 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.3 |
| 10 | 0.2 | 0.4 | 0.5 | 0.3 |
| 30 | 0.1 | 0.1 | 0.5 | 0.4 |
| 100 | 0.1 | 0.2 | 0.6 | 0.5 |
| 305 | 0.1 | 0.1 | 0.7 | 0.5 |
| fond | 0.1 | < 0.1 | 0.6 | 0.3 |

RÉFÉRENCES POUR L'EAU POTABLE :

| | Manganèse µg/L | Plomb µg/L | Cadmium µg/L | Chrome µg/L | Cuivre µg/L | Mercure µg/L |
|----------|-------------------|---------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|
| OMS (1) | 500 | 10 | 5 | 50 | 2'000 | 1 |
| CE (2) | 50 | 10 | 5 | 50 | 2'000 | 1 |
| OSEC (3) | C | - | - | - | 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 µg/L | Cadmium µg/L | Chrome µg/L | Cuivre µg/L | Mercure µg/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 2003 sont les suivantes :

- L'hiver 2002-2003 n'a pas été assez froid et les vents pas suffisamment forts pour homogénéiser la colonne d'eau. Cela a entraîné un brassage incomplet atteignant 160 m pour l'année 2003.
- Cette réoxygénation partielle des eaux du fond par le brassage atteint 6.26 mgO₂/L au maximum au début du mois de mars et 2.16 mgO₂/L au minimum au mois de décembre. A partir du mois de septembre, la concentration en oxygène dissous est inférieure à 4 mgO₂/L dans les eaux du fond.
- La période des "eaux claires" se distingue nettement du reste de l'année 2003, on l'observe au mois de mai avec une transparence maximale de 7.7 m.
- Le phosphore dissous est consommé en quasi-totalité dans les couches superficielles à partir de mi-avril jusqu'en décembre; pendant cette période il peut ainsi avoir un effet limitant.

Pour les stocks :

- L'évolution du phosphore indique toujours une décroissance à caractère asymptotique depuis 1995. En 2003, le stock moyen en phosphore total a diminué de 4 % par rapport à 2002, avec une concentration moyenne de 32.8 µgP/L en phosphore total, soit 2'805 tonnes de P.
- Le stock en chlorure continue d'augmenter, cette année de manière plus importante, pour atteindre 725'580 tonnes Cl⁻ soit 8 % de plus qu'en 2002. Cependant, on constate en début d'année 2004 des teneurs qui sont dans la tendance de ces dernières années.
- L'azote nitrique et l'azote total restent constants relativement aux années précédentes.

Le comportement asymptotique de la baisse de la teneur en phosphore observé ces dernières années, montre qu'il est difficile d'atteindre l'objectif de 20 µgP/L; il est donc important de poursuivre et d'intensifier les efforts au niveau de la lutte à la source et au niveau de l'assainissement.

Pour les métaux et pesticides :

- 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 pour les cours d'eau 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.
- 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.

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.
- BALVAY, G., LAINE, L. et ANNEVILLE, O. (2004) : Evolution du zooplancton du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2003, 81-92.
- 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. (1984) : 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 COMMUNAUTÉS 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, 261-278.
- 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.
- OEaux (1998) : Ordonnance du 28 octobre 1998 sur la protection des Eaux (Suisse, état au 18 novembre 2003).
- OSEC (1995) : Ordonnance du 26 juin 1995 sur les Substances Etrangères et les Composants (état au 31 janvier 2000) (Suisse).
- QUETIN, P. (2004) : Météorologie. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2003, 19-29.
- 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.(2004) : Analyses comparatives interlaboratoires. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2003, 155-161.

PRODUITS PHYTOSANITAIRES RECHERCHÉS

ANNEXE 1

I. HERBICIDES

I. 1 Triazines :

| | |
|-----------------------|---------------|
| Atrazine | Propazine |
| Atrazine-déséthyle | Simazine |
| Atrazine-déisopropyle | Terbutryne |
| Cyanazine | Terbutylazine |
| Prometryne | |

I. 2 Dérivés de l'urée :

| | |
|---------------|-------------|
| Chlorbromuron | Isoproturon |
| Chlortoluron | Linuron |
| Diuron | Monolinuron |
| Fenuron | |

I. 3 Divers :

| | |
|--------------|----------------|
| Alachlore | Metribuzine |
| Bromacil | Napropamide |
| Dinoterbe | Norflurazon |
| Dinosèbe | Oxadiazon |
| Ethofumesate | Pendimethaline |
| Ioxynil | Phenmedipham |
| Metamitron | Propanil |
| Metolachlor | Prophame |
| Metoxuron | Trifluraline |

II. INSECTICIDES ET FONGICIDES CHLORÉS

| | |
|-----------------------|--------------------|
| α - Endosulfan | Aldrine |
| β - Endosulfan | Captane |
| γ - Endosulfan | Chlorothalonil |
| Endosulfan-sulfate | Cyproconazol |
| α - HCH | Dichlofuanide |
| β - HCH | Dicofol |
| γ - HCH | Dieldrine |
| δ - HCH | Endrine |
| op'DDD | Folpet |
| op'DDE | Heptachlor |
| op'DDT | Heptachlor époxyde |
| pp' DDE | Iprodione |
| pp'DDD | Procymidone |
| pp'DDT | Vinclozoline |

III. INSECTICIDES PHOSPHORÉS

| | |
|-----------------------|--------------------|
| Azinphos - méthyle | Malathion |
| Bromophos - méthyle | Mecarbam |
| Chlorfenvinfos | Methidathion |
| Chlorpyriphos-éthyle | Mevinphos |
| Chlorpyriphos-méthyle | Parathion |
| Diazinon | Parathion-méthyle |
| Dichlofenthion | Phosalone |
| Ethion | Phosphamidon |
| Ethrimphos | Pirimiphos-méthyle |
| Fenithrothion | Quinalphos |
| Fenthion | Tetrachlorvinphos |
| Formothion | |

IV. DIVERS

| | |
|-------------------------|-------------|
| Aldicarb | Fenamiphos |
| Carbaryl | Flusilazole |
| Carbofuran | Methomyl |
| Deltamethrine | Permethrine |
| Diéthyltoluamide (DEET) | |

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

Mean weighted concentrations

| Année | Oxygène mg/L | P tot. µg P/L | P-PO ₄ µg P/L | N tot. µg N/L | Nmintot µg N/L | N-NH ₄ µg N/L | N-NO ₂ µg N/L | N-NO ₃ 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 | 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 |
| 2000 | 9.09 | 36.5 | 31.8 | 629 | 550 | 2.9 | 1.3 | 546 | 7.42 | 109.8 | 14.7 | 2.5 | 7.42 | 4.96 |
| 2001 | 8.48 | 34.2 | 28.8 | 680 | 570 | 1.8 | 0.8 | 567 | 7.60 | 94.1 | 12.9 | 2.3 | 6.29 | 5.06 |
| 2002 | 8.45 | 34.0 | 29.5 | 659 | 547 | 2.1 | 0.8 | 544 | 7.85 | 97.1 | 11.2 | 2.0 | 6.78 | 4.28 |
| 2003 | 8.60 | 32.8 | 27.7 | 634 | 579 | 2.4 | 1.3 | 575 | 8.47 | 93.8 | 14.1 | 2.3 | 6.7 | 4.86 |

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 - Léman (Grand Lac - SHL 2)

Total content in tons

| Année | Oxygène tonnes | P tot. tonnes | P-PO ₄ tonnes | N tot. tonnes | Nmintot tonnes | N-NH ₄ tonnes | N-NO ₂ tonnes | N-NO ₃ 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 |
| 2001 | 726'525 | 2'930 | 2'465 | 58'270 | 48'818 | 152 | 66 | 48'600 | 651'600 | 8'065 | 197 | 1'105 |
| 2002 | 724'005 | 2'915 | 2'530 | 56'460 | 46'875 | 178 | 67 | 46'630 | 672'320 | 8'322 | 172 | 962 |
| 2003 | 737'325 | 2'805 | 2'370 | 54'310 | 49'550 | 206 | 114 | 49'230 | 725'580 | 8'034 | 200 | 1'205 |