

ÉVOLUTION PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DU LÉMAN (ÉLÉMENTS MAJEURS) ET DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES

PHYSICO-CHEMICAL CHANGES IN THE WATERS OF LAKE GENEVA (MAJOR-ELEMENTS) AND METEOROLOGICAL DATAS

CAMPAGNE 2013

PAR

Liliane SAVOYE et Philippe QUETIN

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

Audrey KLEIN

SECRÉTARIAT DE LA COMMISSION INTERNATIONALE POUR LA PROTECTION DES EAUX DU LÉMAN

ACW - Changins - Bâtiment DC, CP 1080, CH - 1260 NYON 1

RÉSUMÉ

L'année 2013 peut être considérée comme une année moyennement chaude. La température moyenne annuelle inter-stations en 2013 est de 10.3 °C.

L'année 2013 a une moyenne inter-stations des précipitations de 1'219.0 mm, ce qui classe le total annuel au 3^e rang de la chronologie 1981-2012. L'année 2013 présente un excédent de 20.8 % par rapport à la normale 1981-2010.

Concernant l'insolation, l'année 2013 a une moyenne inter-stations de 1'813 h. L'année 2013 est au 21^e rang de la période 1981-2013. Les remarques faites sur l'insolation sont également valables pour le rayonnement global dont la moyenne inter-stations pour l'année 2013 est de 12.4 MJ·m⁻²·d⁻¹.

L'année 2013, le mois de novembre excepté, est faiblement venteuse.

L'hiver 2013 a été moins rigoureux que l'année précédente, par conséquent, il a induit une homogénéisation partielle des couches d'eau du Léman jusqu'à 120 m. Ce brassage incomplet n'a pas permis de réoxygéner les couches inférieures ainsi que de redistribuer les nutriments dans l'ensemble de la colonne d'eau.

En 2013, l'activité phytoplanctonique printanière débute dès le mois de mars et entraîne une baisse des nutriments conjointement à une augmentation de la matière organique particulaire. En juin, une réduction d'algues délimite clairement une phase des eaux claires. Par la suite, un pic automnal correspondant à la reprise de la photosynthèse apparaît nettement à la fin de l'été 2013.

Alors que la réoxygénation de la colonne d'eau est partielle en 2013, le relargage de phosphore et d'azote ammoniacal est relativement limité. Le lac bénéficie encore de la réoxygénation des eaux profondes suite au brassage complet de 2012.

Le stock ainsi que les concentrations moyennes en azote nitrique dans le Léman sont très importants en 2013, avec respectivement 50'939 tonnes et 592 µgN·L⁻¹. Cette hausse s'explique en partie par la forte pluviométrie qui a entraîné un lessivage des sols du bassin versant et ainsi une augmentation des apports d'azote nitrique vers le Léman.

Le stock de phosphore total en 2013 est légèrement plus faible que les années précédentes avec 1'696 tonnes contre 1'853 tonnes en 2012. La concentration moyenne est de 19.7 µgP·L⁻¹ ce qui se rapproche progressivement de l'objectif visé pour 2020 qui est d'atteindre une valeur entre 10 et 15 µgP·L⁻¹.

Enfin, le stock de chlorure, qui est égal à 848'029 tonnes en 2013, continue son augmentation. La concentration moyenne annuelle, quant à elle, tend de plus en plus vers les teneurs moyennes des apports par les affluents du Léman.

SUMMARY

The year 2013 can be considered a moderately warm year. The annual average inter-plant temperature in 2013 was 10.3 °C.

The year 2013 had an average inter-plant precipitation of 1,219.0 mm, ranking the annual total in third place in the period from 1981 to 2012. The year 2013 showed a surplus of 20.8 % compared to normal for 1981-2010.

Concerning sun exposure, 2013 had an inter-plant average of 1,813 h. The year 2013 held the 21st place in the period 1981-2013. The remarks made on sun exposure were also valid for the global radiation with an inter-plant average for the year 2013 of 12.4 MJ·m⁻²·d⁻¹.

Except in November, the year 20123 was only slightly windy.

Winter 2013 was less stringent than the previous year; therefore, it induced partial homogenisation of the water layers of Lake Geneva to 120 m. This incomplete homogenisation does not permit re-oxygenation of the lower layer or redistribution of the nutrients throughout the water column.

In 2013, the spring phytoplankton activity began in March, leading to decreased nutrients with an increase in particulate organic matter. In June, a reduction of algae clearly delineated a clear-water phase. Subsequently, an autumn peak corresponding to the recovery of photosynthesis clearly appeared at the end of summer 2013.

While re-oxygenation of the water column was partial in 2013, the release of phosphorus and ammonia nitrogen was relatively limited. Re-oxygenation still occurred in deep water due to thorough mixing in 2012.

The stock and the average concentrations of nitrate nitrogen in Lake Geneva were very significant in 2013 at 50,939 tonnes and 592 µgN·L⁻¹, respectively. This increase is partly due to the heavy rainfall in late 2012, which led to leaching of soils in the watershed and thus an increased input of nitrate nitrogen in Lake Geneva.

The total stock of total phosphorus in 2013 was slightly lower than in previous years with 1,696 tonnes and the average concentration was 19.7 µgP·L⁻¹. The goal for 2020 is to reach a concentration of 10 to 15 µg·L⁻¹.

Finally, the chloride stock continues to increase and the annual average concentration appears to be approaching an asymptotic value close to the average levels of contributions by the tributaries of Lake Geneva.

1. INTRODUCTION

Ce rapport traite du suivi physico-chimique du Léman en 2013, plus précisément du Grand Lac à la station SHL2, et présente les résultats et l'évolution de 16 paramètres (pH, titre alcalimétrique complet, conductivité, oxygène dissous, phosphore total, orthophosphate, phosphore total particulaire, azote total, azote ammoniacal, nitrate, nitrite, azote organique particulaire, chlorure, carbone organique particulaire, silice, transparence). L'étude du Petit Lac à GE3 fait l'objet d'un rapport tous les 5 ans (LAZZAROTTO et *al.*, 2011).

Le suivi de la physico-chimie des eaux du Grand Lac (éléments majeurs) est en place depuis 1957.

L'ensemble des conditions météorologiques de l'année 2013 (température de l'air, pluviométrie, insolation, rayonnement global et vents) est intégrée à ce rapport et figure en annexe V du présent rapport. Cette annexe prend en compte les données des quatre stations météorologiques de Genève-Cointrin, Changins, Pully et Thonon-INRA.

2. METHODES

Les stations de mesure des paramètres physico-chimiques dans les eaux du Léman sont représentées sur la figure 1 :

- SHL2 au centre du Grand Lac entre Evian et Lausanne (coord. CH : 534.700/144.950) qui correspond à la partie la plus profonde du lac (-309.7 m),
- GE3 au centre du Petit Lac dans la fosse de Chevrens entre Coppet et Chevrens (coord. CH: 506.100/128.040) (-71 m).

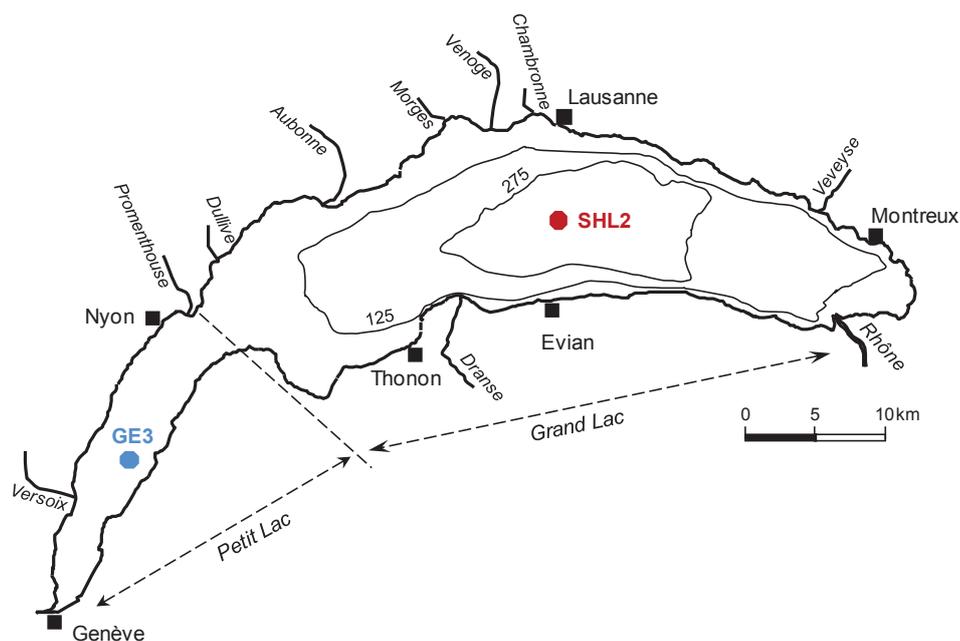


Figure 1 : Situation des points de prélèvement sur le Léman
Figure 1 : Location of the sampling stations in lake Geneva

La station SHL2 est admise comme représentative du Grand Lac au point de vue physico-chimique quant à l'évolution à long terme (BLANC et *al.*, 1993). Les stocks et concentrations moyennes pondérées sont calculés à partir des mesures obtenues sur les prélèvements à différentes profondeurs en ce point SHL2 (Annexes I et II).

La station GE3 est également admise comme représentative de la partie profonde du Petit Lac.

Afin de déterminer l'évolution de la qualité des eaux du Grand Lac, les prélèvements sont effectués à 20 profondeurs au point SHL2 : 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 d'échantillonnage est adaptée au cycle biologique du lac : lorsque l'activité biologique et la composition chimique du lac changent, la fréquence du suivi est plus importante. 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 que le lac subit de fortes et rapides fluctuations des conditions environnementales.

Il y a eu 21 campagnes de prélèvements en 2013, réparties selon les dates indiquées dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Dates des campagnes de prélèvement, Léman - Grand Lac (SHL2)

Table 1 : Dates of the sampling campaigns, Lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

Campagne n°	Date
1	28.01.2013
2	14.02.2013
3	11.03.2013
4	26.03.2013
5	03.04.2013
6	15.04.2013
7	29.04.2013
8	13.05.2013
9	27.05.2013
10	11.06.2013
11	01.07.2013
12	17.07.2013
13	01.08.2013
14	12.08.2013
15	26.08.2013
16	11.09.2013
17	24.09.2013
18	21.10.2013
19	12.11.2013
20	04.12.2013
21	16.12.2013

Les prélèvements sont effectués selon des techniques uniformisées par l'INRA-UMR CARTEL de Thonon-les-Bains (Unité Mixte de Recherche entre l'INRA et l'Université de Savoie ; Centre Alpin de Recherche sur les Réseaux Trophiques des Ecosystèmes Limniques), qui procède également à diverses mesures « in situ ». Lors de chaque prélèvement, une sonde de pression est couplée à la bouteille de prélèvement afin de déterminer la profondeur réelle de prélèvement. L'étude des relevés de la sonde indique des écarts toujours inférieurs à 2 m par rapport à la profondeur théorique et une variabilité allant de 0 à 3 m. Ces écarts sont considérés comme acceptables pour la présente étude.

Les échantillons sont analysés par le laboratoire de chimie de l'INRA-UMR CARTEL de Thonon-les-Bains. Les méthodes utilisées sont validées deux fois par an par des analyses inter-laboratoires auxquelles participent environ 20 laboratoires. Les résultats obtenus en 2013 par les différents laboratoires sont concordants (STRAWCZYNSKI, 2014). Les analyses sont validées par des cartes de contrôle de justesse et de répétabilité. Les incertitudes élargies des méthodes sont indiquées dans l'annexe III.

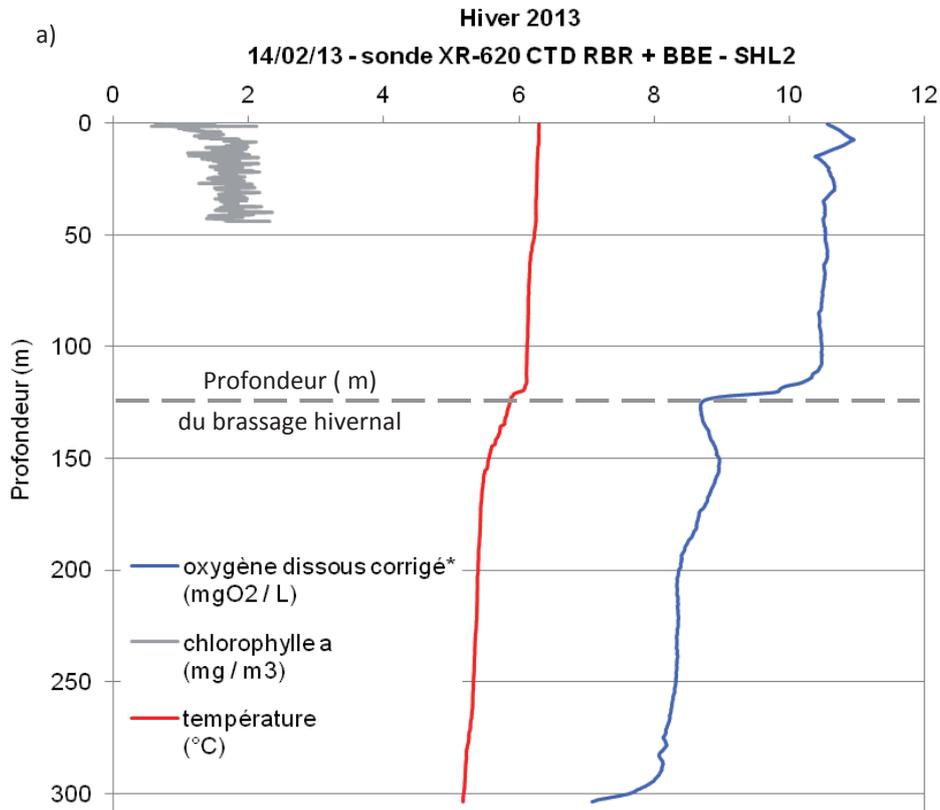
Lors de chaque campagne, des profils verticaux (mesures à chaque mètre) de température, oxygène dissous, conductivité électrique, pH, turbidité, chlorophylle *a* in vivo et luminosité sont réalisés à l'aide d'une sonde multi-paramètres immergeable (BLANC et al., 1993). Dans le même temps, une mesure de la transparence est effectuée en observant la profondeur de disparition d'un disque de Secchi « INRA » (disque blanc d'un diamètre de 30 cm) et normalisé (disque noir et blanc, 20 cm). De 1957 à mi-2009, cette mesure était effectuée uniquement avec le disque de Secchi non-normalisé. Une comparaison de la transparence entre les deux types de disque de Secchi est présentée en annexe IV. L'analyse par régression linéaire montre que les valeurs obtenues pour les deux types de disques sont significativement corrélées ($R^2 = 0,99$; $n > 90$) ; toutefois, le disque de Secchi normalisé donne systématiquement une valeur de transparence plus faible d'en moyenne 1 m.

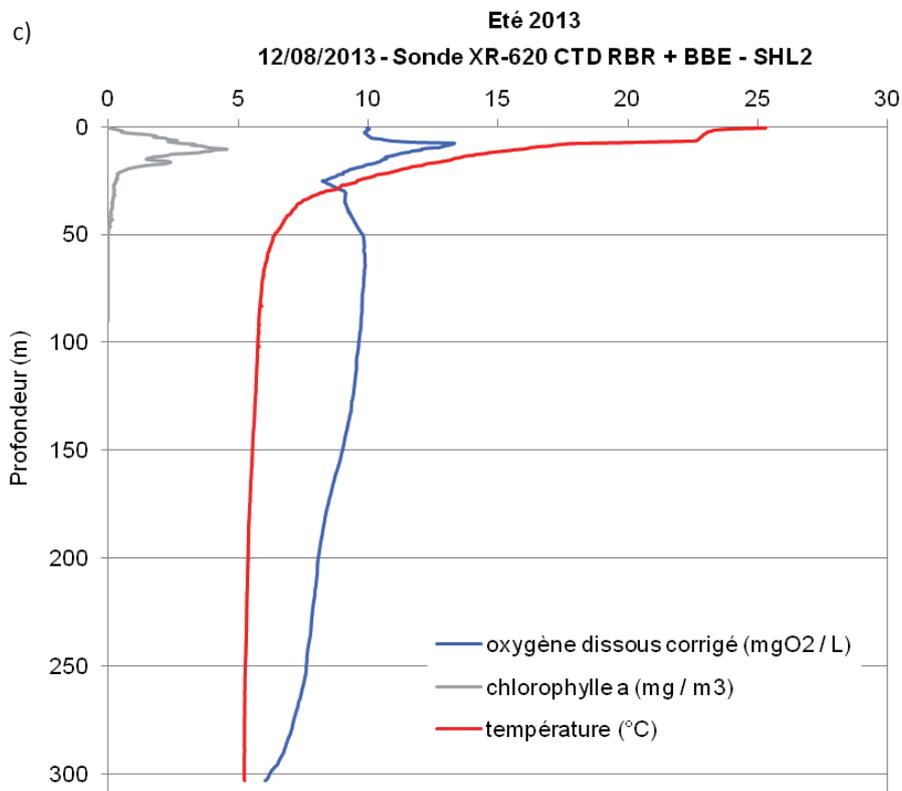
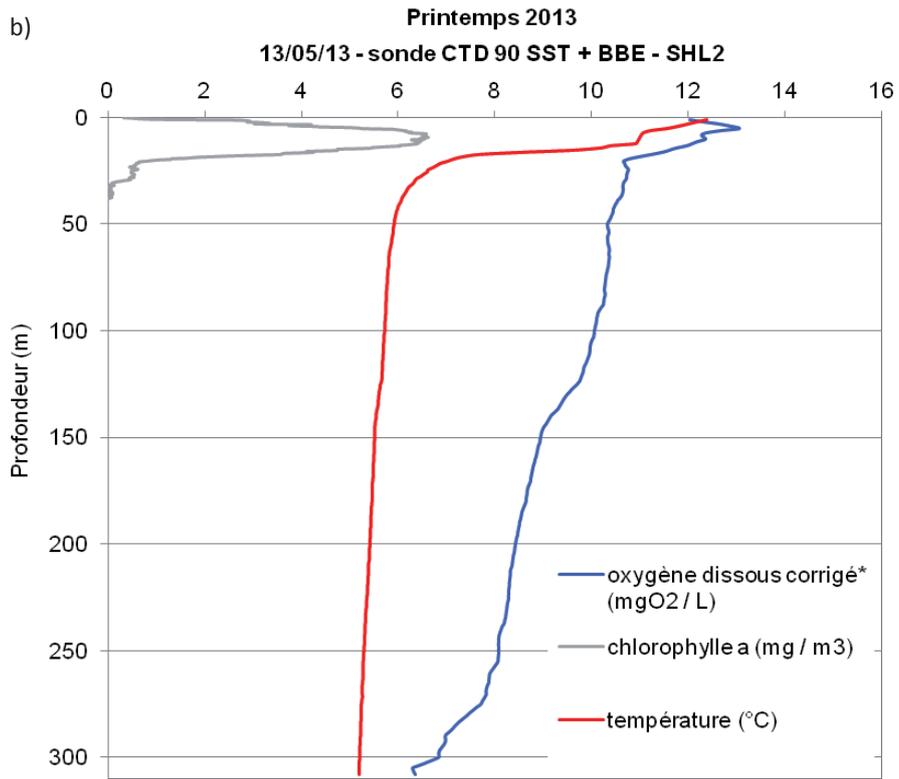
3. RÉGIME THERMIQUE : INFLUENCE SUR LA STRATIFICATION ET LE MÉLANGE DES EAUX

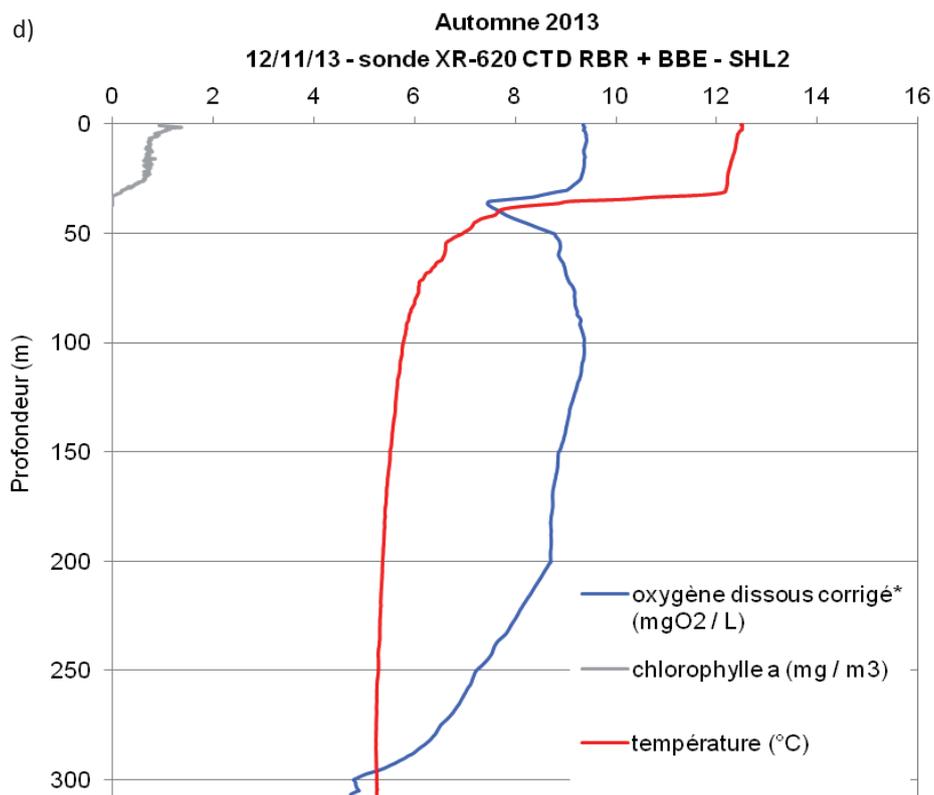
En 2013, la température moyenne annuelle de l'air inter-stations est de 10.3 °C, soit inférieure à la normale de la période 1980-2010, dont la moyenne est à 10.8 °C. L'année 2013 comme 2012 se distingue de la chronique avec un mois de février froid : la moyenne inter-stations de février est de 0.6 °C alors que la moyenne inter-station de février de 1981 à 2010 est de 2.9 °C.

Les conditions météorologiques de l'hiver 2013 n'ont pas permis un brassage complet de la colonne d'eau contrairement à l'année précédente. D'après les campagnes de suivi du Léman, un brassage partiel a eu lieu jusqu'à 120 m de profondeur à la date du 14 février 2013 (Figure 2a). Durant l'hiver, la température la plus basse observée au fond du lac est de 5.2 °C le 28 janvier 2013 soit 0.1 °C de plus qu'en 2012. Par conséquent, l'eau des couches profondes du lac n'a pas été réoxygénée comme le démontre la valeur d'oxygène dissous mesurée au fond du lac de 7.08 mgO₂·L⁻¹ au mois de février lors du brassage.

Au printemps, les couches superficielles se réchauffent et la stratification thermique se met en place ce qui entraîne la reprise de l'activité phytoplanctonique (Figure 2b). La température maximale en surface est observée le 12 août 2013 avec 25.3 °C contre 22.5 °C durant l'été 2012 (Figure 2c). L'arrivée de l'automne engendre le déclin de l'activité photosynthétique et la destratification progressive de la masse d'eau (Figure 2d).







* Profil de sonde pour la concentration en oxygène dissous corrigé par une homothétie avec les mesures effectuées en laboratoire selon la méthode de winkler sur des échantillons de profondeur définie
(Profil de température et de l'oxygène dissous corrigé avec la sonde XR-620 CTD RBR ou CTD 90 SST et profil de la chlorophylle a avec la sonde BBE)

Figure 2 : Profil physico-chimique réalisé à l'aide de la sonde multi-paramètres, Léman - Grand Lac (SHL2) :
a) en hiver lors du brassage (14.02.2013),
b) au printemps (13.05.2013),
c) en été lors de la stratification thermique maximale (12.08.2013),
d) en automne (12.11.2013)

Figure 2 : Physico-chemical profile made using a multi-parameter probe, Lake Geneva - Grand lac (SHL2) :
a) in winter after water mixing (14.02.2013),
b) in spring (13.05.2013),
c) in summer during the maximal thermal stratification (12.08.13),
d) in autumn (12.11.2013)

Les figures 3 à 6 représentent l'évolution saisonnière et interannuelle de la température des eaux du lac. La température annuelle moyenne de la colonne d'eau en 2013 est faible par rapport à la tendance croissante observée ces vingt dernières années (Figures 3, 4 et 5). La figure 6, quant à elle, indique une dynamique de stratification graduelle de la couche d'eau 0-20 m en 2013 et par conséquent ne présente pas de couche homogène importante en température tel qu'en 2008.

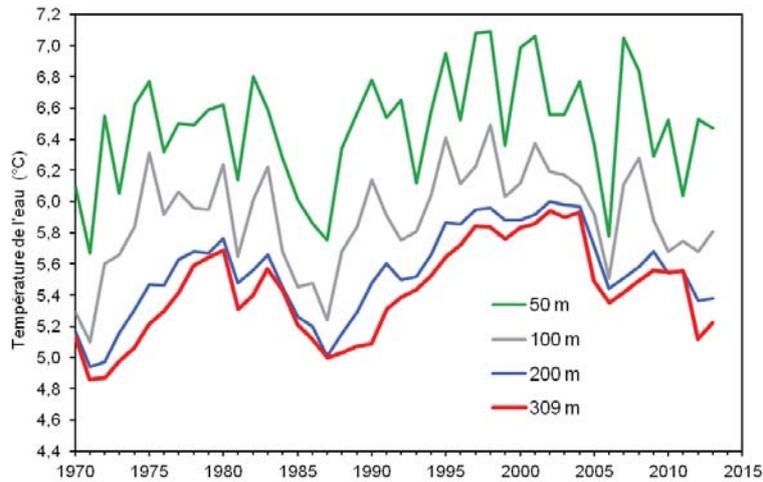


Figure 3 : Evolution de la température moyenne de l'eau dans le lac aux profondeurs de 50, 100, 200 et 309 mètres de 1970 à 2013, Léman - Grand Lac (SHL2).

Figure 3 : Change in the mean annual water temperature in the lake at depths of 50, 100, 200 and 309 meters from 1970 to 2013, lake Geneva - Grand Lac (SHL2).

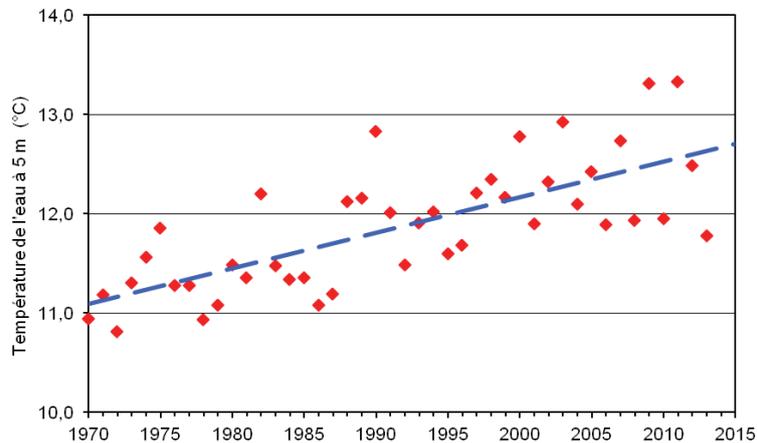


Figure 4 : Evolution de la température moyenne annuelle de l'eau du Lac à 5 mètres de profondeur de 1970 à 2013, Léman - Grand Lac (SHL2).

Figure 4 : Change in the mean annual water temperature of the lake at a depth of 5 meters from 1970 to 2013, Lake Geneva - Grand Lac (SHL2).

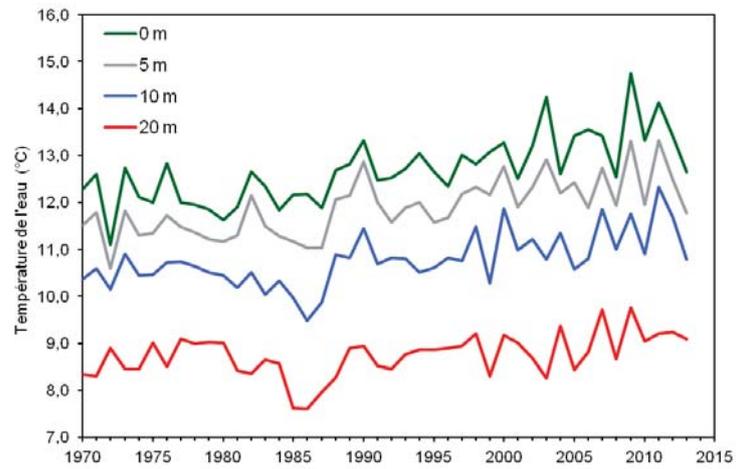


Figure 5 : Evolution de la température moyenne de l'eau du lac dans les couches superficielles (0, 5, 10, 15 et 20 m) de 1970 à 2013, Léman - Grand Lac (SHL2).

Figure 5 : Change in the mean annual water temperature in lake's water surface layers (0, 5, 10, 15 et 20 m) from 1970 to 2013, Lake Geneva - Grand Lac (SHL2).

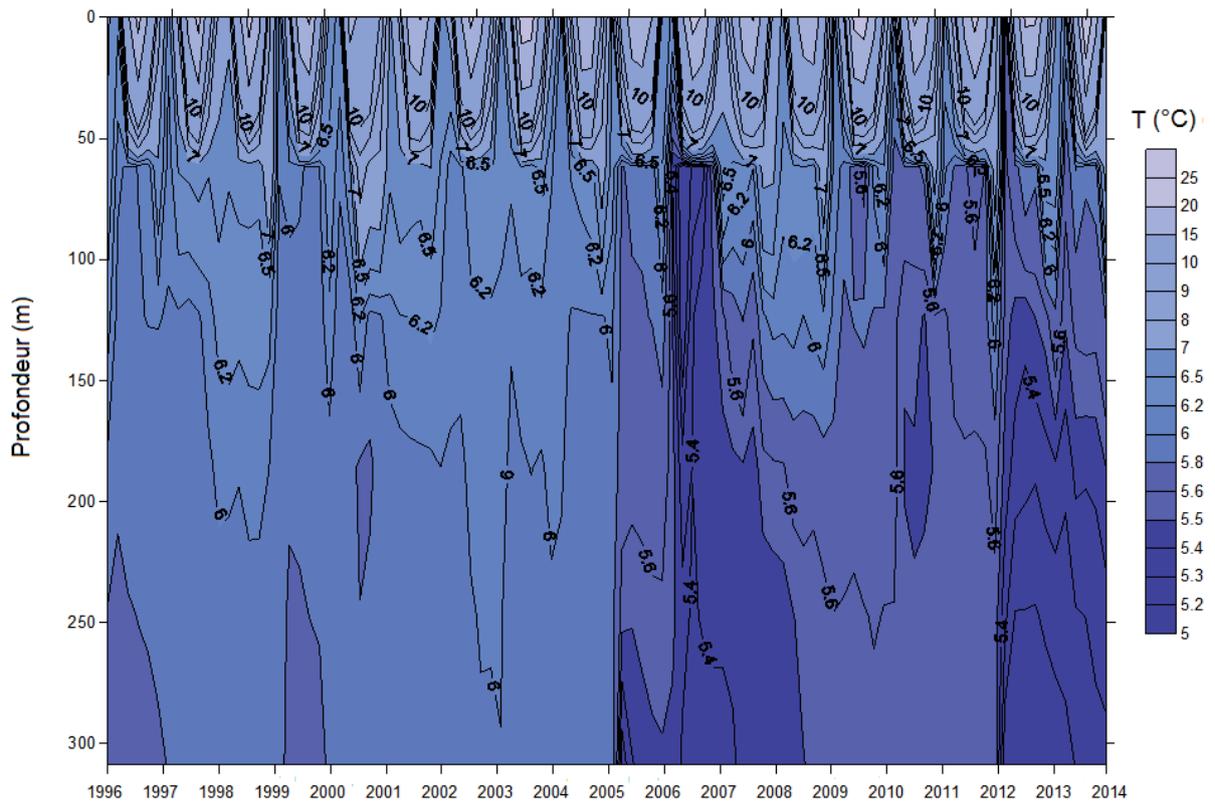


Figure 6 : Température des eaux du lac en fonction de la profondeur de 1996 à 2013, Léman - Grand Lac (SHL2).

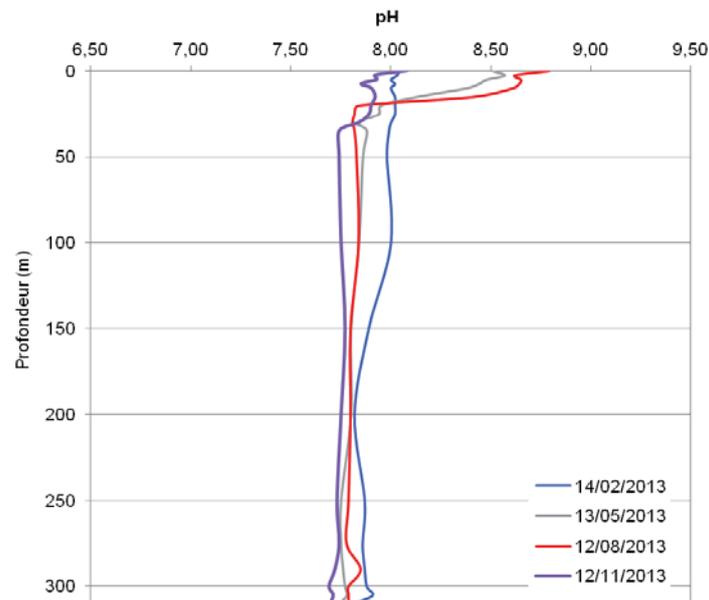
Figure 6 : Water temperature in the lake as a function of depth from 1996 to 2013, Lake Geneva - Grand Lac (SHL2).

4. CARACTÉRISATION PHYSICO-CHIMIQUE DU LÉMAN

4.1. PH

Le pH est dépendant de la température, par conséquent, cette mesure est corrigée puis exprimée par convention à 25 °C.

La figure 7 représente l'évolution saisonnière du pH dans la colonne d'eau du lac. A l'issue du brassage hivernal partiel jusqu'à 120 m, le pH de la colonne d'eau oscille entre 7.84 et 8.04 tel que l'on peut l'observer sur le profil du 14 février 2013 en bleu sur la figure 7. La reprise de l'activité phytoplanctonique printanière provoque une augmentation du pH dès la fin du mois de mars 2013. Cette hausse est provoquée par la consommation de CO₂ lors la photosynthèse. Le CO₂ étant consommé, l'équilibre acido-basique du milieu est modifié et le pH augmente. Le pH moyen maximum de 8.66 a été mesuré dans les couches d'eau superficielles entre 0 et 10 m le 12 août 2013.



* Mesure du pH à 25°C effectuée en laboratoire à des profondeurs définies

Figure 7 : pH des eaux du lac en fonction de la profondeur en hiver lors du brassage (14.02.2013), au printemps (13.05.2013), en été lors de la stratification thermique maximale (12.08.2013) et en automne (12.11.2013), Léman - Grand Lac (SHL2).

Figure 7 : pH in the lake as a function of depth in winter after water mixing (14.02.2013), in spring (13.05.2013), in summer during the maximal thermal stratification (12.08.13) and in autumn (12.11.2013), Lake Geneva - Grand Lac (SHL2).

La figure 8 représente l'évolution du pH dans les couches d'eau superficielles (0-20 m) de 1980 à nos jours. On constate qu'il n'y pas de changement global de gamme de valeur du pH sur la chronique.

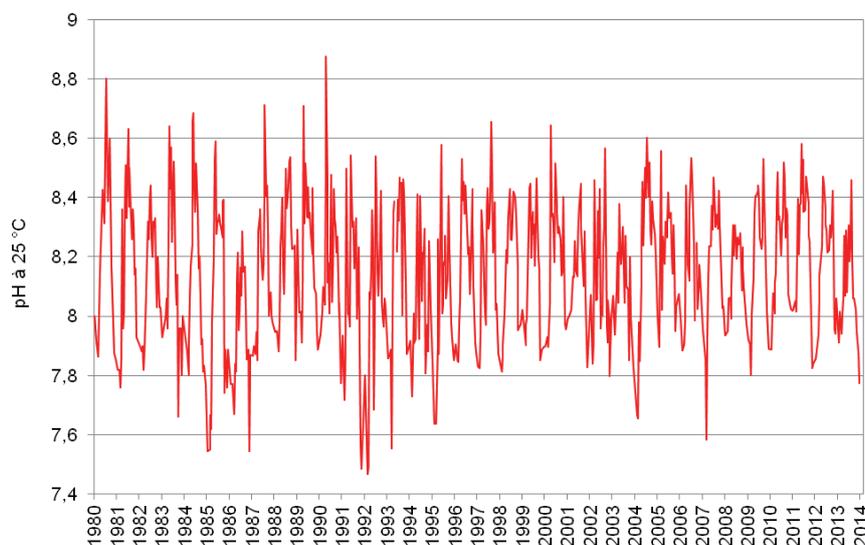


Figure 8 : Evolution du pH à 25°C dans l'eau de la couche superficielle (0-20m) de 1980 à 2013, Léman - Grand Lac (SHL2).

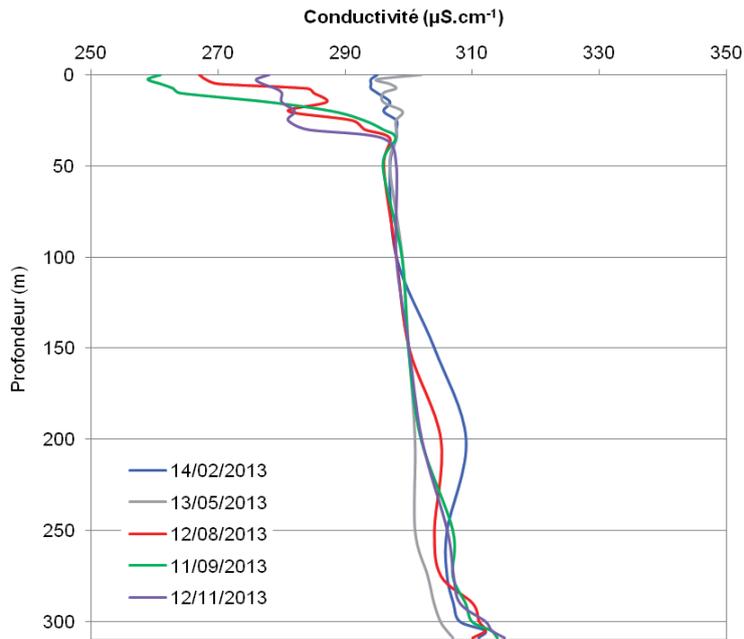
Figure 8 : Change in pH at 25°C in lake's water surface layer (0-20 m) from 1980 to 2013, Lake Geneva - Grand Lac (SHL2).

4.2. CONDUCTIVITÉ

La conductivité permet de quantifier la somme des sels dissous présents dans l'eau. Cette mesure est aussi dépendante de la température, par conséquent, celle-ci est corrigée puis exprimée par convention à 25 °C.

La figure 9 représente l'évolution saisonnière de la conductivité dans la colonne d'eau du lac. On peut noter que la conductivité n'est pas homogène dans l'ensemble de la masse d'eau le 14 février 2013 au moment du brassage hivernal partiel et varie entre 294 et 312 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Par la suite, la conductivité commence à diminuer de manière significative à partir du mois de juillet dans l'épilimnion à l'issue d'une activité phytoplanctonique intense. La photosynthèse induite par le développement du phytoplancton entraîne donc l'augmentation du pH qui modifie à son tour l'équilibre calco-carbonique et favorise la précipitation et la sédimentation de carbonate de calcium. Le calcium influençant significativement la conductivité, sa précipitation donne lieu à une diminution de cette dernière. On constate un décalage temporel entre l'augmentation du pH dans les couches d'eau superficielles qui débute dès le printemps et la diminution de la conductivité qui commence en été. La conductivité minimale dans l'épilimnion est observée en septembre avec des valeurs proches aux alentours 262 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ de 0 à 10 m tel que cela est représenté en vert sur la figure 9.

De plus, on observe que la conductivité augmente dans l'hypolimnion au-delà de 50 m. Ce phénomène s'explique par la minéralisation de la matière organique par l'activité bactérienne qui induit une désoxygénation provoquant le relargage de plusieurs sels dissous.



* Mesure de la conductivité à 25°C est effectuée en laboratoire à des profondeurs définies

Figure 9 : Conductivité des eaux du lac en fonction de la profondeur en hiver lors du brassage (14.02.2013), au printemps (13.05.2013), en été lors de la stratification thermique maximale (12.08.2013) et en automne (12.11.2013), Léman - Grand Lac (SHL2).

Figure 9 : Conductivity in the lake as a function of depth in winter after water mixing (14.02.2013), in spring (13.05.2013), in summer during the maximal thermal stratification (12.08.13) and in autumn (12.11.2013), Lake Geneva - Grand Lac (SHL2).

La figure 10 représente, quant à elle, l'évolution de la conductivité dans les couches d'eau superficielles (0-20 m) sur la chronique de 1980 à 2013. Tel que le pH, la conductivité ne reflète pas de modification temporelle à long terme.

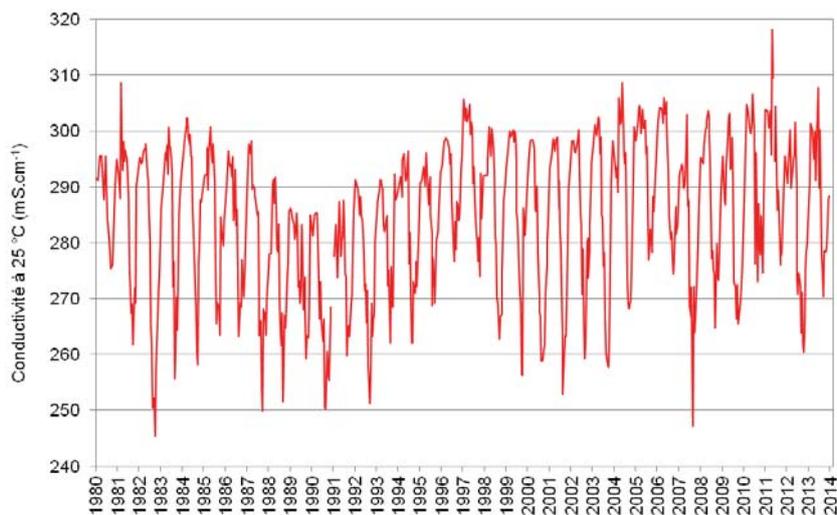


Figure 10 : Evolution de la conductivité à 25°C dans l'eau de la couche superficielle (0-20m) de 1980 à 2013, Léman - Grand Lac (SHL2).

Figure 10 : Change in the conductivity at 25°C in lake's water surface layer (0-20 m) from 1980 to 2013, Lake Geneva - Grand Lac (SHL2).

4.3. TITRE ALCALIMÉTRIQUE COMPLET

Le titre alcalimétrique complet (TAC) est la grandeur utilisée pour mesurer la teneur d'hydrogénocarbonate, de carbonates et d'hydroxydes. A l'issue du brassage partiel du lac durant l'hiver 2013, le TAC est hétérogène dans la colonne d'eau et fluctue entre 1.75 et 1.90 meq·L⁻¹. Au mois de juillet 2013, on peut observer que le TAC diminue dans les eaux superficielles (0-20m) parallèlement à la baisse de la conductivité ce qui s'explique par la précipitation des ions carbonates avec le calcium (Figure 11). Le titre alcalimétrique complet minimum dans l'épilimnion est mesurée le 11 septembre 2013 avec 1.51 meq·L⁻¹ à la surface. Finalement, le TAC augmente à nouveau dans les couches d'eau de surface à partir de la fin du mois d'octobre 2013.

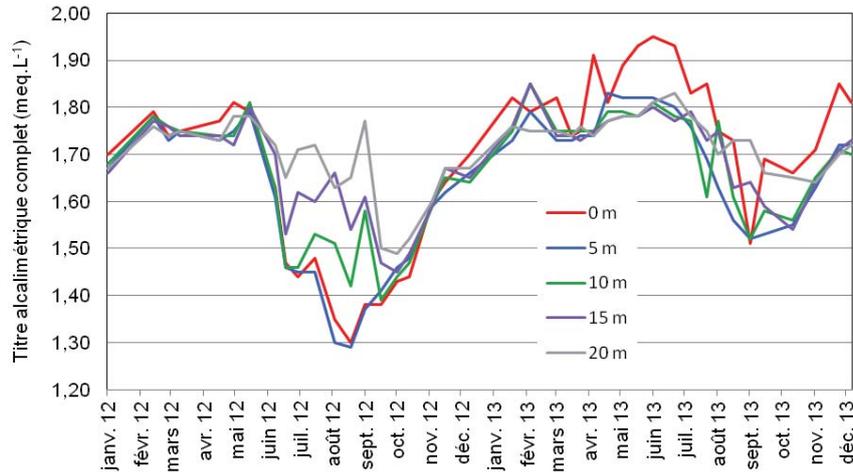


Figure 11 : Titre alcalimétrique complet dans l'eau de la couche superficielle (0-20m), Léman - Grand Lac (SHL2).

Figure 11 : Total alkalinity in lake's water surface layer (0-20 m), Lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

La figure 12 représente l'évolution du titre alcalimétrique des eaux superficielles (0-20 m) de 1980 à 2013. La même observation que pour le pH et la conductivité peut être faite à savoir que ce paramètre ne présente pas de tendance évolutive globale au fil de la chronique.

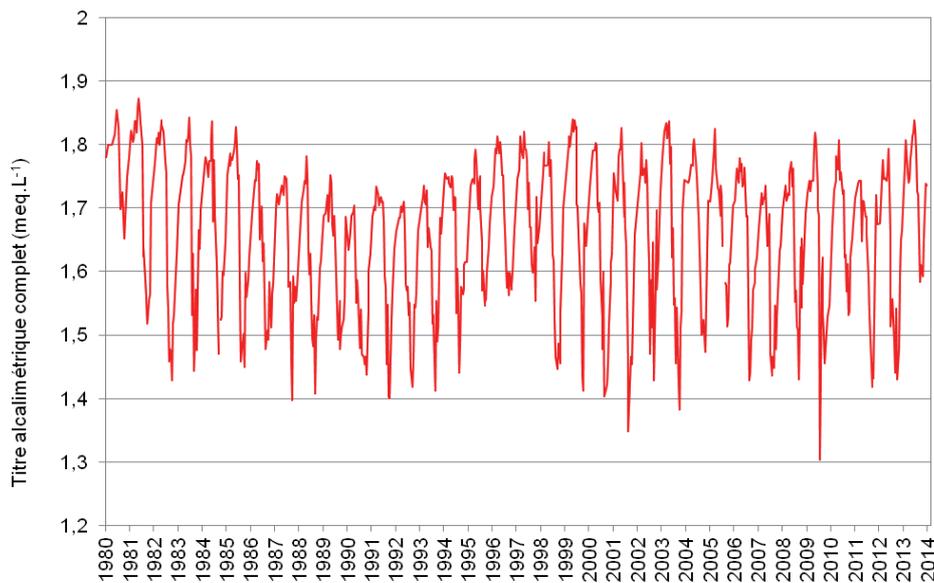


Figure 12 : Evolution du titre alcalimétrique complet dans l'eau de la couche superficielle (0-20m) de 1980 à 2013, Léman - Grand Lac (SHL2).

Figure 12 : Change in total alkalinity in lake's water surface layer (0-20 m) from 1980 to 2013, Lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

5. ÉVOLUTION SAISONNIÈRE DANS LES COUCHES SUPERFICIELLES

Le brassage hivernal des eaux du lac permet de remettre à disposition les nutriments dans la colonne d'eau à partir des couches inférieures plus concentrées et de réoxygéner les eaux du fond. L'hiver 2013 n'a pas permis un brassage complet, par conséquent les nutriments n'ont pas été redistribués de manière homogène tout le long de la colonne d'eau.

5.1. PHOSPHORE TOTAL ET ORTHOPHOSPHATE

A l'issue du brassage partiel du lac en 2013, une concentration maximale en phosphore réactif soluble de $13 \mu\text{gP}\cdot\text{L}^{-1}$ est détectée le 11 mars 2013 à 20 m (Figure 13). La remise à disposition en quantité maximale de nutriments dans les couches d'eau superficielles est en décalage par rapport à la date d'homogénéisation partielle maximum définie à l'aide des profils de température et de saturation en oxygène mesurée le 14 février 2013 (Figure 2a). Cependant, afin d'expliquer ce phénomène, il est possible d'émettre l'hypothèse que le brassage de la colonne d'eau s'est poursuivi à une profondeur supérieure à 120 m après mi-février 2013 permettant une arrivée de nutriments des couches encore plus profondes (Figure 30). Puis, on peut supposer que la stratification thermique a débuté avant le 11 mars 2013, alors que la consommation des nutriments par le phytoplancton n'a pas encore débuté. Cette valeur est inférieure à celle observée l'année précédente, le 8 mars 2012, de $17 \mu\text{gP}\cdot\text{L}^{-1}$ à la suite d'un brassage complet de la colonne d'eau.

On constate que la teneur en orthophosphates dans l'eau des couches superficielles diminue dès la campagne suivante, c'est-à-dire le 26 mars 2013 en réponse au démarrage de l'activité phytoplanctonique printanière. La consommation de phosphore biodisponible se poursuit pour atteindre un minimum de $1.2 \mu\text{gP}\cdot\text{L}^{-1}$ à 0 m le 11 juin 2013. Dès lors, on observe une légère hausse de la teneur en phosphore réactif soluble, caractérisée par un pic le 1 août 2013 à 10 m, de $9.5 \mu\text{gP}\cdot\text{L}^{-1}$ en raison de la décroissance des diatomées (RIMET, 2014). A la fin de l'été, la concentration baisse à nouveau avec, par exemple, moins de $2 \mu\text{gP}\cdot\text{L}^{-1}$ en surface suite à l'apparition d'autres communautés algales. Finalement, le ralentissement automnal de l'activité du phytoplancton amorce une hausse en phosphore dans l'épilimnion remis à disposition à partir des couches d'eau plus profondes du fait de la destratification thermique progressive.

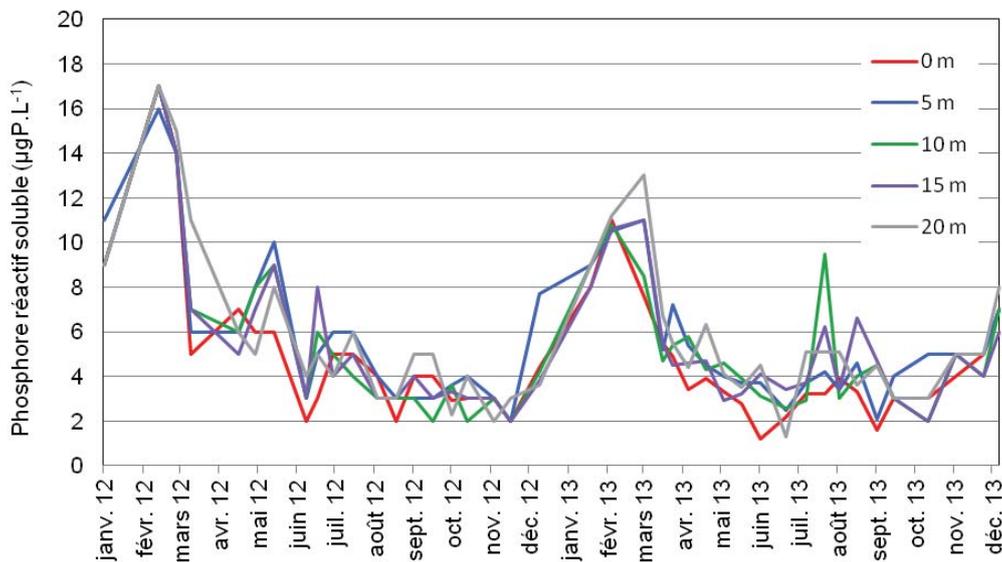


Figure 13 : Concentration en phosphore réactif soluble (P-PO_4^{3-}) dans l'eau des couches superficielles du lac (0, 5, 10, 15 et 20 m), Léman - Grand Lac (SHL2).

Figure 13 : Concentration of soluble reactive phosphorus (P-PO_4^{3-}) in lake's water surface layers (0, 5, 10, 15 and 20 m), Lake Geneva - Grand Lac (SHL2).

La figure 14 représente l'évolution depuis 1996 du stock en phosphore total et en orthophosphate dans les couches 0-30 m et 0-50 m lors du brassage hivernal, soit dans les couches où il est disponible pour l'activité phytoplanctonique. Le stock en orthophosphate, directement biodisponible, est plus faible que l'année précédente du fait d'un brassage partiel contrairement à 2012. Cette évolution est dépendante de l'intensité du brassage de l'année en cours mais aussi de celui de l'année précédente en termes de relargage induit par l'intensité de désoxygénation au fond du lac.

On constate une tendance globale à la baisse du stock de phosphore sur cette chronique de 1996 à nos jours. Ce phénomène s'explique aisément par la diminution des apports au Léman liée à l'interdiction d'utiliser des phosphates dans les lessives en Suisse depuis 1986 puis en France à partir de 2007 ainsi qu'à l'augmentation des performances en matière de déphosphatation des STEP.

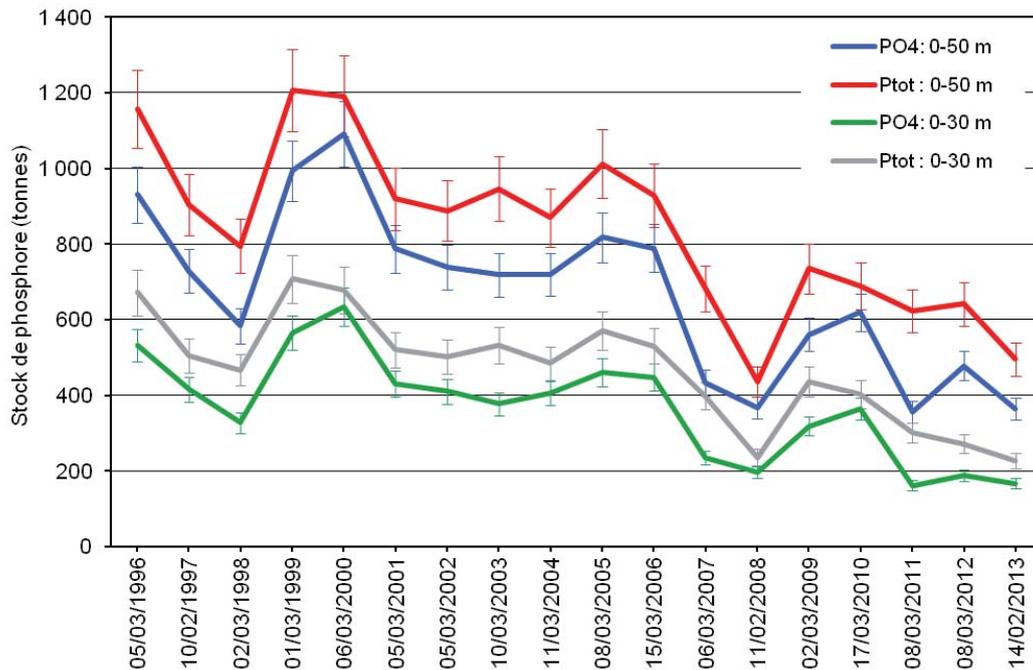


Figure 14 : Stock de phosphore réactif soluble (P- PO_4^{3-}) et phosphore total dans les eaux des couches 0-30 et 0-50 m de 1996 à 2013 lors du brassage hivernal, Léman - Grand Lac (SHL 2).

Figure 14 : Stock of soluble reactive phosphorus (P- PO_4^{3-}) and total phosphorus in the lake's water surface layers of 0-30 and 0-50 m from 1996 to 2013 during winter mixing, Lake Geneva - Grand Lac (SHL2) .

5.2. AZOTE TOTAL, AZOTE NITRIQUE ET AZOTE AMMONIACAL

La concentration en azote nitrique atteint un maximum en janvier de $603 \mu\text{gN}\cdot\text{L}^{-1}$ à 20 m ce qui est plus important qu'en 2012 avec environ $525 \mu\text{gN}\cdot\text{L}^{-1}$ (Figure 15). Ce phénomène peut s'expliquer en partie par la forte pluviométrie en novembre et décembre 2012 qui a entraîné une forte mobilisation d'azote nitrique dans le bassin versant du lac et par conséquent des apports importants de cet élément via les affluents du Léman.

La concentration en azote nitrique des couches superficielles diminue significativement à partir du mois de mars tel qu'on peut l'observer sur la figure 15. Par la suite, la consommation de l'azote nitrique continue et la concentration de celui-ci atteint un minimum le 12 août 2013 avec $265 \mu\text{gN}\cdot\text{L}^{-1}$ à la surface du lac. Cette consommation semble en net recul par rapport à 2012, où des concentrations à l'état de traces, de l'ordre de 20 à $30 \mu\text{gN}\cdot\text{L}^{-1}$, sont mesurées à 0 et 5 m au mois d'août. Ce phénomène peut s'expliquer en partie par des apports d'azote nitrique par les cours d'eau alimentant le Léman à cause de la forte pluviométrie (KLEIN, 2014).

Finalement, la consommation ralentit dès le mois de septembre pour atteindre de nouveau, en décembre, une concentration moyenne en azote nitrique de $570 \mu\text{gN}\cdot\text{L}^{-1}$ dans l'eau des couches superficielles.

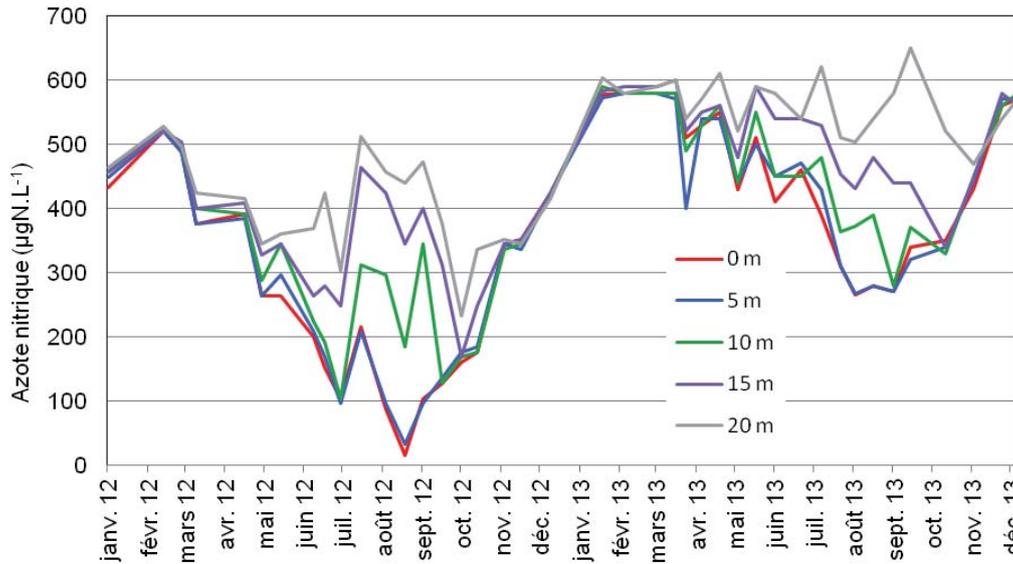


Figure 15 : Concentration en azote nitrique (N-NO₃) dans l'eau des couches superficielles du lac (0, 5, 10, 15 et 20 m), Léman - Grand Lac (SHL2).

Figure 15 : Concentration of nitrate (N-NO₃) in lake's water surface layers (0, 5, 10, 15 and 20 m), Lake Geneva - Grand Lac (SHL2).

La figure 16 représente l'évolution du stock d'azote total et d'azote nitrique dans les couches 0-30 m et 0-50 m lors du brassage hivernal de 1996 à 2013. On observe une relative stabilité du stock d'azote sur cette chronique de 1996 à nos jours.

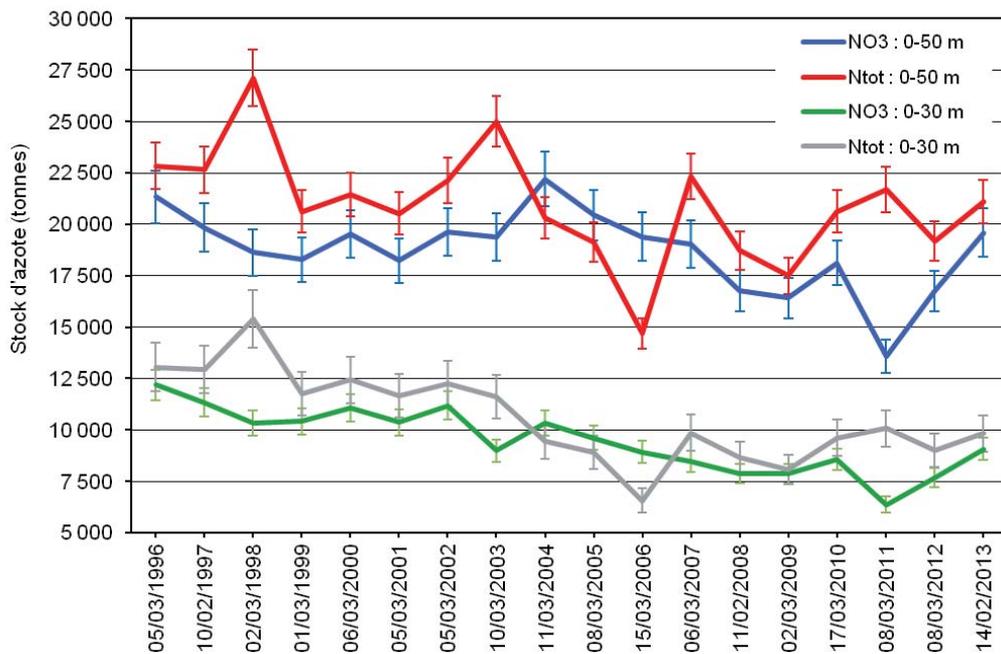


Figure 16 : Stock d'azote nitrique (N-NO₃) et d'azote total dans les eaux des couches 0-30 et 0-50 m de 1996 à 2013 lors du brassage hivernal, Léman - Grand Lac (SHL 2).

Figure 16 : Stock of nitrate (N-NO₃) and total nitrogen in the lake's water surface layers of 0-30 and 0-50 m from 1996 to 2013 during winter mixing, Lake Geneva - Grand Lac (SHL2).

L'activité zooplanctonique entraîne, dès le printemps, une augmentation de la concentration en azote ammoniacal du fait des excréments de ces organismes mais également des poissons et de la dégradation microbienne de la matière organique (PERGA, 2014). Cependant, cette activité est moindre qu'en 2012 où, par exemple, la concentration moyenne en azote ammoniacal au mois de mai 2013 est de $24.5 \mu\text{gN}\cdot\text{L}^{-1}$ à 20 m alors qu'elle monte à $69 \mu\text{gN}\cdot\text{L}^{-1}$ à la même période de l'année précédente (figure 17).

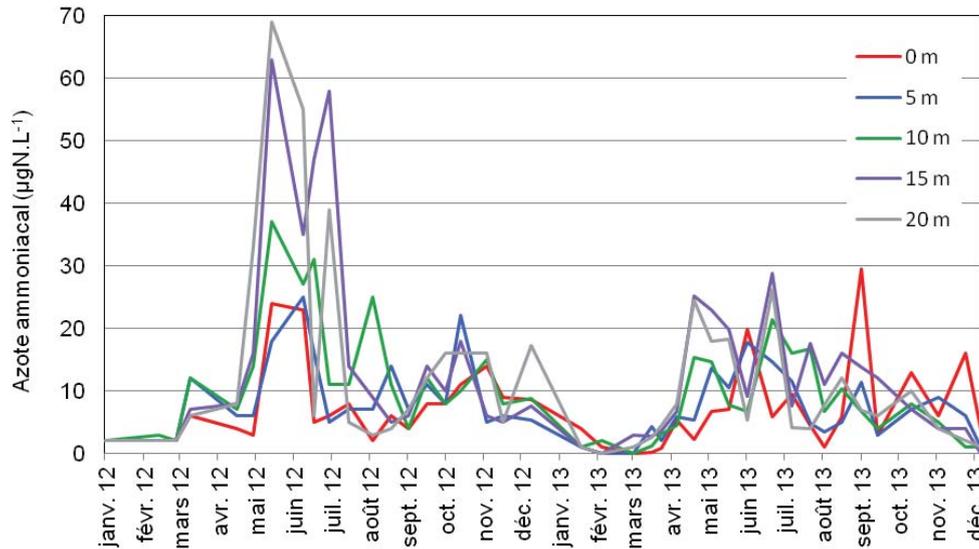


Figure 17 : Concentration en azote ammoniacal (N-NH_4^+) dans l'eau des couches superficielles (0, 5, 10, 15 et 20 m), Léman - Grand Lac (SHL2).

Figure 17 : Concentration of ammoniacal nitrogen in lake's surface layers (0, 5, 10, 15 and 20 m), Lake Geneva - Grand Lac (SHL2).

5.3. SILICE

Le brassage partiel de l'hiver 2013 n'a pas permis de redistribuer la silice présente dans l'eau des couches profondes dans l'ensemble de la colonne d'eau tel que cela avait été le cas en 2005, 2006 et 2012 lors de brassages complets (Figure 18). La plus forte concentration en silice dans les couches d'eau superficielles est observée en mars 2013 avec le même petit décalage que les orthophosphates par rapport à la date du 14 février 2013 à laquelle le brassage partiel maximum a été mesuré. La teneur en silice est alors égale à $1.30 \text{ mgSiO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ à 20 m contre $1.87 \text{ mgSiO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ en 2012 à la même période de l'année (Figure 19).

Dès la campagne suivante, le 26 mars 2013, la silice commence à être consommée par l'activité phytoplanctonique des algues diatomées (RIMET, 2014) pour atteindre à la mi-avril des concentrations très faibles.

A partir du mois de mai, la concentration de la silice ré-augmente en parallèle à la diminution du peuplement des diatomées. Par la suite, un nouveau fléchissement apparaît nettement au mois de juillet dans les couches d'eau de 0 et 5 m correspondant à l'apparition de nouvelles communautés d'algues. Finalement, la consommation ralentit dès mi-octobre occasionnant une nouvelle hausse des teneurs en silice en surface du lac.

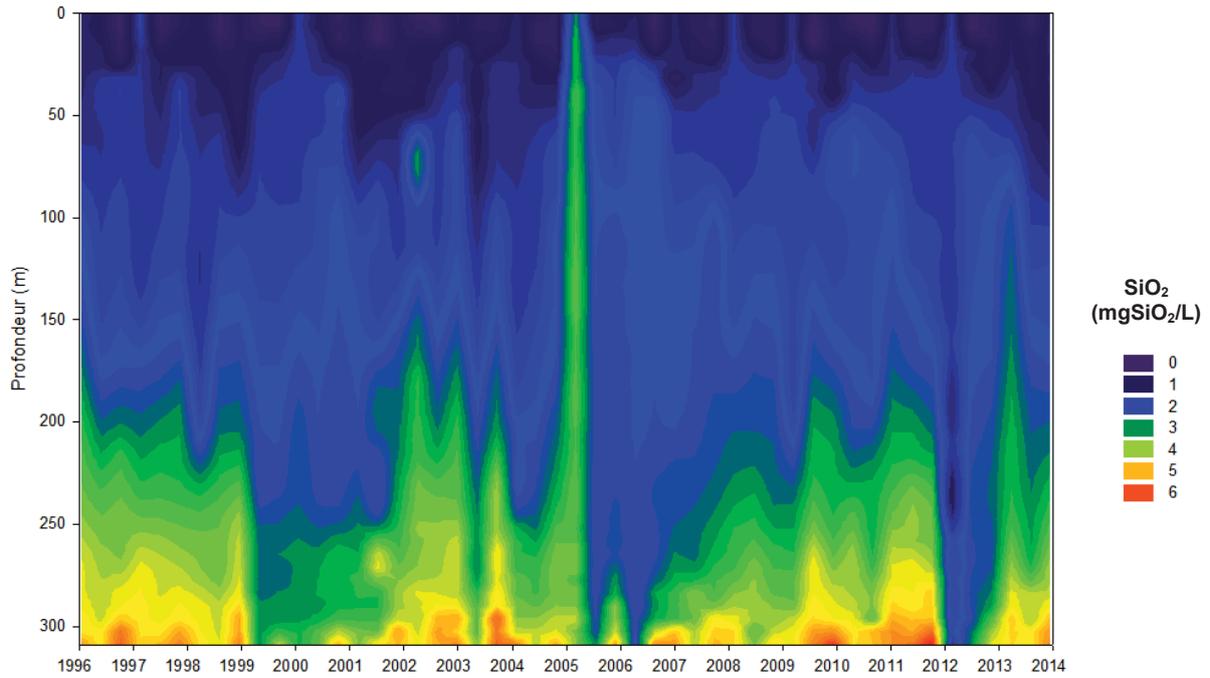


Figure 18 : Concentration en silice (SiO_2) dans les eaux du lac en fonction de la profondeur de 1996 à 2013, Léman - Grand Lac (SHL2).

Figure 18 : Concentration of silica (SiO_2) in lake's water as a function of depth from 1996 to 2013, Lake Geneva - Grand Lac (SHL2).

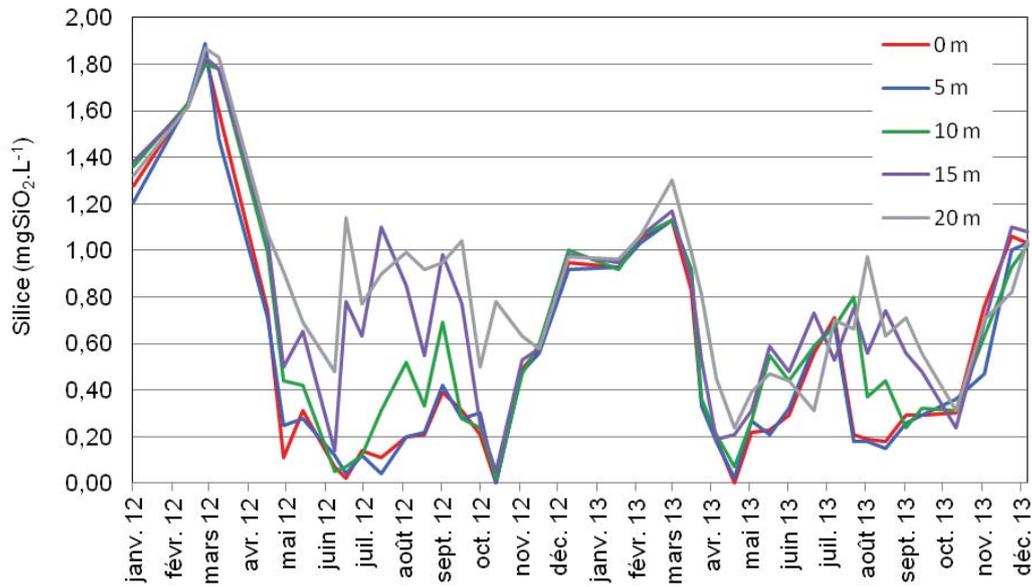


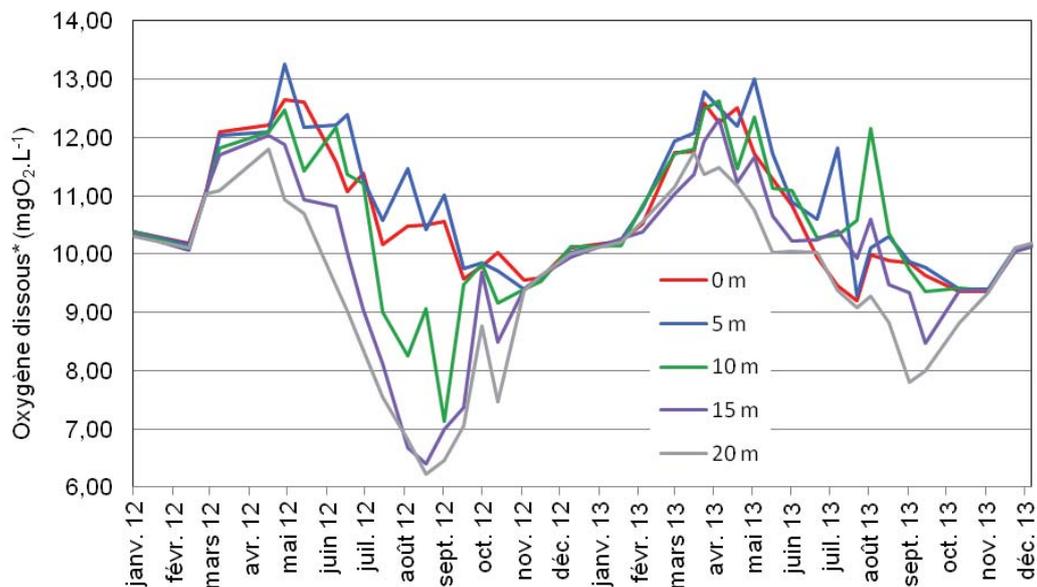
Figure 19 : Concentration en silice (SiO_2) dans l'eau des couches superficielles du lac (0, 5, 10, 15 et 20 m), Léman - Grand Lac (SHL2).

Figure 19 : Concentration of silica (SiO_2) in lake's water surface layers (0, 5, 10, 15 and 20 m), Lake Geneva - Grand Lac (SHL2).

5.4. OXYGÈNE DISSOUS

Les figures 20 et 26 mettent en évidence la production d'oxygène par la photosynthèse dans les couches supérieures du lac au printemps. Ce phénomène entraîne une sursaturation des couches superficielles, dont le maximum en 2013 est observé le 13 mai avec $13.01 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$ à 5 m.

La concentration en oxygène dissous dans les couches superficielles diminue ensuite dès le mois de juin principalement à cause d'une activité photosynthétique moins intense liée au fléchissement des diatomées constaté à partir du mois de mai et suivi par une phase des eaux claires. Ce phénomène peut aussi s'expliquer par la diffusion d'oxygène vers les couches d'eau inférieures qui sont désoxygénées du fait de l'activité bactérienne qui y règne et du dégazage vers l'atmosphère lors de la sursaturation en oxygène dissous de l'épilimnion. Néanmoins, on peut observer un second pic d'oxygène en juillet-août correspondant à l'apparition d'autres espèces algales que les diatomées. La désoxygénation de l'épilimnion induite par le transfert d'oxygène vers les couches plus profondes est moins marquée en 2013 avec un minimum à 20 m au mois de septembre égale à $7.80 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$ contre $6.22 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$ en août 2012.



* Mesure de la concentration en oxygène dissous effectuée en laboratoire selon la méthode de Winkler à des profondeurs définies

Figure 20 : Concentration en oxygène dissous dans l'eau des couches superficielles du lac (0, 5, 10, 15 et 20 m), Léman - Grand Lac (SHL2).

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

5.5. TRANSPARENCE

La dynamique de transparence pour l'année 2013 est représentée sur la figure 21. Le brassage hivernal partiel de 2013 entraîne une transparence importante de plus de 10 m entre le mois de janvier et février. Par la suite, la reprise de l'activité photosynthétique, qui induit la croissance du phytoplancton, provoque une diminution progressive de la transparence jusqu'à une valeur de 3 m en avril et qui perdure jusqu'en mai. Ce phytoplancton printanier, qui est essentiellement constitué de diatomées (RIMET, 2014), consomme les nutriments présents en abondance mais n'est guère consommé, la température étant encore trop faible pour activer le zooplancton de façon significative. De juin à juillet, on observe une phase nette des eaux claires qui se traduit par une augmentation de la transparence avec un pic à 9.8 m car dès la fin du printemps, la raréfaction des nutriments et l'accroissement de l'activité des organismes brouteurs engendrent une diminution drastique des diatomées. A partir du mois d'août, la transparence redevient faible et inférieure à 6 m jusqu'en septembre. A cette période, les diatomées laissent place à des petites chlorophycées flagellées à fort taux de reproduction et à de grandes cyanobactéries, deux types d'algues capables de résister à la prédation.

En octobre, la transparence recommence à augmenter avec un pic de 8.7 m. Puis la destratification, qui débute en novembre, fait remonter des nutriments vers les eaux de surface. Etant donné que les conditions lumineuses sont encore favorables à l'activité photosynthétique, le phytoplancton croît à nouveau mais comme les températures encore élevées stimulent le broutage, ce sont des espèces résistantes à la prédation qui vont se développer : grandes cyanobactéries, grandes diatomées et dinophycées. Finalement, au début de l'hiver 2014, la transparence augmente à nouveau.

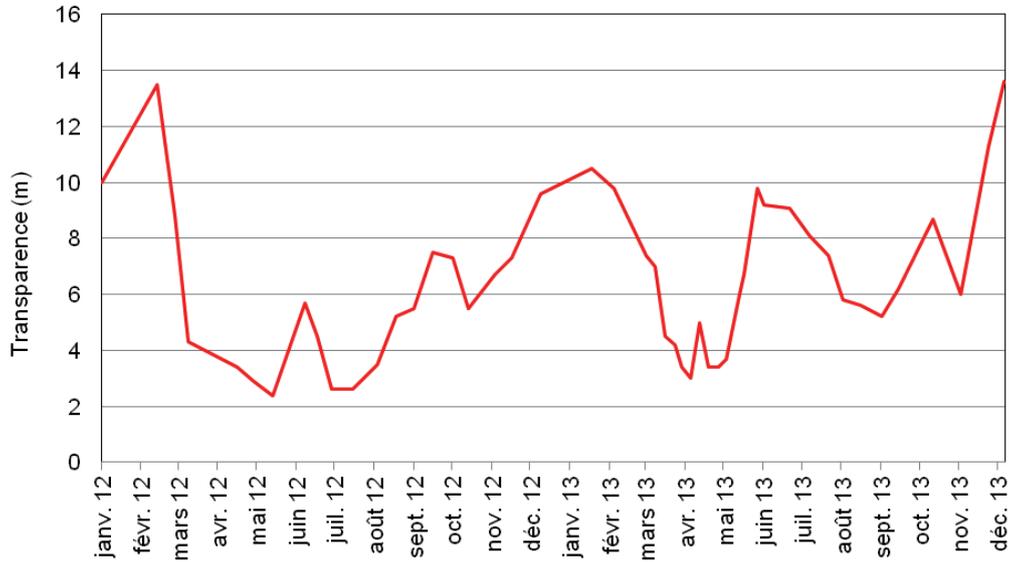


Figure 21 : Transparence avec le disque de Secchi (noir et blanc, 20 cm), Léman - Grand Lac (SHL2)
Figure 21 : Transparency using a Secchi disk (black and white, 20 cm), Léman - Grand Lac (SHL2)

La figure 22 permet d'observer l'historique de la transparence de 1980 à nos jours. L'année 2013 présente des valeurs de transparence du même ordre de grandeur que l'ensemble de la chronique.

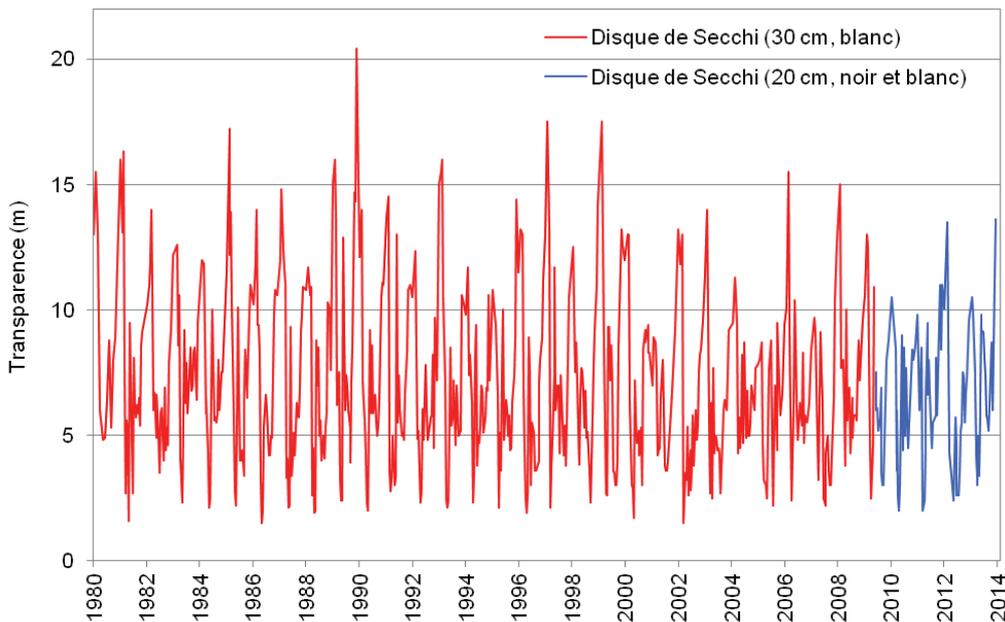


Figure 22 : Evolution de la transparence avec le disque de Secchi de 1980 à 2013, Léman - Grand Lac (SHL2).
Figure 22 : Change in transparency using Secchi disk from 1986 to 2013, Lake Geneva - Grand Lac (SHL2).

5.6. MATIÈRE PARTICULAIRE

La matière particulaire est un indicateur de l'abondance phytoplanctonique en suspension dans l'eau. Le carbone et l'azote organique ainsi que le phosphore total particulaire représentent plus précisément la fraction de nutriments assimilés par le phytoplancton. Par conséquent, les concentrations en carbone organique particulaire (COP) dans les couches superficielles évoluent inversement à la teneur en nutriments dissous dans l'eau et ceci dès le début de l'activité phytoplanctonique (Figure 23). Ainsi, le pic printanier de carbone organique particulaire est obtenu le 3 avril 2013 à 5 m avec $569 \mu\text{gC}\cdot\text{L}^{-1}$ et est directement corrélé avec une diminution de la transparence (Figure 21). Un second pic dit « automnal » se dessine dès le mois d'août dans les couches d'eau de 0 à 15 m avec une concentration maximale le 26 août 2013 de $406 \mu\text{gC}\cdot\text{L}^{-1}$ correspondant à l'apparition de nouvelles communautés d'algues qui remplacent les diatomées.

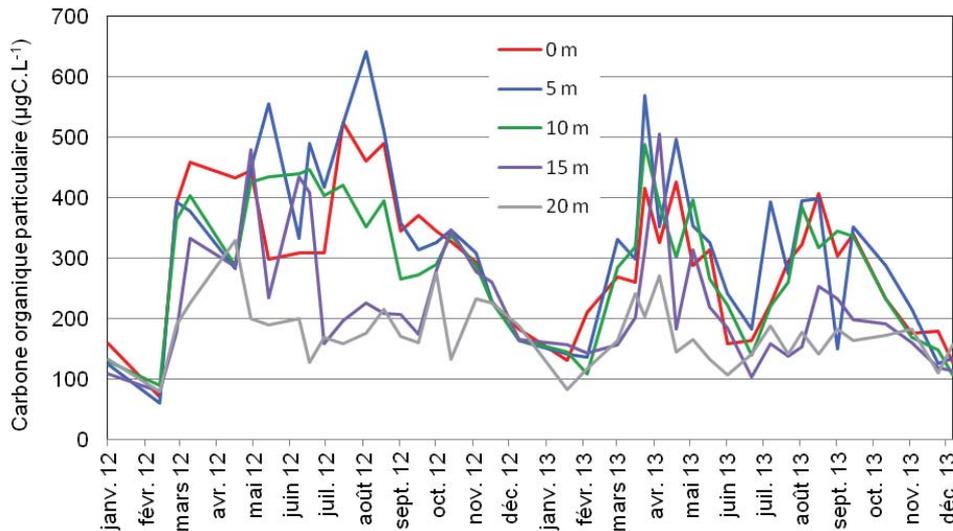
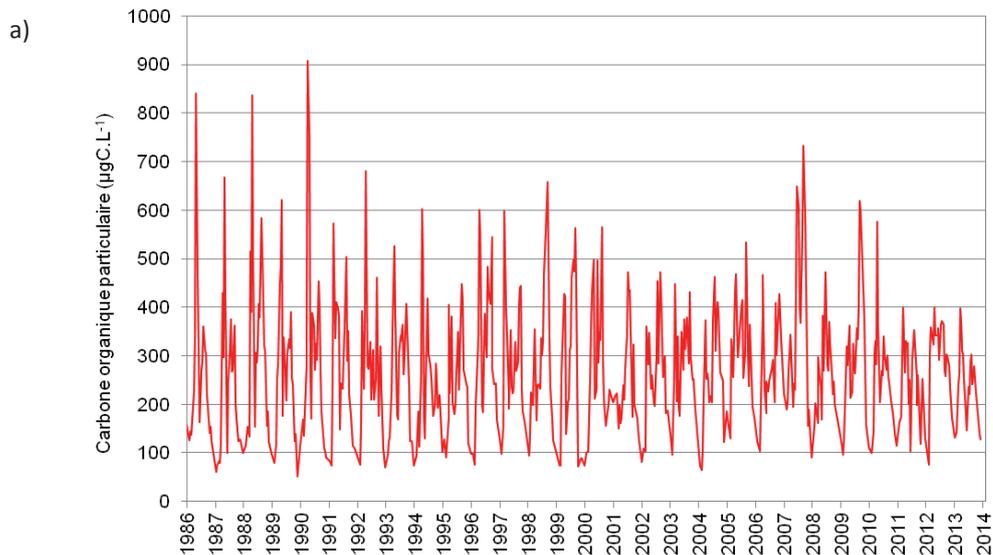


Figure 23 : Concentration en carbone organique particulaire dans l'eau des couches superficielles (0, 5, 10, 15 et 20 m), Léman - Grand Lac (SHL2).

Figure 23 : Concentration of particulate organic carbon in lake's water surface layers (0, 5, 10, 15 and 20 m), Lake Geneva - Grand Lac (SHL2).

Les figures 24a, b et c mettent respectivement en évidence la dynamique annuelle de la matière particulaire : COP, azote organique particulaire (NOP) et le phosphore particulaire (Ppart). Les concentrations de 2013 en COP, NOP et Ppart sont parmi les plus basses de la chronologie de 1986 à nos jours ce qui explique que l'activité phytoplanctonique a été faible en 2013.



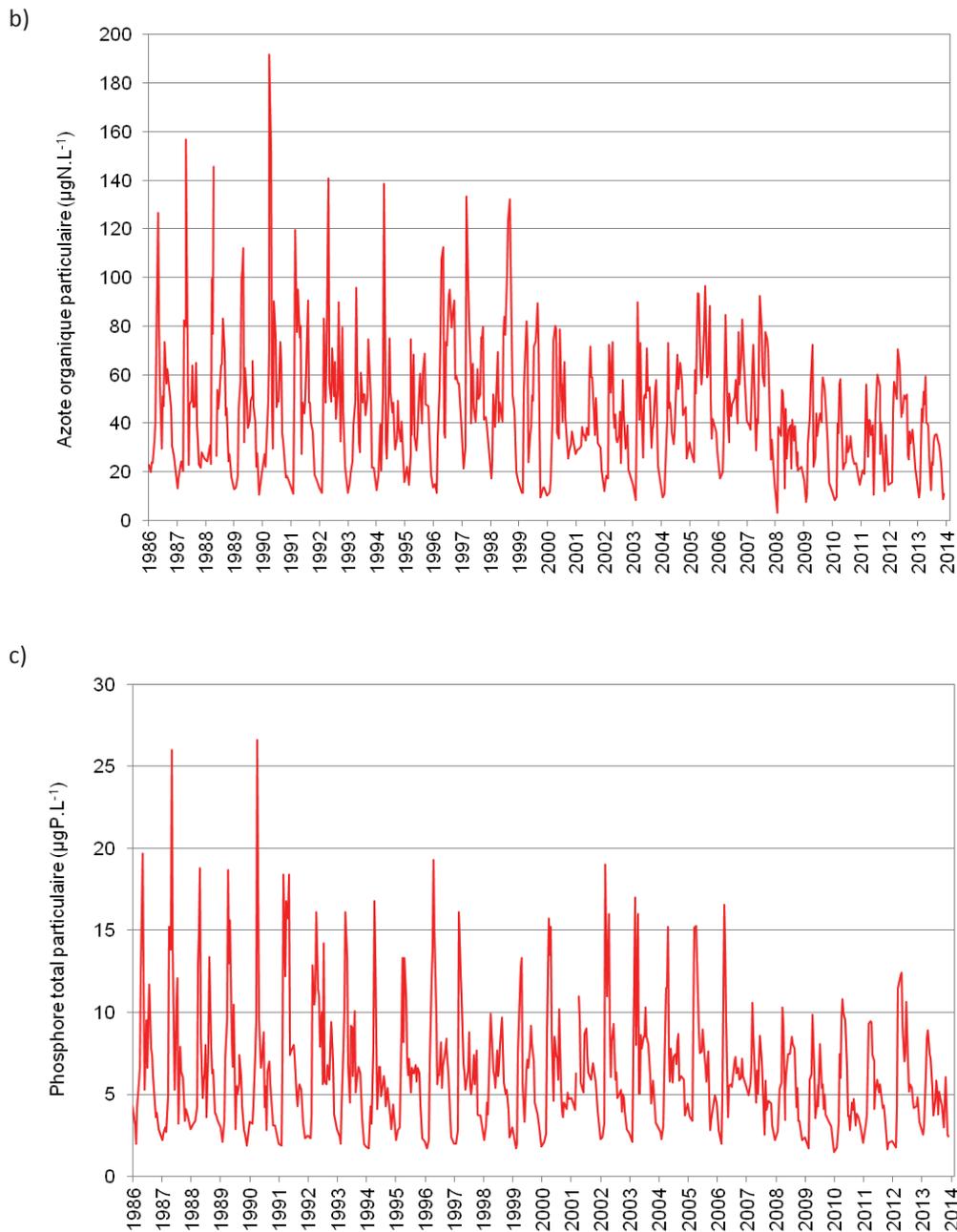


Figure 24 : Evolution de la concentration en matière particulaire dans l'eau de la couche superficielle (0-20 m) de 1986 à 2013, Léman - Grand Lac (SHL2) :
a) Carbone organique particulaire,
b) Azote organique particulaire,
c) Phosphore total particulaire

Figure 24 : Change in the concentration of particulate matter in lake's water surface layer (0-20 m) from 1986 to 2013, Lake Geneva - Grand Lac (SHL2) :
a) Particulate organic carbon,
b) Particulate organic nitrogen,
c) Particulate total phosphorus

La figure 25 traduit une carence en phosphore importante dans les cellules algales pendant la période estivale tout au long de la chronique : traditionnellement le phosphore est considéré comme limitant quand le rapport N/P est supérieur à 7, en se référant à la stœchiométrie de la réaction globale de la photosynthèse.

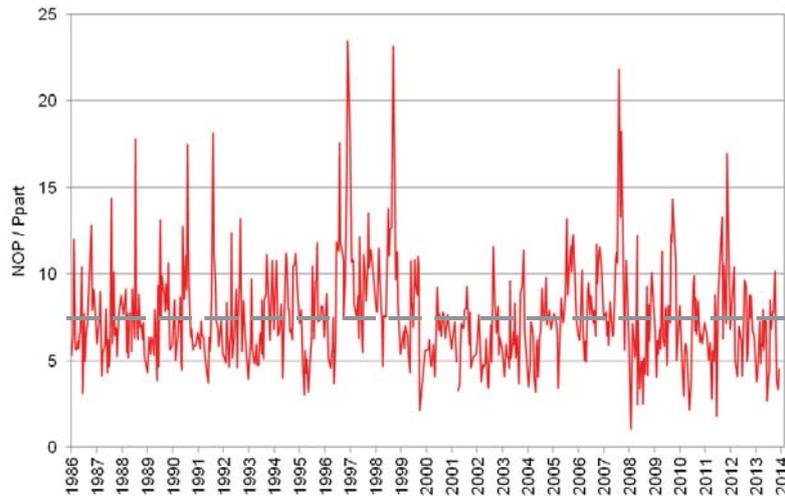
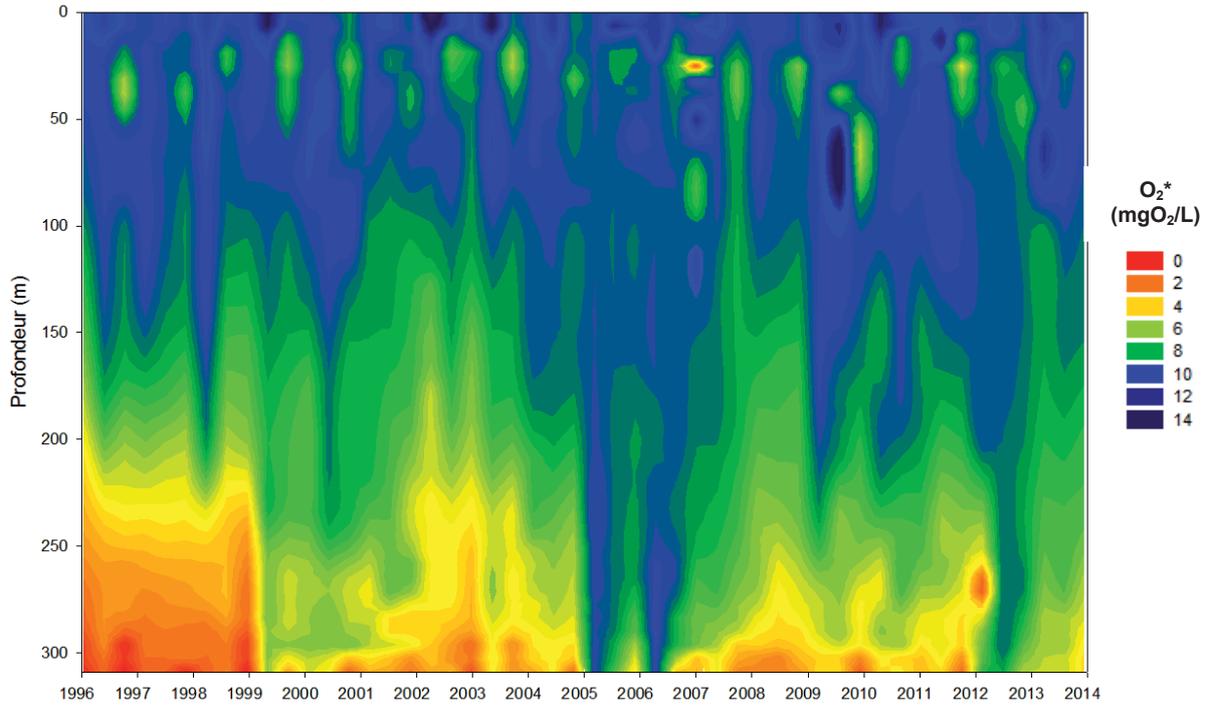


Figure 25 : Evolution du rapport NOP / Ppart dans l'eau de la couche superficielle (0-20 m) de 1986 à 2013, Léman - Grand Lac (SHL2).

Figure 25 : Change in PON / Ppart ratio in lake's water surface layer (0-20 m) from 1986 to 2013, Lake Geneva - Grand Lac (SHL2).

6. ÉVOLUTION SAISONNIÈRE DANS LES COUCHES PROFONDES

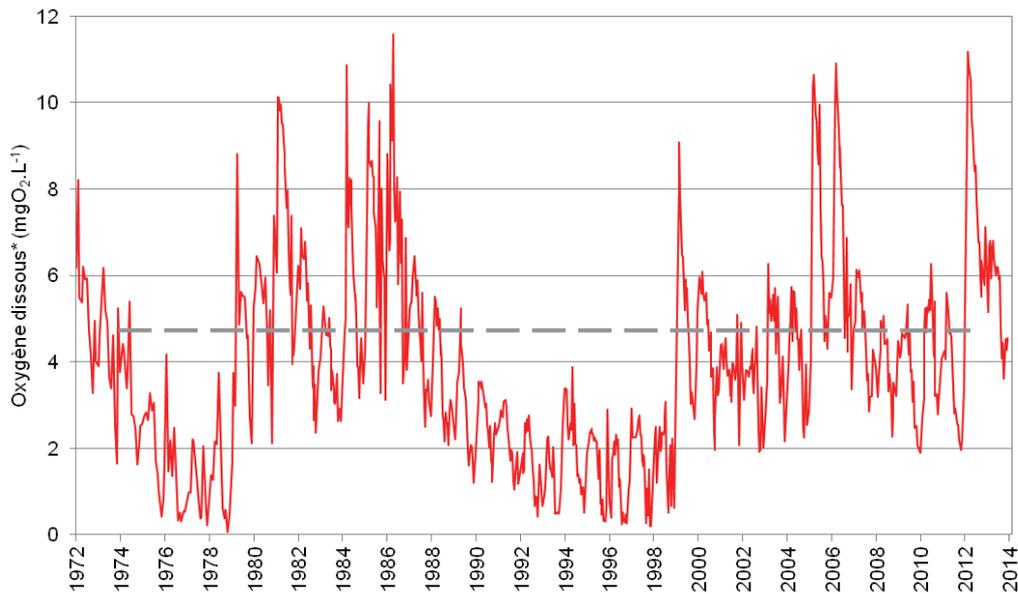
L'hiver 2013 n'a pas permis un brassage complet de la colonne d'eau contrairement à l'année précédente (Figure 26). En 2013, la concentration maximale en oxygène dissous au fond du lac est mesurée le 11 mars 2013 avec $6.64 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$ (Figure 27). La teneur en oxygène dissous à 309 m diminue ensuite de manière progressive et continue jusqu'à la fin de l'année, principalement du fait de la minéralisation de la matière organique sédimentée. Le minima est observé le 21 octobre 2013 avec $3.61 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$.



* Mesure de la concentration en oxygène dissous effectuée en laboratoire selon la méthode de Winkler à des profondeurs définies

Figure 26 : Evolution de la concentration en oxygène dissous dans les eaux du lac en fonction de la profondeur de 1996 à 2013, Léman - Grand Lac (SHL2).

Figure 26 : Change in the concentration of dissolved oxygen in lake's water as a function of the depth from 1996 to 2013, Lake Geneva - Grand Lac (SHL2).



* Mesure de la concentration en oxygène dissous effectuée en laboratoire selon la méthode de Winkler à des profondeurs définies

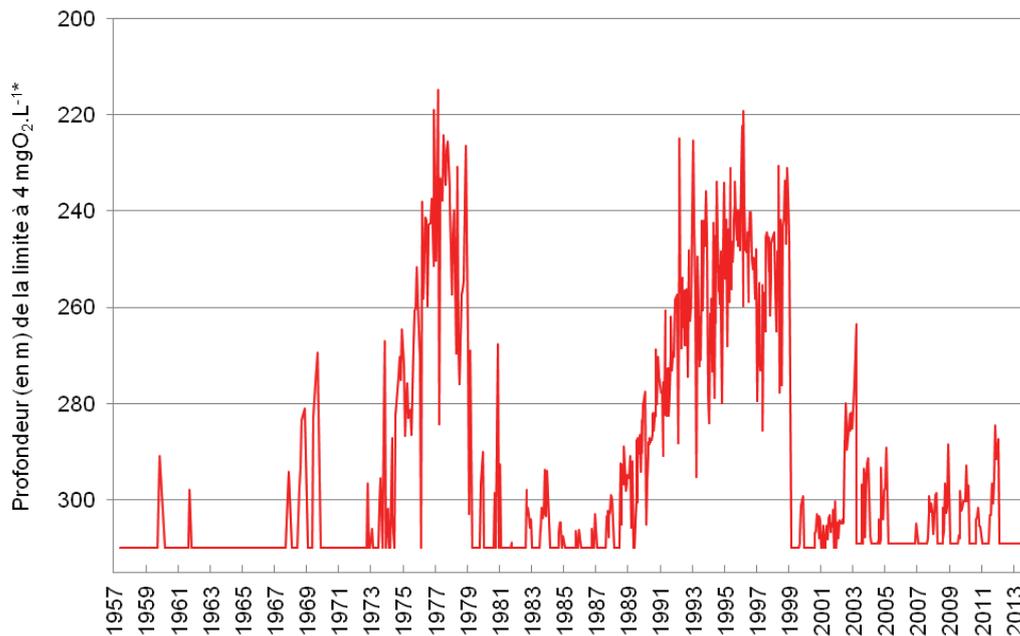
Figure 27 : Evolution de la concentration en oxygène dissous dans les eaux au fond du lac à 309 m de 1972 à 2013, Léman - Grand Lac (SHL2).

Figure 27 : Change in the concentration of dissolved oxygen in the bottom of lake's water at 309 m from 1972 to 2013, Lake Geneva - Grand Lac (SHL2).

L'Annexe 2 de l'Ordonnance suisse sur la protection des eaux (OEaux) du 28 octobre 1998 stipule que : « 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 $4 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$; elle doit en outre suffire pour que les animaux moins sensibles, tels que les vers, puissent peupler le fond du lac durant toute l'année et en nombre aussi proche que possible de la densité naturelle. Les conditions naturelles particulières sont réservées »

La figure 28 indique l'évolution de la couche d'eau de concentration inférieure à $4.0 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ de 1957 à nos jours. Depuis 1998, il y a une nette augmentation de la teneur en oxygène dissous dans les couches profondes du Léman. De plus, on note que pour les années 2012 et 2013, la couche d'eau « désoxygénée » ($< 4.0 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$) est négligeable à l'exception d'une mesure à $3.61 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ au fond du lac au mois d'octobre 2013.

La ligne pointillée sur la figure 27 indique le seuil à $4.0 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ relative aux exigences sur la qualité des eaux en Suisse.



* Mesure de la concentration en oxygène dissous effectuée en laboratoire selon la méthode de Winkler à des profondeurs définies

Figure 28 : Evolution de la profondeur de la limite à 4 mg d'oxygène dissous par litre de 1957 à 2013, Léman - Grand Lac (SHL2).

Figure 28 : Change in threshold's depth at 4 mg of dissolved oxygen per liter from 1957 to 2013, lake Geneva - Grand Lac (SHL2).

La désoxygénation des couches profondes entraîne plusieurs phénomènes propres à ces conditions réductrices : la réduction de certains métaux comme le manganèse (RAMSEIER, 2014) et le fer, la formation d'azote ammoniacal, le relargage à partir des sédiments et des eaux interstitielles de phosphore. Ces phénomènes engendrent indirectement la remise en suspension des sédiments, visible avec l'augmentation de la turbidité, et libèrent ainsi la silice présente dans les eaux interstitielles et les sédiments. Etant donné qu'il y a eu uniquement un brassage partiel de la colonne d'eau et par conséquent une réoxygénation faible des couches d'eau profondes en 2013, il devrait y avoir un relargage de phosphore au fond du lac. Cependant, les figures 29 et 30 montre des teneurs en orthophosphates dans le fond du lac guère plus élevées qu'en 2005, 2006 et 2012 après des brassages complets. Ce phénomène peut en partie être dû au fait que la concentration en oxygène dissous au fond du lac n'est jamais inférieure à $4 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ sauf ponctuellement le 21 octobre 2013 avec une valeur de $3.61 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ (Figures 27 et 28). La concentration maximale de phosphore réactif soluble est notée le 21 octobre 2013, lorsque la teneur en oxygène dissous est la plus faible, avec $50 \mu\text{gP}\cdot\text{L}^{-1}$ contre $42 \mu\text{gP}\cdot\text{L}^{-1}$ en 2012.

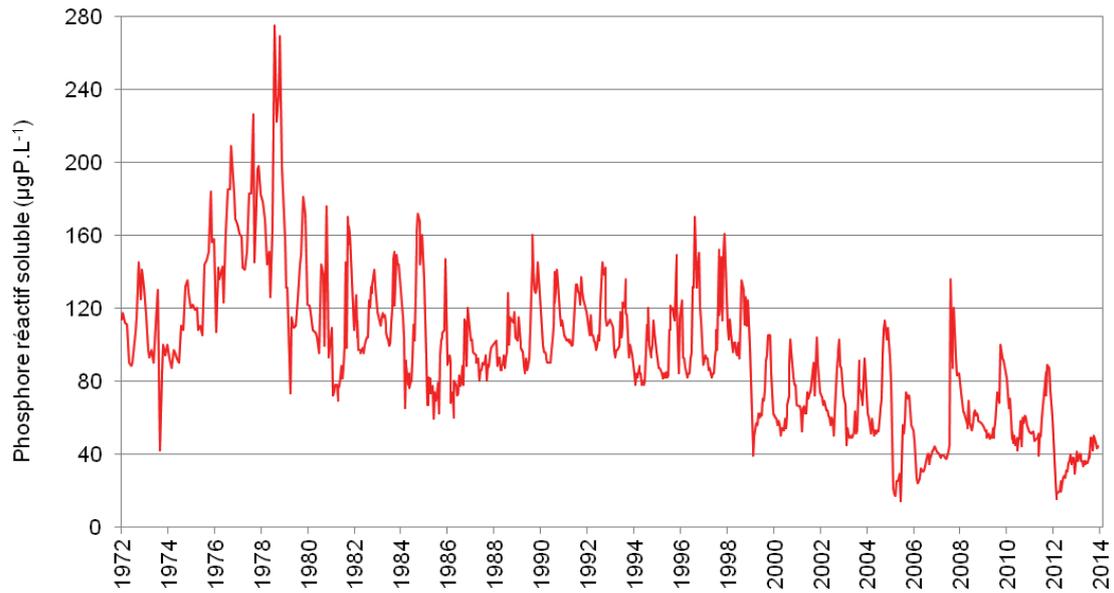


Figure 29 : Evolution de la concentration en phosphore réactif soluble ($P-PO_4^{3-}$) dans les eaux au fond du lac à 309 m de 1972 à 2013, Léman - Grand Lac (SHL2).

Figure 29 : Change in the concentration of soluble reactive phosphorus ($P-PO_4^{3-}$) in the bottom of lake's water at 309 m from 1972 to 2013, Lake Geneva - Grand Lac (SHL2).

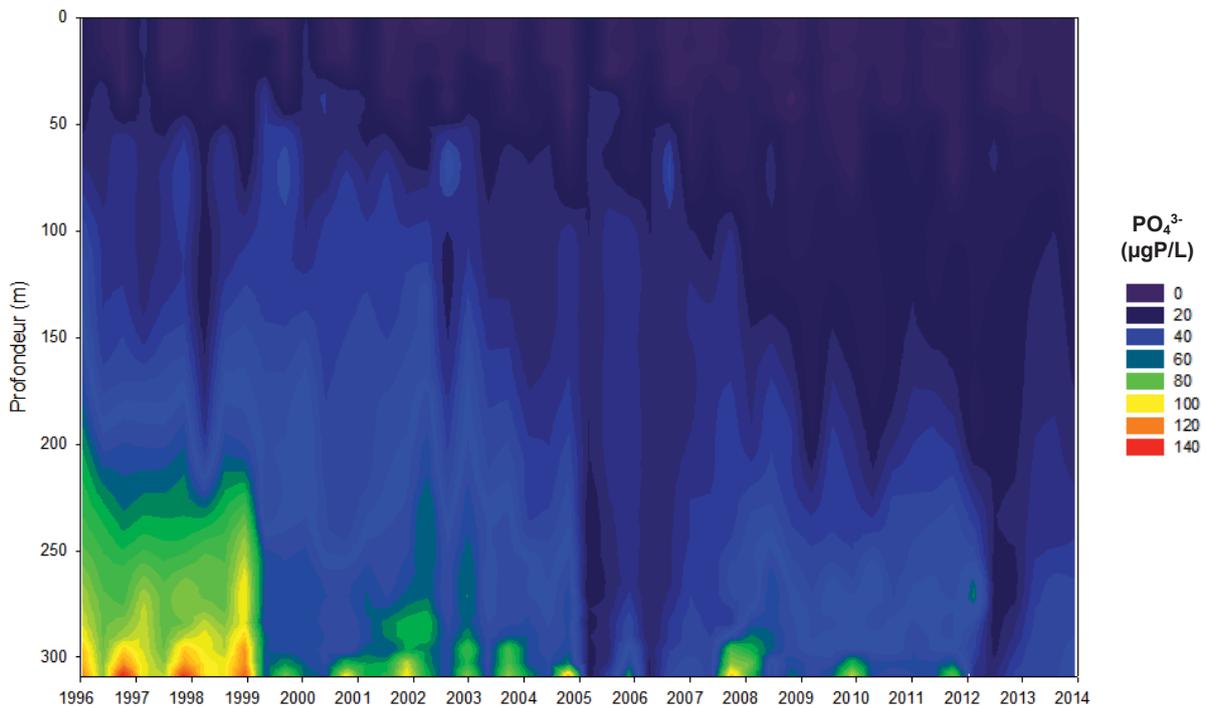


Figure 30 : Evolution de la concentration en phosphore réactif soluble ($P-PO_4^{3-}$) en fonction de la profondeur de 1996 à 2013, Léman - Grand Lac (SHL2).

Figure 30 : Change in the concentration of soluble reactive phosphorus ($P-PO_4^{3-}$) in lake's water as a function of depth from 1996 to 2013, Lake Geneva - Grand Lac (SHL2).

Tout comme pour le phosphore réactif soluble, la concentration en oxygène dissous au fond du lac n'engendre pas d'augmentation significative de la concentration en azote ammoniacal au fond du lac en 2013 par rapport à l'année 2012 (Figure 31).

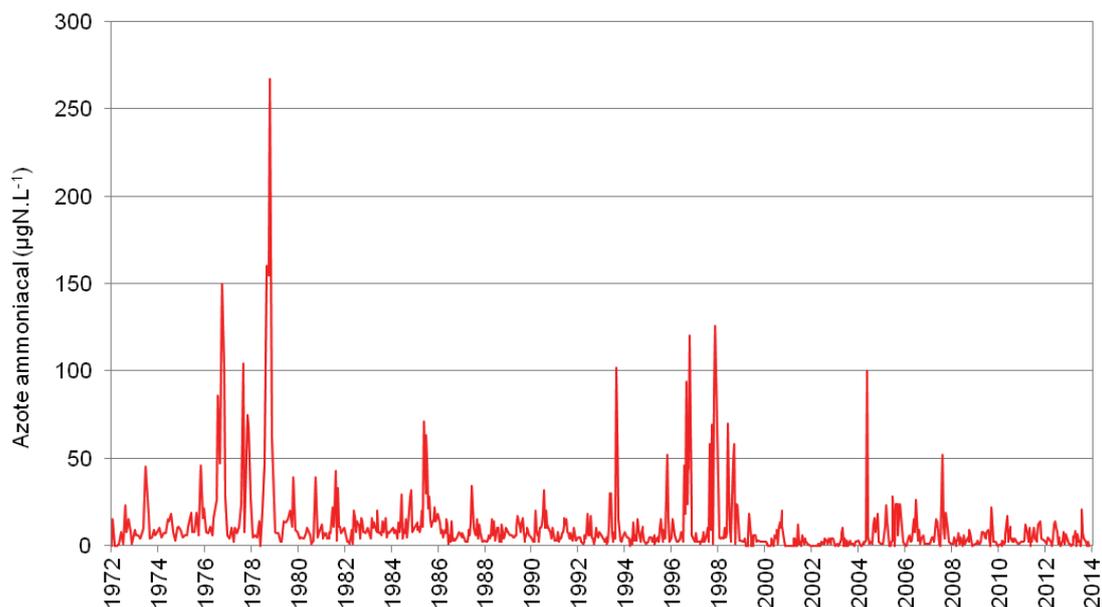


Figure 31 : Evolution de la concentration en azote ammoniacal ($N-NH_4^+$) dans les eaux au fond du lac à 309 m de 1972 à 2013, Léman - Grand Lac (SHL2).

Figure 31 : Change in the concentration of ammoniacal nitrogen ($N-NH_4^+$) in the bottom of lake's water at 309 m from 1972 to 2013, Lake Geneva - Grand Lac (SHL2).

7. ÉVOLUTION INTERANNUELLE DES PRINCIPAUX PARAMÈTRES

Les concentrations moyennes pondérées et les stocks (Annexes I et II) pour l'ensemble du Grand Lac sont calculés 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).

7.1. PHOSPHORE RÉACTIF SOLUBLE ET PHOSPHORE TOTAL

Le stock moyen en phosphore total continue de diminuer légèrement en 2013 avec 1'696 tonnes de P contre 1'853 et 1'938 en 2012 et 2011, respectivement (Figure 32). La concentration moyenne annuelle pondérée vaut, quant à elle, $19.7 \mu\text{gP}\cdot\text{L}^{-1}$.

En ce qui concerne le phosphore réactif soluble, c'est-à-dire les orthophosphates, le stock n'évolue guère en 2013 avec 1'467 tonnes de P contre 1'445 en 2012. Ainsi, la concentration moyenne annuelle pondérée est de $17.1 \mu\text{gP}\cdot\text{L}^{-1}$.

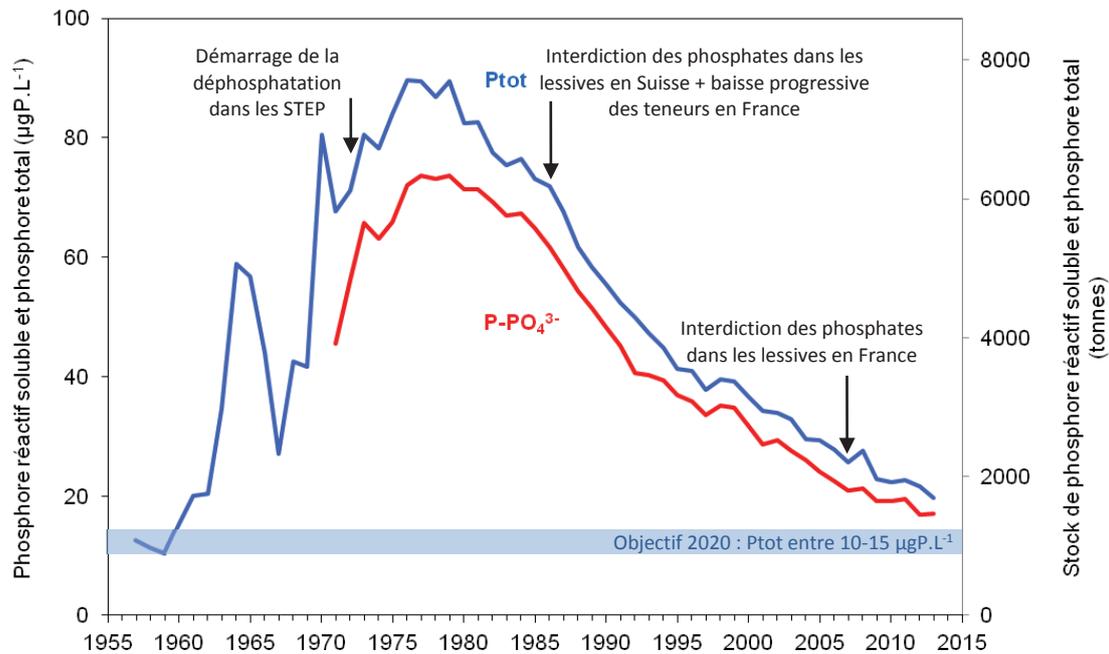


Figure 32 : Evolution de la concentration moyenne annuelle pondérée et du stock de phosphore réactif soluble et de phosphore total pour l'ensemble de la masse d'eau du lac de 1957 à 2013, Léman - Grand Lac (SHL2).

Figure 32 : Change in weighted mean annual total concentration and stock of soluble reactive phosphorus and total phosphorus in the entire mass of lake's water from 1957 to 2013, Lake Geneva - Grand Lac (SHL2).

7.2. AZOTE NITRIQUE ET AZOTE TOTAL

Les concentrations moyennes en azote total et en azote nitrique sont en nette augmentation par rapport à l'année précédente à cause de la forte pluviométrie en 2013 sur le bassin versant du Léman. En 2013, la concentration moyenne en azote total est de $625 \mu\text{gN}\cdot\text{L}^{-1}$, soit un stock de 53'708 tonnes de N. La concentration moyenne en azote nitrique, qui a connue la plus importante hausse, est égale à $592 \mu\text{gN}\cdot\text{L}^{-1}$, ce qui représente un stock de 50'939 tonnes de N contre $463 \mu\text{gN}\cdot\text{L}^{-1}$ et 39'655 tonnes en 2012 (Figure 33). Malgré tout, cette teneur en nitrates d'environ $0.59 \text{mgN}\cdot\text{L}^{-1}$, soit $2.62 \text{mgNO}_3\cdot\text{L}^{-1}$, dans les eaux du Léman reste conforme à la norme d'eau de consommation en Suisse qui édicte une valeur de tolérance de $40 \text{mgNO}_3\cdot\text{L}^{-1}$ et en France, une limite de qualité qui est de $50 \text{mgNO}_3\cdot\text{L}^{-1}$.

L'évolution du stock d'azote total et nitrique dans le Léman est relativement stable depuis les années 80. Cette tendance stationnaire s'explique par des apports du bassin versant au Léman qui n'évolue guère à cause d'une part de l'absence de progrès technique dans les STEP en matière de dénitrification et d'autre part du maintien de la fertilisation azotée des cultures (KLEIN, 2014).

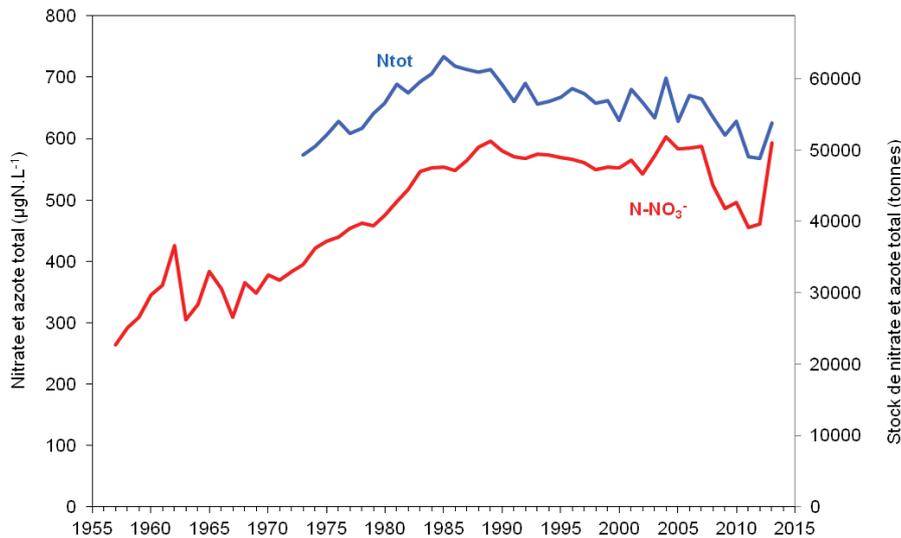


Figure 33 : Evolution de la concentration moyenne annuelle pondérée et des stocks d'azote total et d'azote nitrique pour l'ensemble de la masse d'eau du lac de 1957 à 2013, Léman - Grand Lac (SHL2).

Figure 33 : Change in the weighted mean annual total concentration and stock of total nitrogen and nitrate in the entire mass of lake's water from 1957 to 2013, Lake Geneva - Grand Lac (SHL2).

7.3. CHLORURE

Le suivi des ions chlorures dans le Léman de 1971 à nos jours montre une constante augmentation de la concentration de ce paramètre dans le Grand Lac (Figure 34). En 2013, le stock de chlorure est égal à 848'029 tonnes soit une teneur moyenne annuelle pondérée qui atteint 9.86 mgCl·L⁻¹ contre 819'208 tonnes et 9,56 mg Cl·L⁻¹, respectivement l'année précédente. Ce phénomène s'explique en majeure partie par les apports via les affluents du Léman (KLEIN, 2014) qui reflète une utilisation croissante de produits chimiques à base de chlorure dans le secteur industriel (saline, métallurgie et industrie pharmaceutique ...) et l'usage de sel de déneigement dans le bassin versant du lac (GUMY et DE ALENCASTRO, 2001).

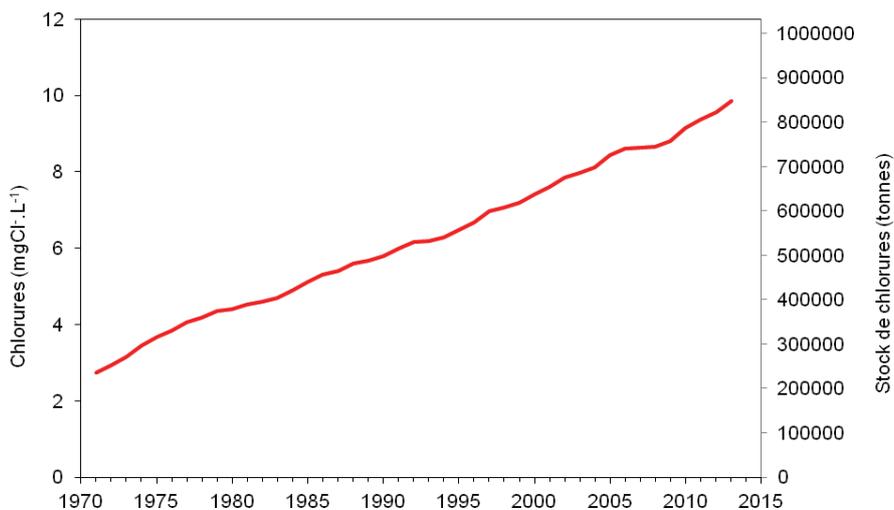


Figure 34 : Evolution de la concentration moyenne annuelle pondérée et du stock de chlorures pour l'ensemble de la masse d'eau du lac de 1971 à 2013, Léman - Grand Lac (SHL2).

Figure 34 : Change in the weighted mean annual concentration and stock of chloride in the entire mass of lake's water from 1971 to 2013, Lake Geneva - Grand Lac (SHL2).

8. CONCLUSIONS

L'année climatique 2013 sur les rives du Léman peut être considérée comme moyennement froide et pluvieuse, avec 10.2 °C et 1'219.0 mm de précipitations en moyenne d'inter-stations. L'insolation est légèrement inférieure à la moyenne 1981-2010 (1'813 h au lieu de 1'841 h). L'année 2013 peut être considérée comme faiblement venteuse. La pluviométrie exceptée, l'année 2013 s'apparente à celle de 2010. Seul le mois de février se démarque comme étant un mois sec et frais.

Les faits marquants de l'évolution physico-chimique des eaux du Léman en 2013 sont les suivants :

- L'hiver 2013 a donné lieu à un brassage partiel de la colonne d'eau jusqu'à 120 m réduisant la réoxygénation des couches d'eau profondes du Léman et la distribution des nutriments dans l'ensemble de la colonne d'eau ;
- La consommation du phosphore réactif soluble et de la silice est très importante dès le mois de mars et se poursuit tout au long de l'été 2013 jusqu'à l'état de trace dans les couches épilimniques ce qui n'est pas le cas, de l'azote nitrique qui n'est pas un facteur limitant du développement du phytoplancton ;
- Le relargage du phosphore à partir des sédiments ainsi que la réduction de l'azote nitrique en azote ammoniacal au fond du lac est faible en fin d'année 2013 et ce malgré un brassage partiel qui a occasionné qu'une réoxygénation limitée des eaux profondes ;
- En 2013, le stock d'azote nitrique équivalent à 50'939 tonnes a fortement augmenté en raison d'apports importants suite à des précipitations abondantes ayant lessivés les sols du bassin versant du Léman ;
- La concentration moyenne annuelle en phosphore total a encore légèrement diminué en 2013 avec 19.7 mgP·L⁻¹ soit un stock de 1'696 tonnes ;
- Le stock de chlorure dans le Léman continue d'augmenter et atteint 848'029 tonnes en 2013.

BIBLIOGRAPHIE

- 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.
- 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.
- KLEIN, A. (2014) Apports par les affluents au Léman et au Rhône à l'aval de Genève. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2013, 120-131.
- LAZZAROTTO, L., NIREL, P., RAPIN, F. (2011) : Evolution physico-chimique des eaux du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2011, 31-63.
- OEaux (1998) : Ordonnance sur la protection des eaux du 28 octobre 1998 (Suisse).
- RAMSEIER GENTILE, S., EDDER, P., ORTELLI, D. et KLEIN, A. (2014) : Métaux et micropolluants organiques dans les eaux du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2013, 67-80.
- PERGA, M. 2014 Zooplancton du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2013, 102-112.
- RIMET, F. (2014) Phytoplancton du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2013, 81-936.
- STRAWCZYNSKI, A. (2014) Analyses comparatives interlaboratoires. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2013, 222-235.

ANNEXES

ANNEXE I

Tableau I : Concentrations annuelles moyennes pondérées de 1957 à 2013, Léman - Grand Lac (SHL2)
 Table I : Mean annual weighted concentrations from 1957 to 2013, Lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

Année	Oxygène mg·L ⁻¹	Ptot µgP·L ⁻¹	PO ₄ ³⁻ µgP·L ⁻¹	Ntot µgN·L ⁻¹	Σ Nmin µgN·L ⁻¹	NH ₄ ⁺ µgN·L ⁻¹	NO ₂ ⁻ µgN·L ⁻¹	NO ₃ ⁻ µgN·L ⁻¹	Cl ⁻ mgCl·L ⁻¹	COP µgC·L ⁻¹	NOP µgN·L ⁻¹	Ppart µgP·L ⁻¹	Transparence ^a 12 mois mètre	Transparence ^a mai-septembre mètre
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	7.98 ^b	93.8	14.1	2.3	6.70	4.86
2004	9.10	29.5	26.1	698	609	2.0	1.3	605	8.12	94.6	14.9	2.5	7.14	5.95
2005	9.28	29.4	24.1	628	589	2.4	1.6	585	8.44	138.2	22.0	3.0	6.17	5.39
2006	9.80	27.7	22.6	671	591	2.5	1.2	587	8.61	107.5	18.6	2.4	7.01	6.57
2007	8.99	25.7	20.9	665	594	2.7	1.0	590	8.63	114.7	17.6	2.3	6.23	5.11
2008	8.86	27.6	21.4	635	531	3.3	1.5	526	8.65	103.4	11.9	2.1	8.13	6.30
2009	9.30	22.8	19.3	605	492	3.1	1.1	488	8.81	113.9	10.9	1.8	7.90	6.41
2010	9.18	22.4	19.3	628	503	3.0	2.0	498	9.15	110.0	8.7	2.0	8.22	6.41
2011	8.96	22.6	19.7	570	463	4.1	1.4	457	9.37	86.6	9.7	2.1	7.50	7.32
2012	9.25	21.6	16.9	568	471	5.4	2.5	463	9.56	99.7	10.1	2.6	5.9	4.2
2013	9.20	19.7	17.1	625	597	3.1	1.5	592	9.86	92.5	9.4	2.2	7.98	7.63

a : Disque de Secchi (noir et blanc, 20 cm)

b : valeur interpolée

ANNEXE II

Tableau II : Stocks annuels en tonnes de 1957 à 2013, Léman - Grand Lac (SHL2)

Table II : Annual total content in metric tons from 1957 to 2013, Lake Geneva - Grand Lac (SHL2)

Année	Oxygène tonnes	Ptot tonnes	P-PO ₄ ³⁻ tonnes	Σ Ntot tonnes	Nmin tonnes	N-NH ₄ ⁺ tonnes	N-NO ₂ ⁻ tonnes	N-NO ₃ ⁻ tonnes	Cl ⁻ tonnes	COP tonnes	Ppart tonnes	NOP 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	684'220 ^b	8'034	200	1'205
2004	779'535	2'530	2'235	59'790	52'161	174	107	51'880	696'130	8'108	217	1'280
2005	795'590	2'520	2'065	53'820	50'453	210	133	50'110	722'920	11'840	253	1'888
2006	839'395	2'370	1'940	57'460	50'589	211	98	50'280	738'040	9'210	204	1'594
2007	770'580	2'205	1'795	57'010	50'890	232	88	50'570	739'090	9'826	198	1'506
2008	759'470	2'370	1'835	54'420	45'464	285	129	45'050	740'860	8'864	177	1'018
2009	797'005	1'955	1'650	51'860	42'189	262	97	41'830	754'990	9'761	154	935
2010	787'035	1'915	1'650	53'710	43'143	258	175	42'710	784'240	9'429	175	749
2011	767'596	1'938	1'684	48'805	39'667	355	116	39'196	802'776	7'424	176	832
2012	792'869	1'853	1'445	48'710	40'330	463	212	39'655	819'208	8'575	224	868
2013	790'941	1'696	1'467	53'708	51'342	270	133	50'939	848'029	7'952	191	808

b : valeur interpolée

Tableau III : Incertitudes élargies des principales analyses physico-chimiques
Table III : Expanded uncertainties of main physico-chemical analysis

Paramètre	Unité	Incertitude élargie * U (%)
pH		0.5
TAC	meq·L ⁻¹	1
χ	S·cm ⁻¹	2
NO ₃ ⁻	µgN·L ⁻¹	6
NO ₂ ⁻	µgN·L ⁻¹	8
NH ₄ ⁺	µgN·L ⁻¹	6
Ntot	µgN·L ⁻¹	9
NOP	µgN·L ⁻¹	4
PO ₄ ³⁻	µgP·L ⁻¹	8
Ptot	µgP·L ⁻¹	9
Ppart	µgP·L ⁻¹	9
COP	µgC·L ⁻¹	5
Cl ⁻	mgCl ⁻ ·L ⁻¹	4
SiO ₂	mgSiO ₂ ·L ⁻¹	3

* Incertitudes calculées avec la validation des méthodes pour des valeurs proches de celles observées sur les échantillons de SHL2 avec un facteur d'élargissement de 2

ANNEXE IV

Tableau IV : Comparaison de la transparence entre le disque de Secchi « INRA » (disque blanc d'un diamètre de 30 cm) et normalisé (disque noir et blanc, 20 cm) de mi-2009 à 2013, Léman - Grand Lac (SHL2).

Table IV : Comparison of transparency between « INRA » Secchi disk (white disk at 30 cm of diameter) and normalized (black and white, 20 cm), Lake Geneva - Grand Lac (SHL2).

date	Transparence Disque de Secchi (blanc, 30 cm) mètres	Transparence Disque de Secchi (noir et blanc, 20 cm) mètres
18/06/2009	7,5	7,5
29/06/2009	6	6
06/07/2009	6,8	6,1
20/07/2009	6,3	5,2
13/08/2009	6,3	5,7
31/08/2009	7,9	6,9
09/09/2009	4,3	3,5
21/09/2009	3,5	3
06/10/2009	3,6	3
16/11/2009	10	8
07/12/2009	10	8,8
19/01/2010	12,7	10,5
24/02/2010	12,1	9,5
17/03/2010	9,7	8,4
29/03/2010	4,3	3,6
06/04/2010	6,3	6
19/04/2010	3,1	2,6
03/05/2010	2,3	2
17/05/2010	3,4	3
09/06/2010	10,1	9
28/06/2010	5,3	4,4
13/07/2010	9,3	8,5
28/07/2010	5,8	5
09/08/2010	8,7	7,7
26/08/2010	6,7	5,6
07/09/2010	5,4	4,5
20/09/2010	7,1	5,5
07/10/2010	7,2	6,4
28/10/2010	10,7	8,4
18/11/2010	9,6	8
08/12/2010	11,3	8,6
10/01/2011	10,5	9,8
14/02/2011	8,2	6
08/03/2011	10,3	8,5
28/03/2011	2,3	2
18/04/2011	2,6	2,4
02/05/2011	5,1	4,5
11/05/2011	7,3	6,4
30/05/2011	10,3	9,5
07/06/2011	7	6,6
21/06/2011	9,3	8
04/07/2011	7,2	6,6
27/07/2011	5,6	4,5
16/08/2011	6	5,5
22/09/2011	6,5	5,8
28/09/2011	8,9	8,1

date	Transparence Disque de Secchi (blanc, 30 cm) mètres	Transparence Disque de Secchi (noir et blanc, 20 cm) mètres
10/10/2011	6	5,8
16/11/2011	11,6	11
29/11/2011	10,3	8,4
22/12/2011	13,2	11
11/01/2012	11,8	10
23/02/2012	15	13,5
08/03/2012	9,8	8,8
19/03/2012	4,6	4,3
26/04/2012	3,9	3,4
09/05/2012	3,4	2,9
24/05/2012	2,6	2,4
18/06/2012	6,2	5,7
27/06/2012	4,7	4,5
09/07/2012	2,8	2,6
25/07/2012	3,2	2,6
13/08/2012	4	3,5
28/08/2012	5,6	5,2
11/09/2012	6,1	5,5
26/09/2012	8,2	7,5
11/10/2012	7,9	7,3
23/10/2012	6,1	5,5
13/11/2012	8,2	6,7
26/11/2012	8,5	7,3
19/12/2012	11	9,6
28/01/2013	11,1	10,5
14/02/2013	12,2	9,8
11/03/2013	8,3	7,4
18/03/2013	7,7	7
26/03/2013	6,2	4,5
03/04/2013	5,3	4,2
08/04/2013	4,6	3,4
15/04/2013	4,7	3
22/04/2013	6	5
29/04/2013	3,7	3,4
07/05/2013	4,1	3,4
13/05/2013	4,8	3,7
23/05/2013	6,95	6
27/05/2013	7,2	6,7
06/06/2013	10,6	9,8
11/06/2013	9,8	9,2
01/07/2013	9,9	9,1
17/07/2013	9,2	8,1
01/08/2013	8,7	7,4
12/08/2013	6,5	5,8
26/08/2013	6,8	5,6
11/09/2013	6,3	5,2
24/09/2013	6,7	6,2
21/10/2013	10,4	8,7
12/11/2013	6,9	6
04/12/2013	12,1	11,3
16/12/2013	14,5	13,6

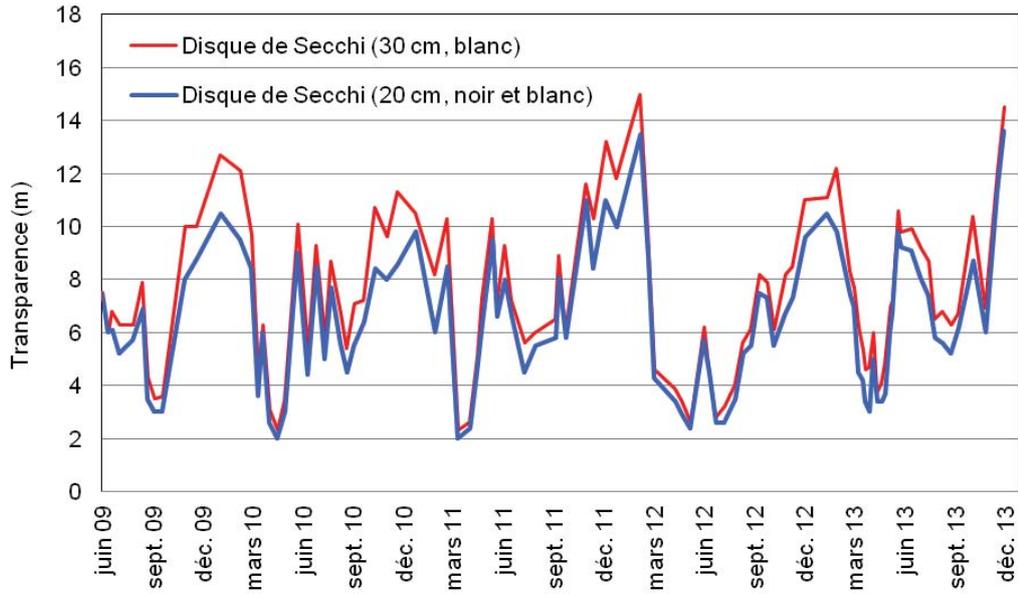


Figure IV.1 : Représentation graphique de la comparaison entre la mesure de la transparence avec le disque de Secchi « INRA » (disque blanc d'un diamètre de 30 cm) et normalisé (disque noir et blanc, 20 cm) de mi-2009 à 2013, Léman - Grand Lac (SHL2).

Figure IV.1 : Graph of comparison between transparency measurement with « INRA » Secchi disk (white disk at 30 cm of diameter) and normalized (black and white, 20 cm), Lake Geneva - Grand Lac (SHL2).

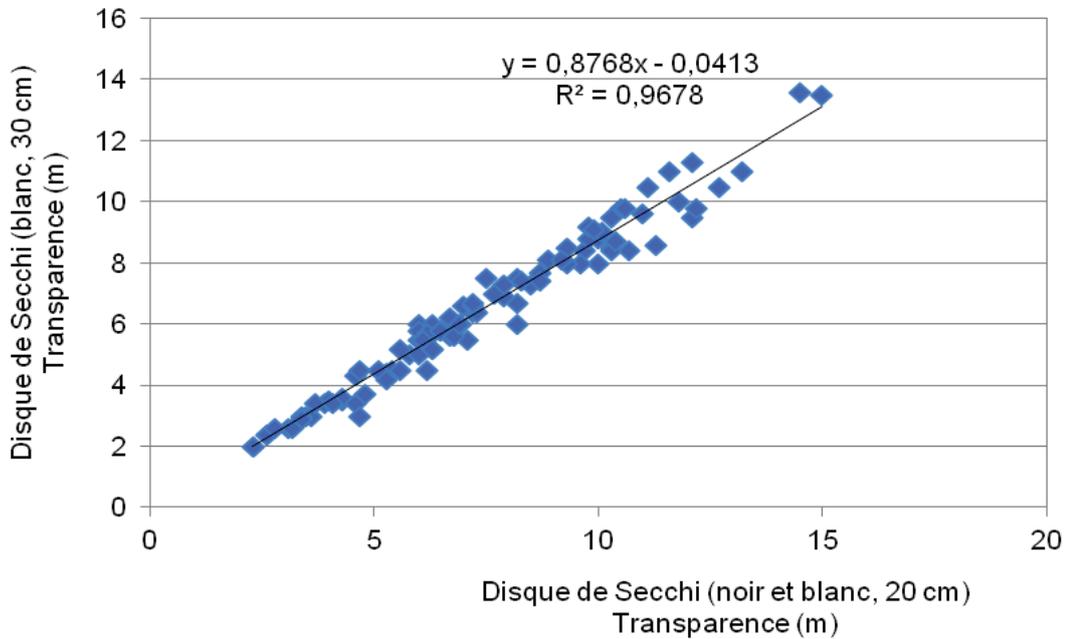


Figure IV.2 : Régression linéaire entre la mesure de la transparence avec le disque de Secchi « INRA » (disque blanc d'un diamètre de 30 cm) et normalisé (disque noir et blanc, 20 cm) de mi-2009 à 2013, Léman - Grand Lac (SHL2).

Figure IV.2 : Linear regression between the transparency measurement with « INRA » Secchi disk (white disk at 30 cm of diameter) and normalized (black and white, 20 cm), Lake Geneva - Grand Lac (SHL2).