

**RAPPORTS SUR LES  
ÉTUDES ET RECHERCHES ENTREPRISES  
DANS LE BASSIN LÉMANIQUE**

**Campagne 2012**

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

## PHYSICAL-CHEMICAL CHANGES IN THE WATERS OF LAKE GENEVA (MAJOR-ELEMENTS)

CAMPAGNE 2012

PAR

**Jérôme LAZZAROTTO et Philippe QUETIN**

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

**Audrey KLEIN**

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

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

### RÉSUMÉ

*Les conditions météorologiques de l'année 2012 montrent que l'année 2012 peut être considérée comme une année moyennement chaude avec une température moyenne annuelle inter-stations de 11.1°C.. La moyenne inter-stations des précipitations est de 1'092.3 mm, ce qui classe le total annuel au 8e rang de la chronologie 1981-2012. L'année 2012 présente un excédent de 8.5% par rapport à la normale 1981 - 2010. Concernant l'insolation, l'année 2012 a une moyenne inter-stations de 2'008 h et se classe au 6e rang de la période 1981-2012. La moyenne inter-stations pour le rayonnement global pour l'année 2012 est de 13.0 MJ·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>. L'année 2012 est moyennement venteuse.*

*L'hiver 2011-2012 a été exceptionnellement froid et suffisamment venteux pour entraîner un brassage complet de la colonne d'eau. Ce brassage a permis la redistribution des nutriments dans les couches superficielles ainsi qu'une réoxygénation complète des couches inférieures.*

*Dès la campagne suivant le brassage, à la fin du mois de mars, la reprise de l'activité phytoplanctonique printanière entraîne la baisse des nutriments et l'augmentation de la matière organique particulaire. Cette activité phytoplanctonique continue de manière importante jusqu'au mois de novembre, sans phase des eaux claires significative.*

*La réoxygénation complète de la colonne d'eau a très fortement limité le relargage du phosphore et de l'azote ammoniacal au fond du lac.*

*Comme en 2011, les concentrations moyennes en azote total et en azote nitrique sont les plus faibles observées dans le lac depuis les années 1980 et sont bien inférieures aux normes pour l'eau potable.*

*Le stock en chlorure continue son augmentation et la concentration moyenne annuelle se rapproche des teneurs moyennes des apports par les affluents du Léman.*

*Enfin, le stock en phosphore total est légèrement plus faible que les années précédentes (1'853 tonnes en 2012) et la concentration moyenne est de 21.6 µg.L<sup>-1</sup>. L'objectif visé pour 2020 est d'atteindre une concentration entre 10 et 15 µg.L<sup>-1</sup>.*

ABSTRACT

*Weather conditions in 2012 show that the year 2012 can be classified as a moderately hot year, with a mean annual inter-station temperature of 11.1°C. The inter-station mean rainfall was 1'092.3 mm, which ranks the annual total in 8th place for the period 1981-2012. The year 2012 was 8.5% higher than the average value for 1981 - 2010. With regard to insolation, the annual interstation mean for 2012 was 2'008 h, which ranks 6th for the period 1981-2012. The inter-station mean for total insolation for the year 2012 was 13.0 MJ·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>. 2012 was a moderately windy year.*

*The winter of 2011-2012 was exceptionally cold and sufficiently windy to produce complete churning of the water column. This churning redistributed the nutrients in the surface layers, and also resulted in complete reoxygenation of the lower layers.*

*From the sampling campaign that followed churning to the end of the month of March, the resumption of springtime phytoplankton activity led to a decrease in nutrients and an increase in particulate organic matter. This phytoplankton activity continued at a high level until the month of November, without any significant clear water phase.*

*The complete reoxygenation of the water column very markedly limited the release of phosphorus and ammoniacal nitrogen from the lake bottom.*

*As in 2011, the mean concentrations of total nitrogen and nitric nitrogen were the lowest that had been seen in the lake since the 1980s, and were well below the standards required for drinking water.*

*The chloride content continued to rise and the mean annual concentration is approaching the mean levels in the inflows from the tributaries of Lake Geneva.*

*Finally, the total phosphorus content was slightly lower than in previous years (1'853 metric tonnes in 2012) and its mean concentration was 21.6 µg.L<sup>-1</sup>. The target for 2020 is a concentration of between 10 and 15 µg.L<sup>-1</sup>.*

## 1. INTRODUCTION

Ce rapport traite de l'étude du Grand Lac à la station SHL2 et présente les résultats et l'évolution de 13 paramètres physico-chimiques (oxygène dissous, phosphore total, orthophosphate, phosphore particulaire, azote total, azote ammoniacal, nitrate, nitrite, azote 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.*, 2012).

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 2012 (température de l'air, pluviométrie, insolation, rayonnement global et vents) est intégrée à ce rapport et figure en annexe 4 du présent rapport. Cette annexe prend en compte les données des quatre stations météorologiques de Genève-Cointrin, Changins, Pully et Thonon-INRA.

## 2. MÉTHODES

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).

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 1 et 2).

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

Profondeurs et fréquence d'échantillonnage - station SHL2 (Grand 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 20 campagnes de prélèvements en 2012, réparties selon les dates indiquées dans le Tableau 1.

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 2012 par les différents laboratoires sont concordants (STRAWCZYNSKI, 2013). Les analyses sont validées par des cartes de contrôle de justesse et de répétabilité. Les incertitudes élargies des méthodes sont indiquées dans l'Annexe 3.

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 multiparamètres 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 (blanc de 30 cm de diamètre). La figure 2 représente deux profils de sonde effectués à deux périodes distinctes : le 19 mars 2012 lors du brassage et le 13 août 2012 alors que l'activité phytoplanctonique est importante.

Tableau 1 : Dates des campagnes de prélèvement à la station SHL2 (Grand Lac).  
Table 1 : Dates of the sampling campaigns at the station SHL2 (Grand Lac).

Campagne n°	Date	Campagne n°	Date
1	11.01.2012	11	25.07.2012
2	23.02.2012	12	13.08.2012
3	08.03.2012	13	28.08.2012
4	19.03.2012	14	11.09.2012
5	26.04.2012	15	26.09.2012
6	09.05.2012	16	11.10.2012
7	24.05.2012	17	23.10.2012
8	18.06.2012	18	13.11.2012
9	27.06.2012	19	26.11.2012
10	09.07.2012	20	19.12.2012

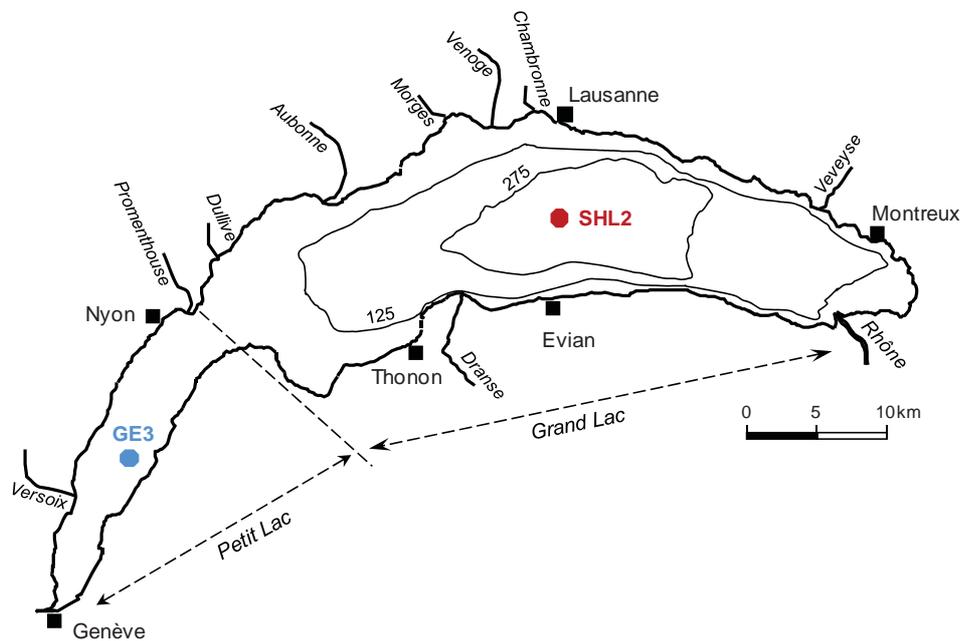


Figure 1 : Situation des points de prélèvement.  
Figure 1 : Location of the sampling stations.

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

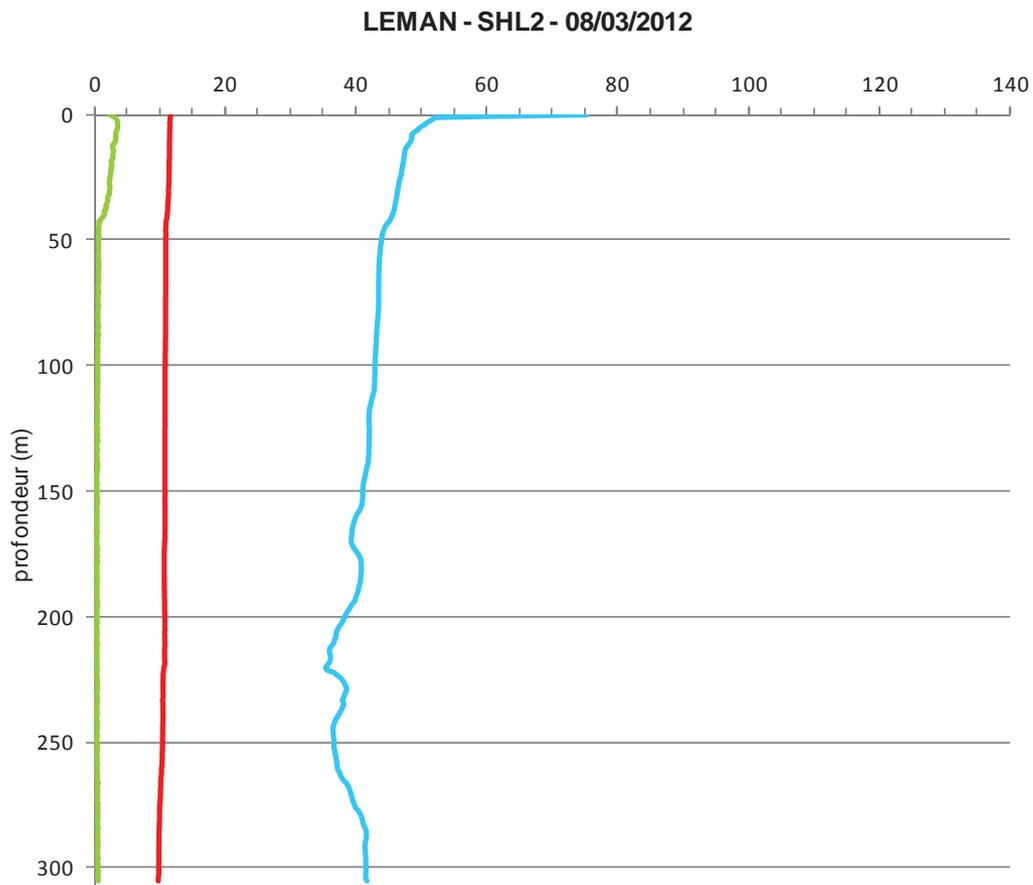
En 2012, la température moyenne annuelle de l'air inter-stations est de 11.1°C, soit dans la normale de la période 1980 – 2010, dont la moyenne est à 10.8 °C. L'année 2012 se distingue principalement de la chronique avec un mois de février particulièrement froid : la moyenne inter-stations de février est de -1.6 °C alors que la moyenne inter-station de février de 1981 à 2010 est de 2.9 °C. Le mois de février a aussi présenté des vents forts plus importants que la moyenne bidécennale (annexe 4).

Ces conditions exceptionnelles ont permis un brassage complet de la colonne d'eau entre le mois de février et le mois de mars. Nous n'avions pas observé de brassage complet depuis 2006.

Début mars, nous observons que la température du fond du lac est descendue à 5.1 °C, soit 0.4 °C de moins que les années précédentes, et que la réoxygénation est complète avec 11.2 mgO<sub>2</sub>/L au fond du lac. Le fond du lac n'avait pas atteint une telle température depuis plus de 20 ans (figure 3).

Dès la campagne suivante, le 19 mars 2012, les couches superficielles se réchauffent et la stratification se met en place. Le maximum de température est observé en surface le 28 août avec 22.5°C.

Les figures 3 à 6 représentent l'évolution saisonnière et interannuelle de la température des eaux du lac.



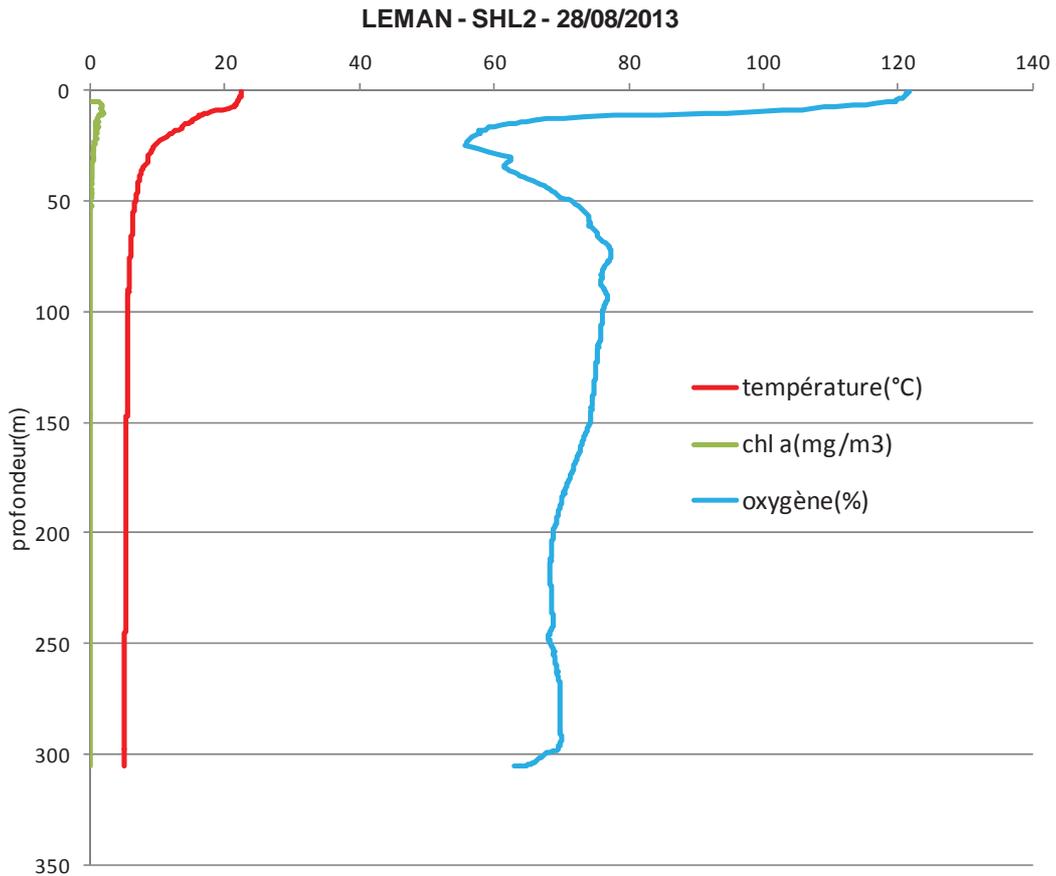


Figure 2 : Profil physico-chimique réalisé à la station SHL2 à l'aide de la sonde multiparamètres lors du brassage (08.03.2012) et lors de la stratification thermique (28.08.2012).  
Figure 2 : Multi-parameter Water Quality Logger profile at SHL2 : 08.03.2012 and 28.08.2012.

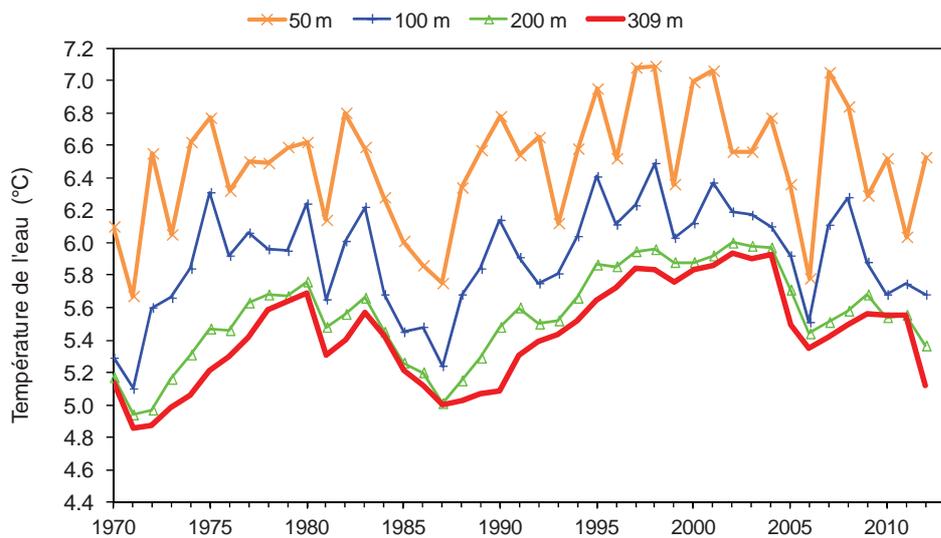


Figure 3 : Evolution de la température moyenne de l'eau aux profondeurs 50, 100, 200 et 309 mètres dans le Léman – Grand Lac (SHL2).  
Figure 3 : Change in the mean annual water temperature at depths of 50, 100, 200 and 309 meters, lake Geneva – Grand Lac (SHL2).

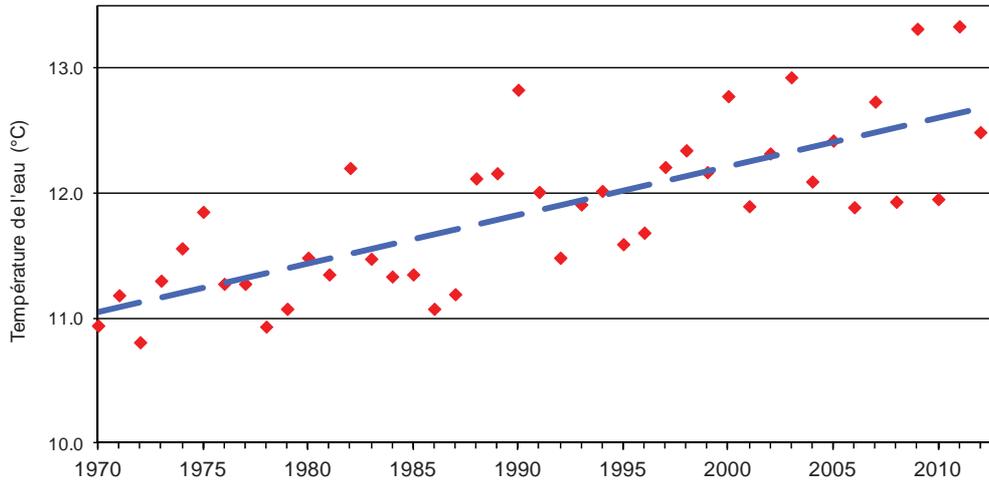


Figure 4 : Evolution de la température moyenne annuelle de l'eau du Léman à 5 mètres de profondeur – Grand Lac (SHL2).

Figure 4 : Change in the mean annual water temperature of lake Geneva at a depth of 5 meters – Grand Lac (SHL2).

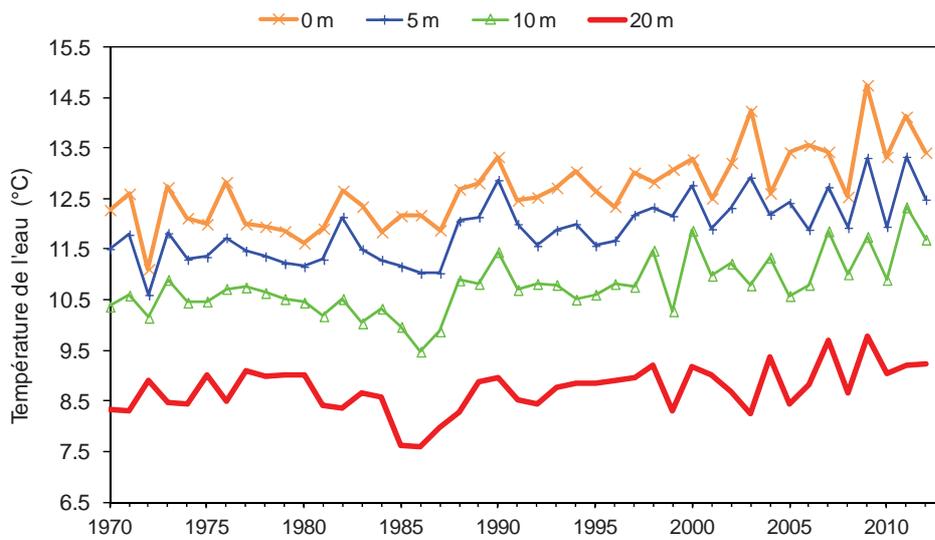


Figure 5 : Température de l'eau des couches superficielles (0, 5, 10, 15 et 20 m) Léman – Grand Lac (SHL2).

Figure 5 : Temperature of the water in the surface layers (0, 5, 10, 15 et 20 m) Lake Geneva – Grand Lac (SHL2).

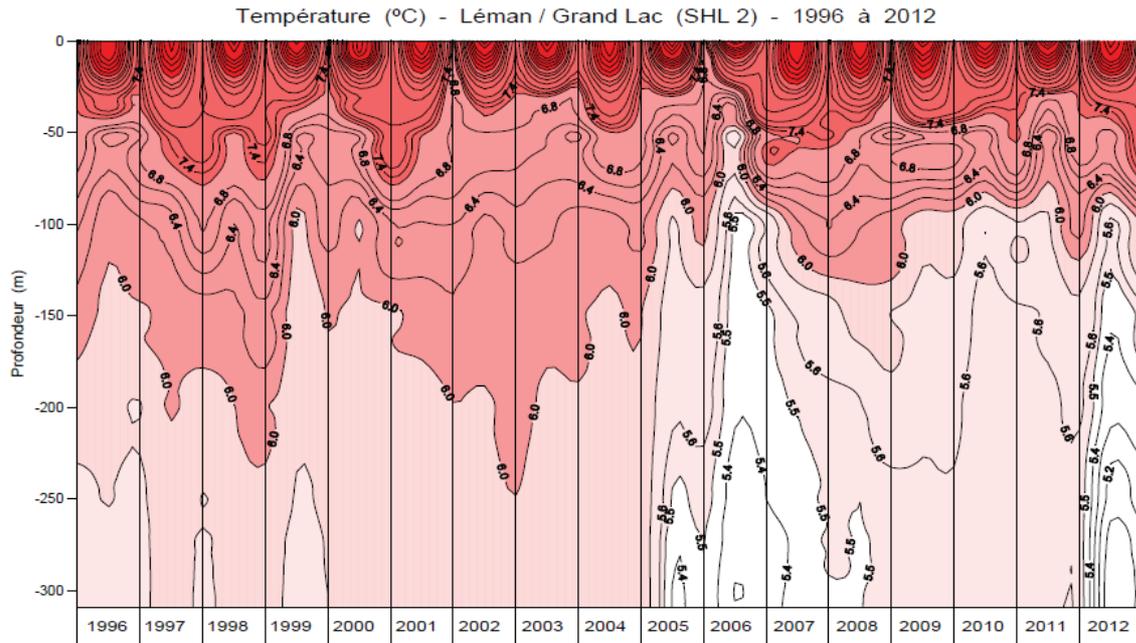


Figure 6 : Température des eaux de Léman (Grand Lac – SHL2) en fonction de la profondeur de 1996 à 2012.

Figure 6 : Water temperature in lake Geneva (Grand Lac – SHL2) as a function of depth from 1996 to 2012.

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

Chaque année, le brassage 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 particulièrement froid de 2012 a permis un brassage complet. Les nutriments ont été redistribués de manière homogène tout le long de la colonne d'eau.

##### 4.1 Phosphore total et orthophosphate

Lors du brassage des eaux, la concentration en orthophosphate (phosphore réactif soluble) est homogène dans la colonne d'eau avec une moyenne de  $17 \mu\text{gP}\cdot\text{L}^{-1}$  le 8 mars 2012. Cette concentration diminue immédiatement jusqu'à 20 m dès la campagne suivante (le 19 mars 2012).

Malgré le brassage complet, la concentration de phosphore remis à disposition n'est pas significativement plus importante que les années précédentes. En effet, étant donné que fin 2011, le fond du lac n'était pas très désoxygéné et avait une concentration limitée en phosphore relargué, le brassage complet de 2012 n'a pas distribué de grandes quantités de phosphore, à la différence d'autres brassages complets faisant suite à une période de forte désoxygénation du fond du lac.

La figure 7 permet d'observer la consommation des ions orthophosphate consécutive à l'activité phytoplanctonique printanière. Les couches superficielles s'appauvrissent rapidement en orthophosphate pour atteindre l'état de trace au mois de juin jusqu'à la fin de l'année. L'épaisseur de la couche « déphosphatée » augmente au cours de l'année pour atteindre 50 m en décembre avec des concentrations traces de l'ordre de  $4 \mu\text{gP}\cdot\text{L}^{-1}$ .

A noter que depuis 2007, l'appauvrissement en orthophosphate dans les couches superficielles, est significativement plus important qu'entre 1996 et 2006 (figure 8).

La figure 9 représente l'évolution depuis 1996 du stock en phosphore total et en orthophosphate dans les couches 0-5 m et 0-30 m au moment du brassage printanier, soit dans les couches où il est disponible pour l'activité phytoplanctonique. Le stock en orthophosphate, directement biodisponible, est légèrement plus élevé que l'année précédente du fait du brassage, mais du même ordre que les trois dernières années. Tout comme la profondeur de la couche déphosphatée, nous observons bien la différence entre les années avant et après 2007.

Cette évolution est dépendante de l'intensité des brassages de l'année en cours et de l'année précédente, mais n'est pas affectée directement par le phénomène de relargage. Par ailleurs, le stock de phosphore biodisponible dans les couches superficielles ne présente pas la même dynamique d'évolution que celle du phosphore total sur toute la colonne d'eau. Notons que l'activité phytoplanctonique est quant à elle influencée par le stock en phosphore biodisponible des couches superficielles.

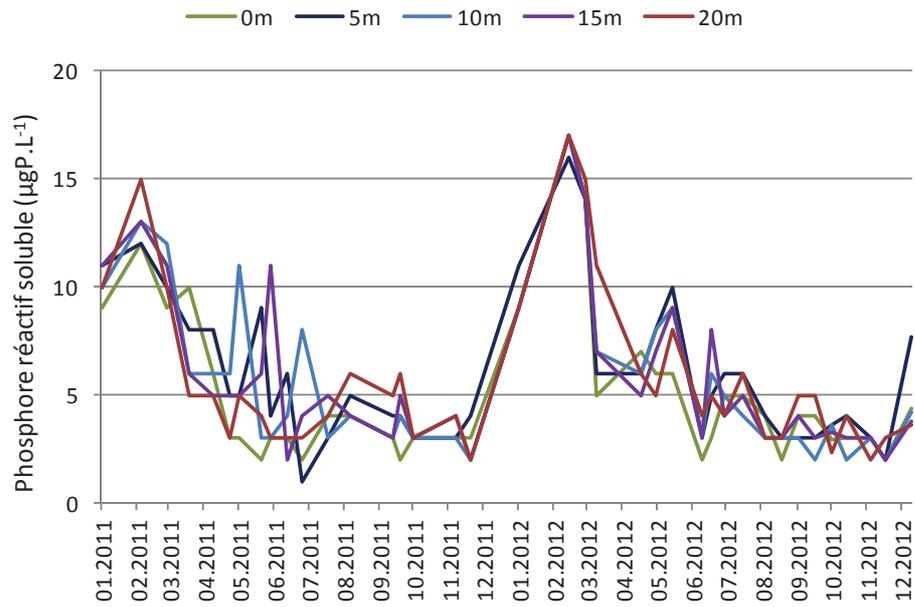


Figure 7 : Concentration en phosphore réactif soluble ( $P-PO_4^{3-}$ ) des eaux des couches superficielles (0, 5, 10, 15 et 20 m), Léman – Grand Lac (SHL2).

Figure 7 : Concentration of soluble reactive phosphorus ( $P-PO_4^{3-}$ ) in the water in the surface layers (0, 5, 10, 15 and 20 m), Lake Geneva – Grand Lac (SHL2).

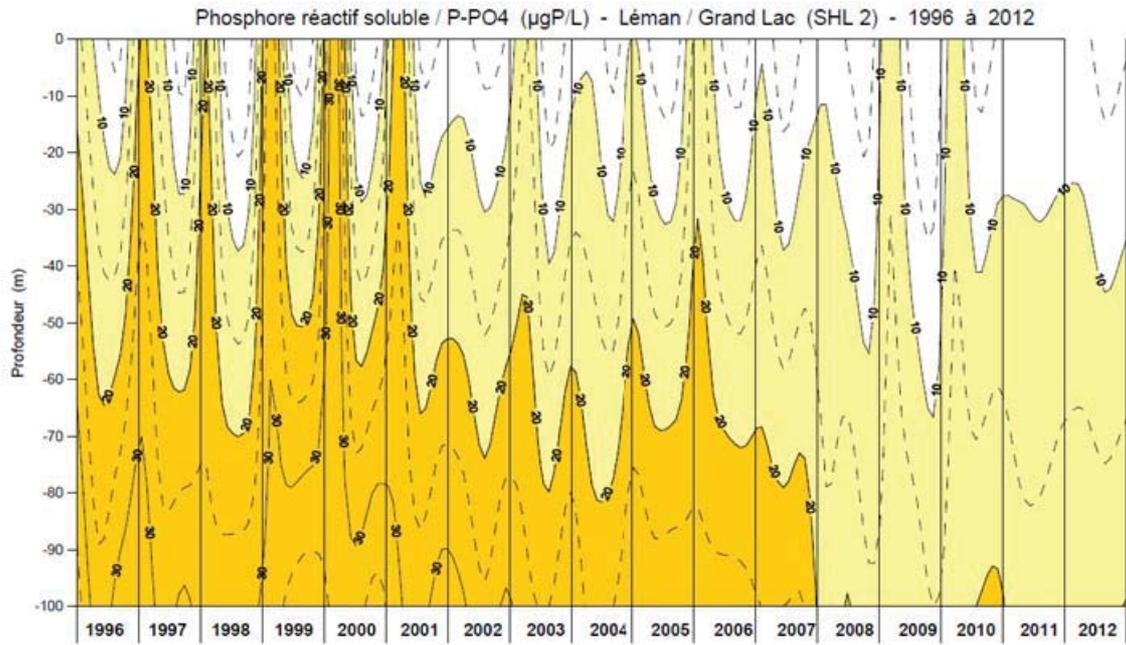


Figure 8 : Concentration en phosphore réactif soluble (P-PO4<sup>3-</sup>) dans les différentes couches du Léman (SHL2) (zone jaune foncée = concentration supérieure à 20 µgP·L<sup>-1</sup>. Zone jaune claire = concentration entre 10 et 20 µgP·L<sup>-1</sup>) de 1996 à 2012.

Figure 8 : Concentration of soluble reactive phosphorus (P-PO4<sup>3-</sup>) in the various layers of Lake Geneva (SHL2) (zone shaded dark yellow = concentration > 20 µgP·L<sup>-1</sup>. Zone shaded light yellow = concentration between 10 and 20 µgP·L<sup>-1</sup>) from 1996 to 2012.

Remarque : Ce graphique représente des isovaleurs recalculées et lissées à partir des données mesurées, c'est pourquoi certains évènements ponctuels, comme l'homogénéisation lors du brassage, ne sont pas observables sur ce type de graphique.



Figure 9 : Stock en phosphore réactif soluble ( $P-PO_4^{3-}$ ) et phosphore total dans les couches 0-30 m et 0-50 m de 1996 à 2012 (Grand Lac – SHL 2) au moment du brassage printanier.

Figure 9 : Stock of soluble reactive phosphorus ( $P-PO_4^{3-}$ ) and total phosphorus (-) in the water in the surface layers (0-30 and 0-50 m) from 1996 to 2012, Lake Geneva – Grand Lac (SHL2) at the time of the Spring churning.

#### 4.2 Azote nitrique et azote ammoniacal

De même que pour le phosphore, le brassage complet a permis de redistribuer complètement l'azote inorganique le long de la colonne d'eau. En février, la concentration moyenne en azote nitrique est de 520  $\mu\text{gN/L}$  et varie entre 490 et 540  $\mu\text{gN/L}$ , soit du même ordre que les années précédentes.

La concentration en azote nitrique des couches superficielles diminue significativement à partir du mois de mars comme on l'observe sur la figure 10. Progressivement, la consommation de l'azote nitrique continue pour atteindre des concentrations traces, entre 20 et 30  $\mu\text{gN/L}$  le 28 août de 0 à 5 m. L'azote nitrique est consommé de manière significative jusqu'à 15 m. Cette consommation est plus importante que les dernières années et est consécutive à la présence plus importante en 2012 de chlorophycées (RIMET, 2013). La consommation ralentit à partir du mois de septembre.

L'activité zooplanctonique entraîne une augmentation de la concentration en azote ammoniacal (excrétions du zooplancton, mais aussi excrétions des poissons, dégradation de la matière organique,...) (LAINE, 2013). Il est ainsi possible d'observer l'évolution de cette activité dans les couches superficielles entre le mois d'avril et le mois de juillet (figure 11). Le maximum est observé entre 25 et 35 m le 24 mai avec 74 et 75  $\mu\text{gN/L}$ .

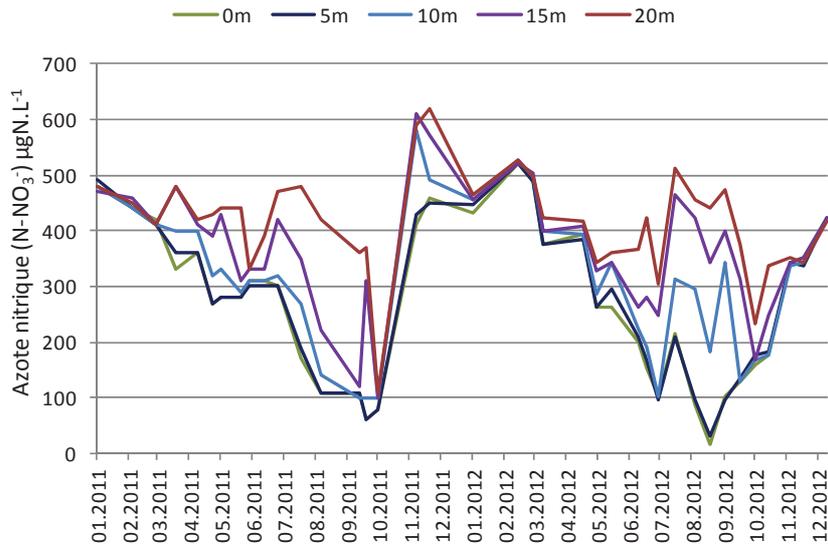


Figure 10 : Concentration en azote nitrique (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) des eaux des couches superficielles (0, 5, 10, 15 et 20 m), Léman – Grand Lac (SHL2).

Figure 10 : Concentration of nitrate (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) in the water in the surface layers (0, 5, 10, 15 and 20 m), Lake Geneva – Grand Lac (SHL2).

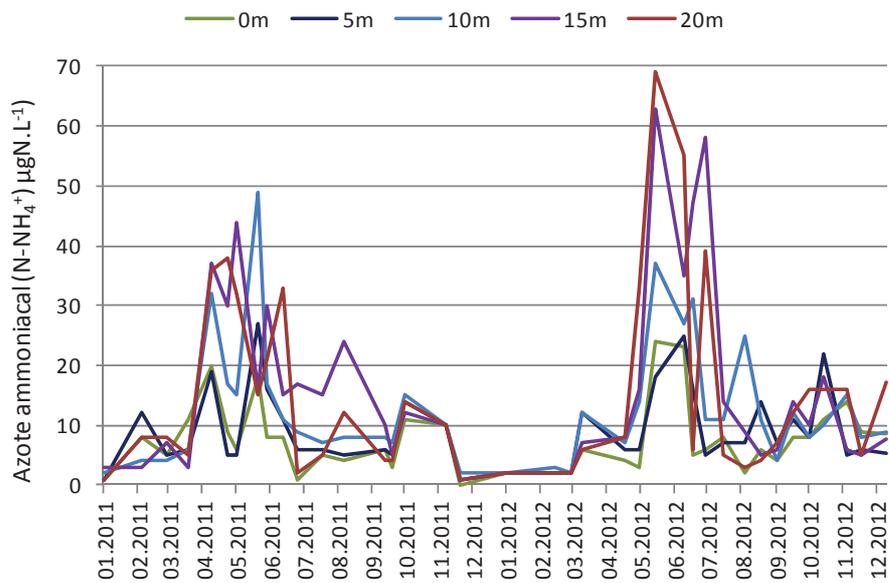


Figure 11 : Concentration en azote ammoniacal des eaux des couches superficielles (0, 5, 10, 15 et 20 m), Léman - Grand Lac (SHL2).

Figure 11 : Concentration of ammoniacal nitrogen in the surface layers (0, 5, 10, 15 and 20 m), Lake Geneva - Grand Lac (SHL2).

### 4.3 Silice

Le brassage complet a permis de redistribuer de manière plus importante que les années précédentes la silice dissoute à partir des couches profondes dans l'ensemble de la colonne d'eau avec en moyenne 2 mg.L<sup>-1</sup>. L'enfoncement de la couche à 2 mg.L<sup>-1</sup> est également observé lors des 2 derniers brassages complets en 2005 et 2006 (figure 13)

Dès le mois de mars, la silice est rapidement consommée par l'activité phytoplanctonique des algues diatomées (RIMET, 2013) jusqu'à des concentrations très faibles (figures 12 et 13). A partir du mois de mai, les couches superficielles ont une concentration inférieure à 1mg.L-1. Le minimum est observé au mois d'octobre avec des concentrations traces inférieures à 0.01 mg.L-1 de 0 à 5 m.

La consommation diminue en novembre mais les couches superficielles restent à des concentrations inférieures à 1 mg.L-1.

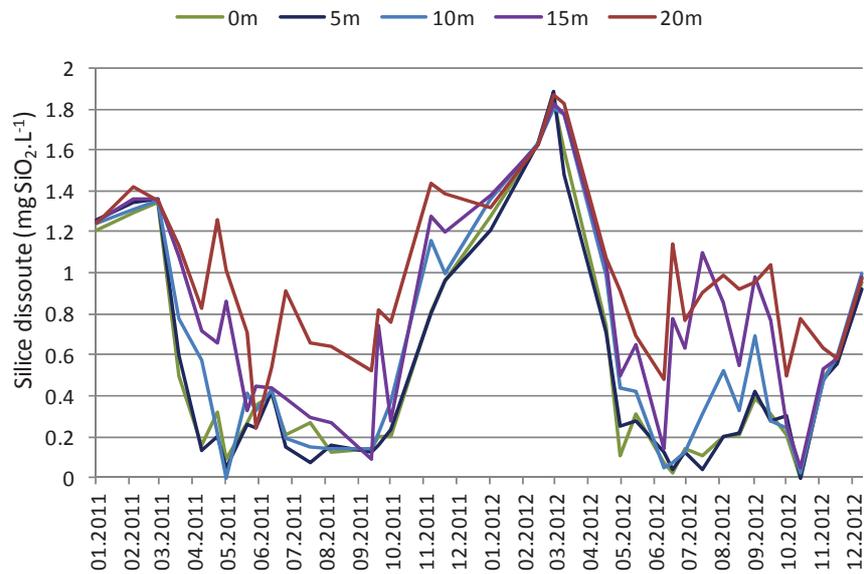


Figure 12 : Concentration en silice dissoute (SiO<sub>2</sub>) des eaux des couches superficielles (0, 5, 10, 15 et 20 m), Léman – Grand Lac (SHL2).

Figure 12 : Concentration of dissolved silica (SiO<sub>2</sub>) in the water in the surface layers (0, 5, 10, 15 and 20 m), Lake Geneva – Grand Lac (SHL2).

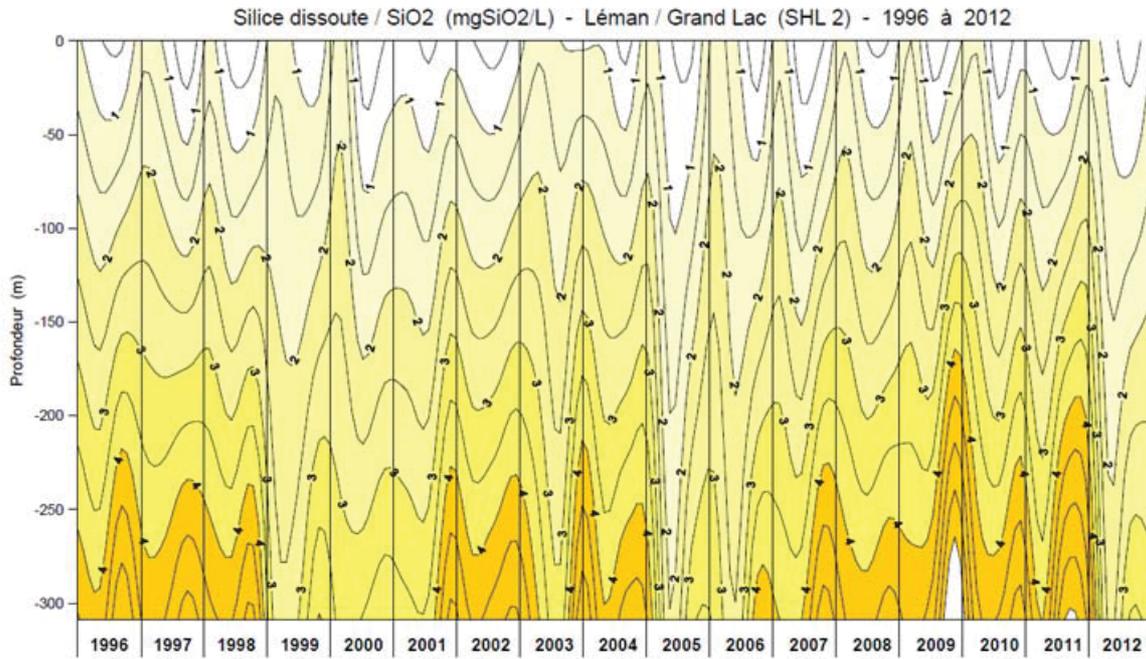


Figure 13 : Concentration en silice dissoute (SiO<sub>2</sub>) des eaux du Léman (Grand Lac - SHL2) en fonction de la profondeur de 1996 à 2012.

Figure 13 : Concentration of dissolved silica (SiO<sub>2</sub>) in the water of Lake Geneva (Grand Lac - SHL2) as a function of depth from 1996 to 2012.

Remarque : Ce graphique représente des isovaleurs recalculées et lissées à partir des données mesurées c'est pourquoi certains évènements ponctuels, comme l'homogénéisation lors du brassage, ne sont pas observables sur ce type de graphique.

#### 4.4 Oxygène dissous

La photosynthèse produit de l'oxygène dissous et peut entraîner une sursaturation des couches superficielles (figure 14). Le maximum de sursaturation est observé le 24 mai avec  $13.5 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$  à 2.5m.

La concentration en oxygène dissous dans les couches superficielles diminue ensuite à partir du mois de juin principalement du fait de la désoxygénation des couches inférieures, et aussi lors de saturation en surface par le dégazage vers l'atmosphère.

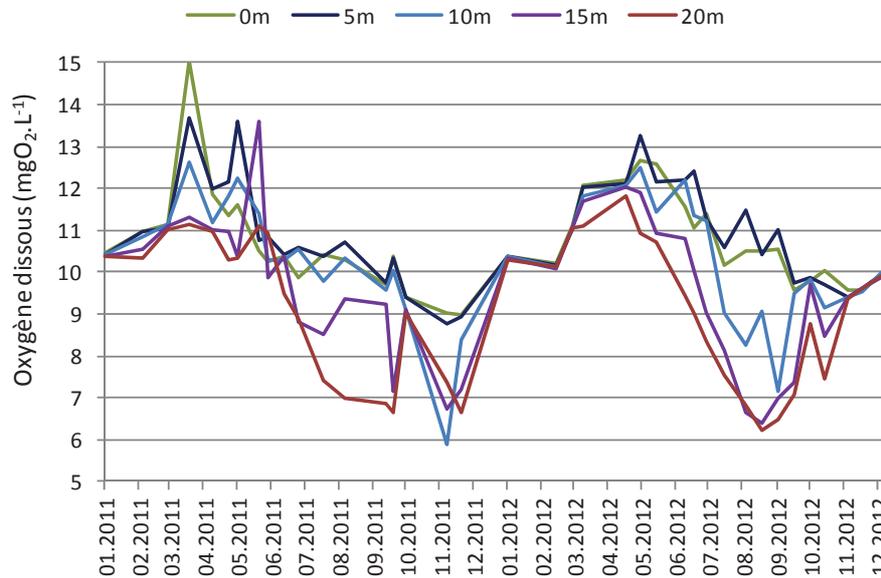


Figure 14 : Concentration en oxygène dissous des eaux des couches superficielles (0, 5, 10, 15 et 20 m), Léman - Grand Lac (SHL2).

Figure 14 : Concentration of dissolved oxygen in the surface layers (0, 5, 10, 15 and 20 m), Lake Geneva - Grand Lac (SHL2).

#### 4.5 Transparence

Le brassage complet entraîne une transparence forte de 13 m. Après le brassage, lors de la reprise de l'activité photosynthétique, les nutriments sont consommés et la transparence diminue du fait de la présence de phytoplancton (figure 15). Dès la campagne suivante, la transparence diminue à 4.1 m avec l'activité phytoplanctonique due principalement aux diatomées (RIMET, 2013). Nous n'observons pas cette année une augmentation de la transparence au printemps alors que la baisse de l'abondance phytoplanctonique marquant la phase des eaux claires est observée le 24 mai (RIMET, 2013). La faible transparence observée à cette date (2.4 m) est liée à un pic important de la turbidité ainsi qu'à la présence de pollen en surface (LAINE, 2013).

La transparence reste faible et inférieure à 6 m jusqu'en septembre, puis augmente lentement avec le ralentissement de l'activité phytoplanctonique.

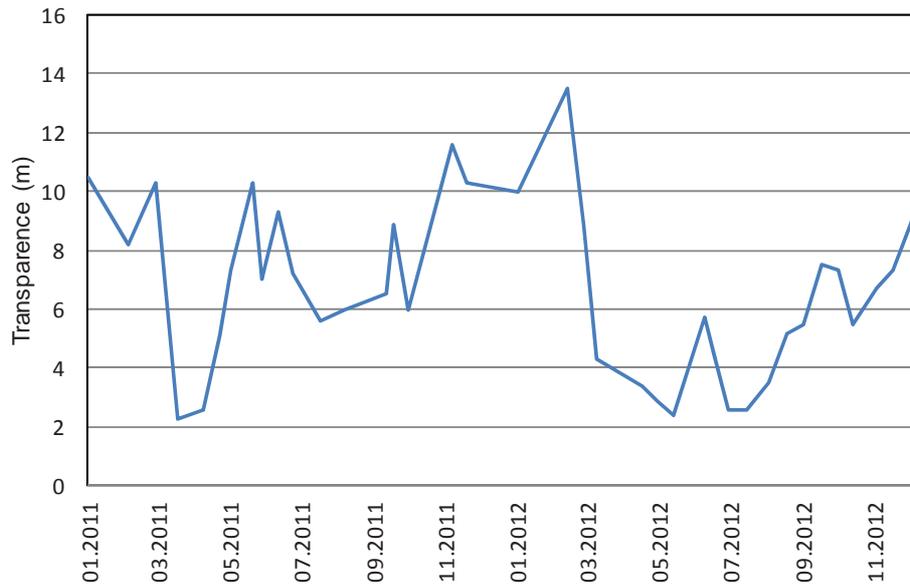


Figure 15 : Transparence mesurée avec le disque de Secchi (30 cm blanc), Léman - Grand Lac (SHL2).

Figure 15 : Transparency measured using a Secchi disk (30 cm white), Léman - Grand Lac (SHL2).

#### 4.6 Matière organique particulaire

Les concentrations en carbone organique particulaire (COP) dans les couches superficielles évoluent inversement à la consommation des nutriments et ceci dès le début de l'activité phytoplanctonique (figure 16). Comme pour la transparence et la sursaturation en oxygène dissous, le maximum de l'année en carbone organique particulaire est observé à 2.5 m le 24 mai avec 850  $\mu\text{gC.L}^{-1}$ .

La figure 17 permet d'observer la dynamique de la matière organique particulaire (C, N et P) et met en évidence le pic printanier d'activité planctonique. Nous observons aussi que l'année 2012 présente des concentrations en carbone, azote et phosphore particulaires légèrement supérieures aux dernières années, notamment après le pic printanier. Ce pic est moins important que dans les années 80-90, donnant relativement plus d'importance au pic automnal.

La figure 18 montre que le phosphore reste majoritairement le facteur limitant pour la croissance du phytoplancton : 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 (Redfield, 1958).

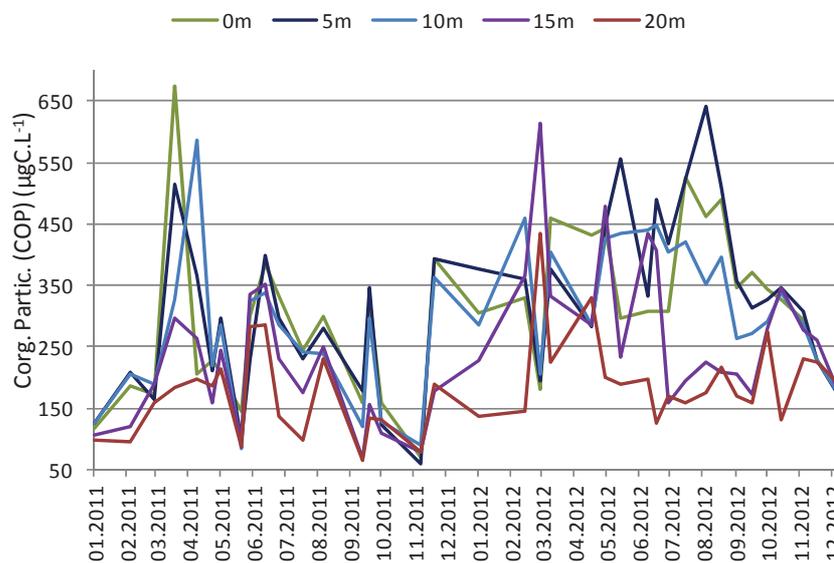


Figure 16 : Concentration en carbone organique particulaire des eaux des couches superficielles (0, 5, 10, 15 et 20 m), Léman - Grand Lac (SHL2).

Figure 16 : Concentration of particulate organic carbon in the surface layers (0, 5, 10, 15 and 20 m), Lake Geneva - Grand Lac (SHL2).

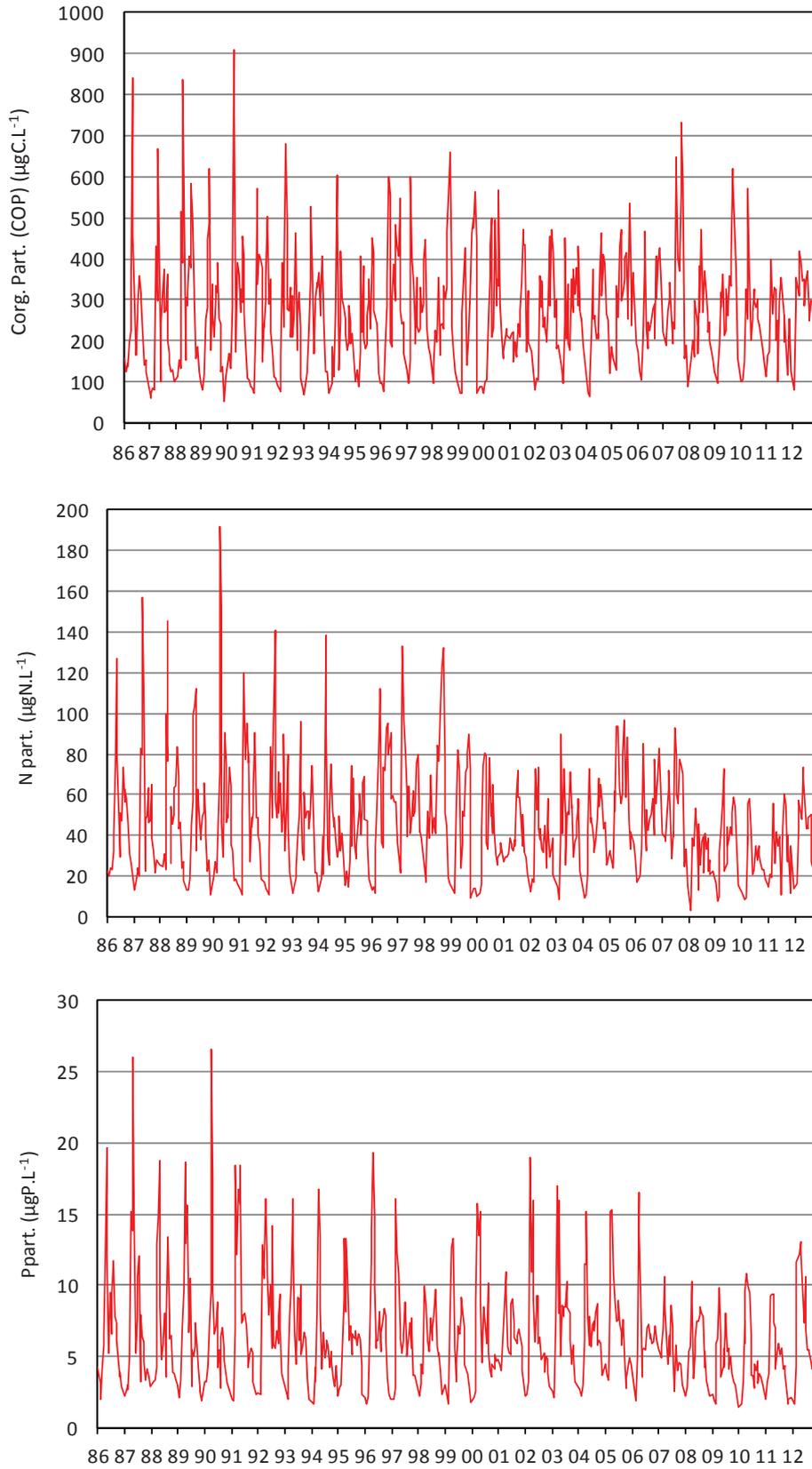


Figure 17: Concentrations en carbone organique, azote et phosphore particulaires des eaux de la couche superficielle (0-20 m).

Figure 17: Concentrations of particulate organic carbon, nitrogen and phosphorus in the water in the surface layer (0-20 m).

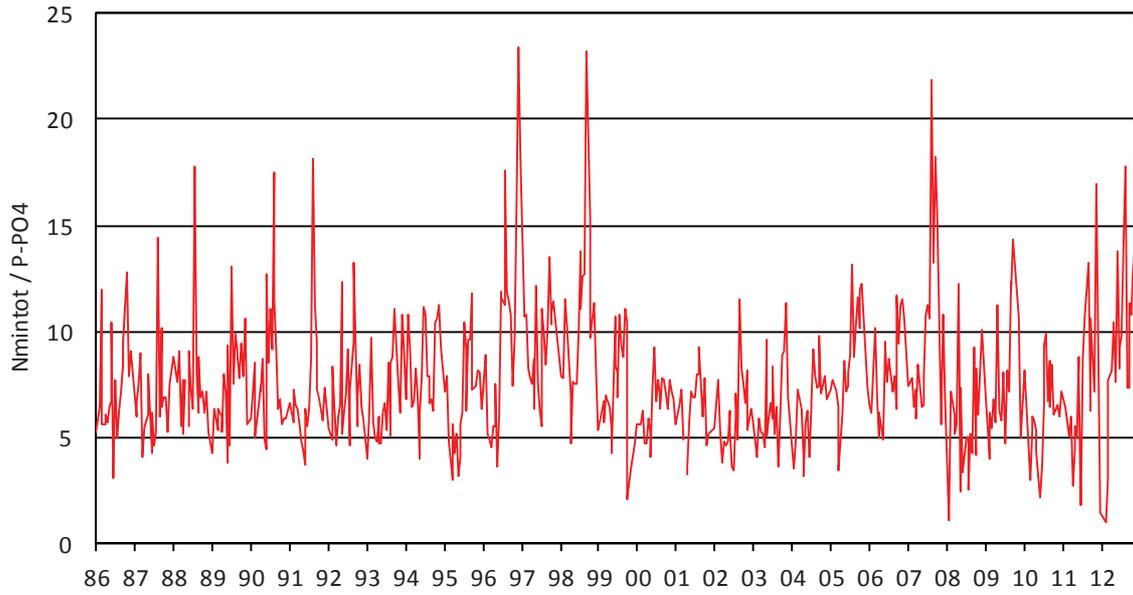


Figure 18 : Rapport Nminéral / P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, Léman - Grand Lac (SHL2).

Figure 18: Nmineral / P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, Lake Geneva - Grand Lac (SHL2).

## 5. ÉVOLUTION SAISONNIÈRE DANS LES COUCHES PROFONDES

Grâce à l'hiver particulièrement froid et le brassage complet, les couches profondes présentent une dynamique différente des années précédentes et similaire aux années de brassage complet, comme en 2005 ou 2006 (figures 19 et 20). La concentration en oxygène dissous au fond du lac est alors de 11.2 mgO<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup>, elle 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. Malgré cette désoxygénation, la concentration en oxygène du fond reste élevée et supérieure à 5 mgO<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup> toute l'année.

La désoxygénation des couches profondes entraîne plusieurs phénomènes propres à ces conditions réductrices : la réduction de certains métaux comme le manganèse 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 que la désoxygénation des couches profondes est limitée en 2012, le relargage du phosphore est très faible, toute l'année. Dans toute la chronique du suivi, des concentrations si faibles en phosphore au fond du lac sont observées seulement en 2005 après un autre brassage complet (figure 21). Le maximum est observé le 13 novembre avec 42 µgP.L<sup>-1</sup>. Les concentrations en azote ammoniacal au fond du lac ne présentent pas d'augmentation significative.

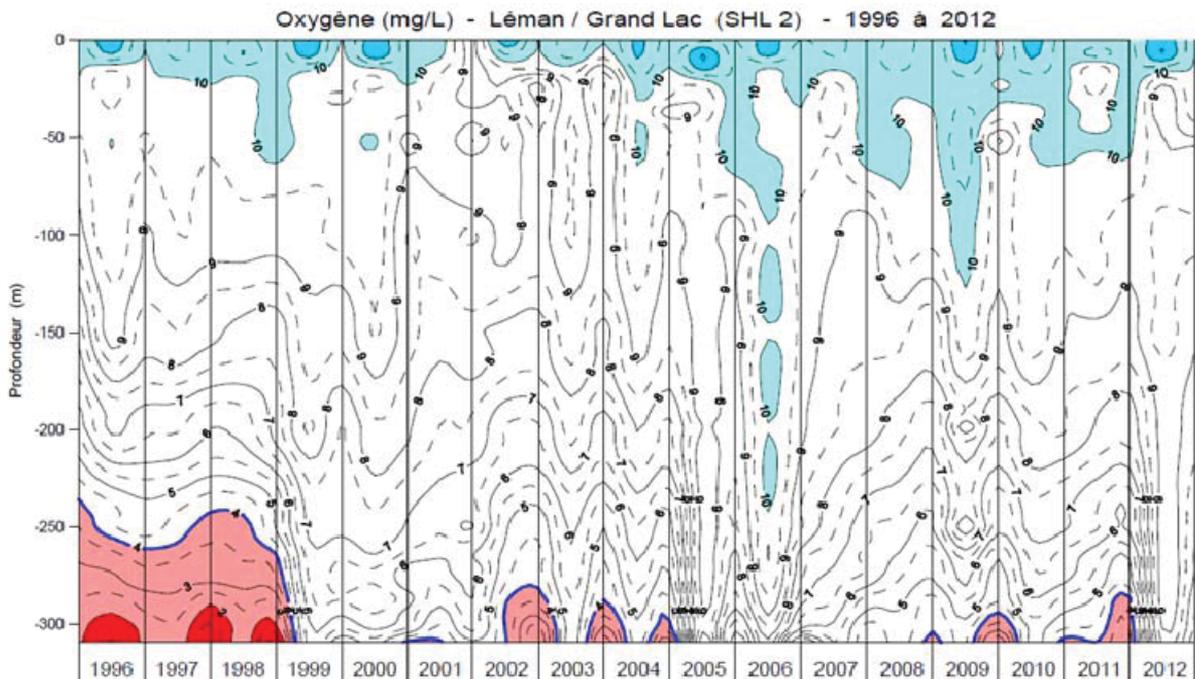


Figure 19 : Concentration en oxygène dissous des eaux du Léman (Grand Lac - SHL2) en fonction de la profondeur de 1996 à 2012.

Figure 19 : Concentration of dissolved oxygen in the water of the lake Geneva (Grand Lac - SHL2) as a function of depth from 1996 to 2012.

Remarques : Ce graphique représente des isovaleurs recalculées et lissées à partir des données mesurées, c'est pourquoi certains événements ponctuels, comme l'homogénéisation lors du brassage, ne sont pas observables sur ce type de graphique.

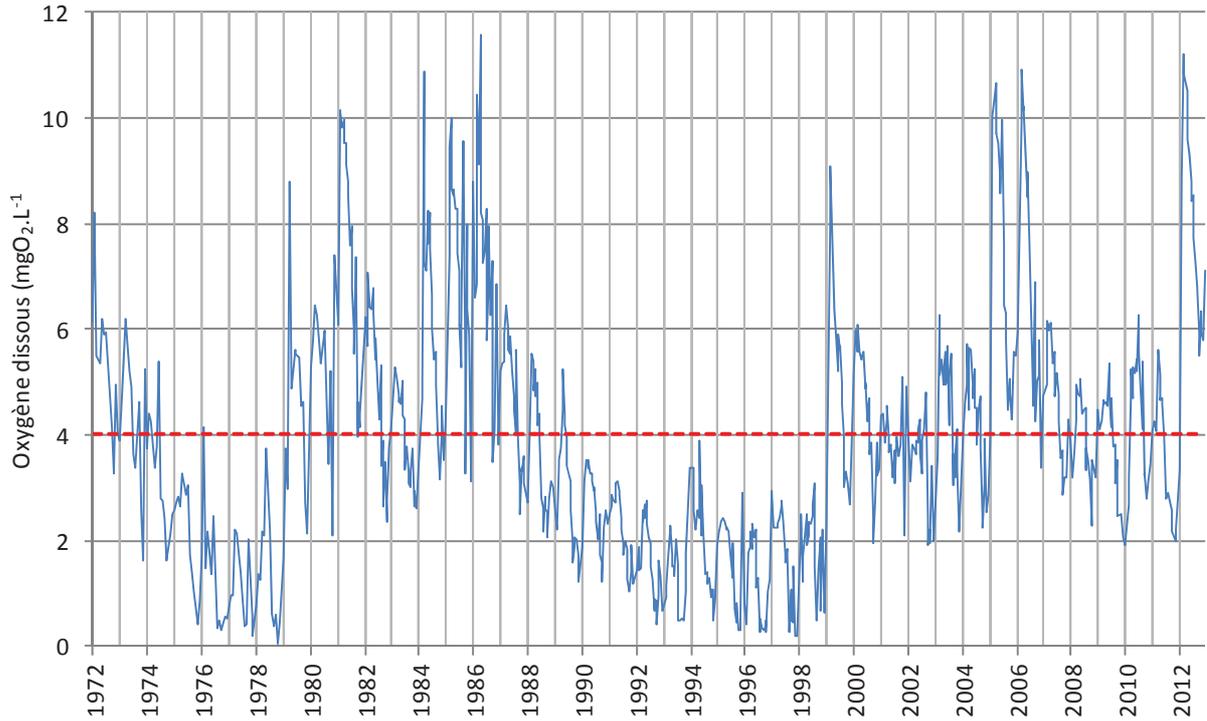


Figure 20 : Concentration en oxygène dissous des eaux du fond, Léman - Grand Lac (SHL2).

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

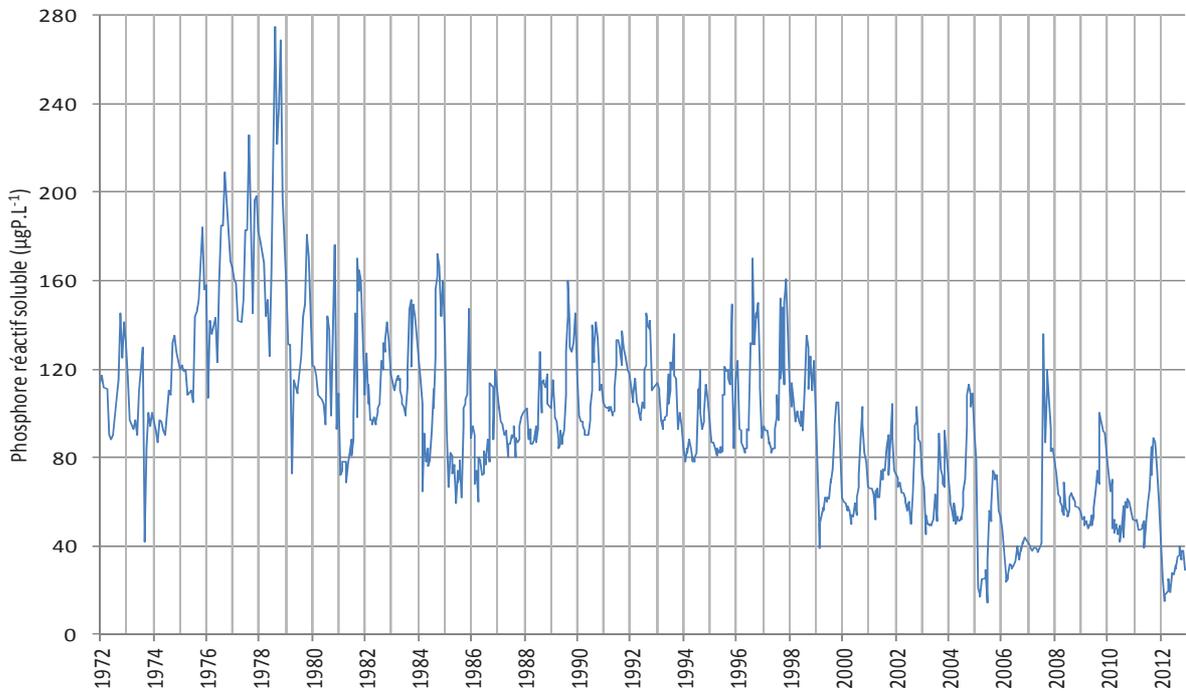


Figure 21 : Concentration en phosphore réactif soluble ( $P-PO_4^{3-}$ ) des eaux du fond à 309 m, Léman - Grand Lac (SHL2).

Figure 21 : Concentration of soluble reactive phosphorus ( $P-PO_4^{3-}$ ) in the water at the bottom of the lake, Lake Geneva - Grand Lac (SHL2).

## 6. ÉVOLUTION INTERANNUELLE DES PRINCIPAUX PARAMÈTRES

Les concentrations moyennes pondérées et les stocks (cf. Annexes 1 et 2) 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).

### 6.1 Oxygène dissous

Sur la figure 20, la limite pointillée indique le seuil des  $4 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$  correspondant aux exigences relatives à la qualité des eaux en Suisse. L'Annexe 2 de l'Ordonnance suisse sur la protection des eaux (OEaux) du 28 octobre 1998 stipule :

« 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  $4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1} \text{ O}_2$  ; 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 22 indique l'évolution de l'épaisseur de la couche d'eau de concentration inférieure à  $4.0 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$  depuis 1957. Depuis 1998, l'épaisseur de cette couche est limitée.

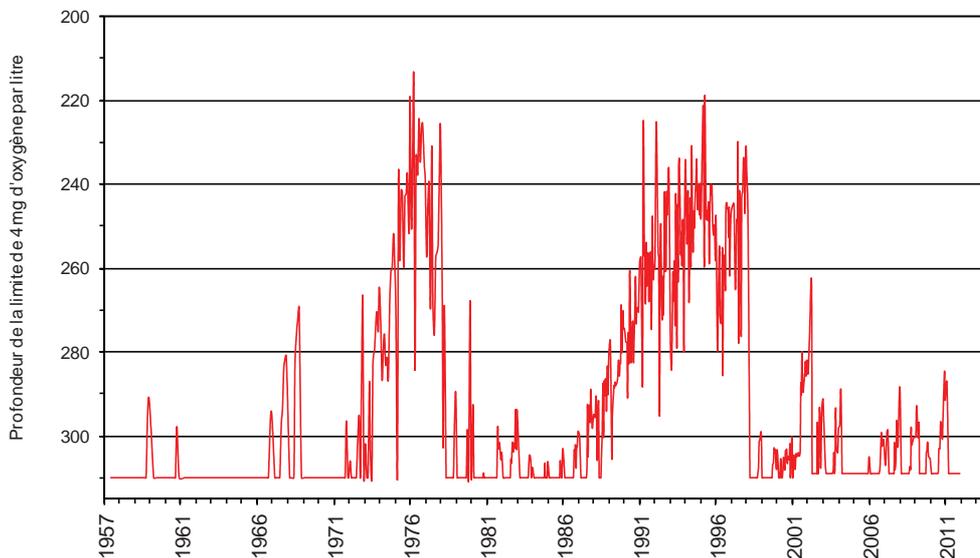


Figure 22 : Evolution de la profondeur de la limite à  $4 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$  dans le Léman - Grand Lac (SHL2) depuis 1957.

Figure 22 : Change in the depth of the  $4 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$  threshold in lake Geneva - Grand Lac (SHL2) since 1957.

## 6.2 Phosphore réactif soluble et phosphore total

Le stock moyen en phosphore total n'a que légèrement diminué par rapport à 2011, soit 1'853 tonnes de P en 2012 (pour 1'938 tonnes de P en 2011 et 1'915 en 2010) et une concentration moyenne de 21.6  $\mu\text{gP}\cdot\text{L}^{-1}$  (figure 23).

Il en est de même pour le stock en orthophosphate (phosphore réactif soluble) qui est de 1'445 tonnes de P en 2012 (pour 1'684 tonnes de P en 2011 et 1'650 tonnes de P en 2010) et une concentration moyenne de 16.9  $\mu\text{gP}\cdot\text{L}^{-1}$ .

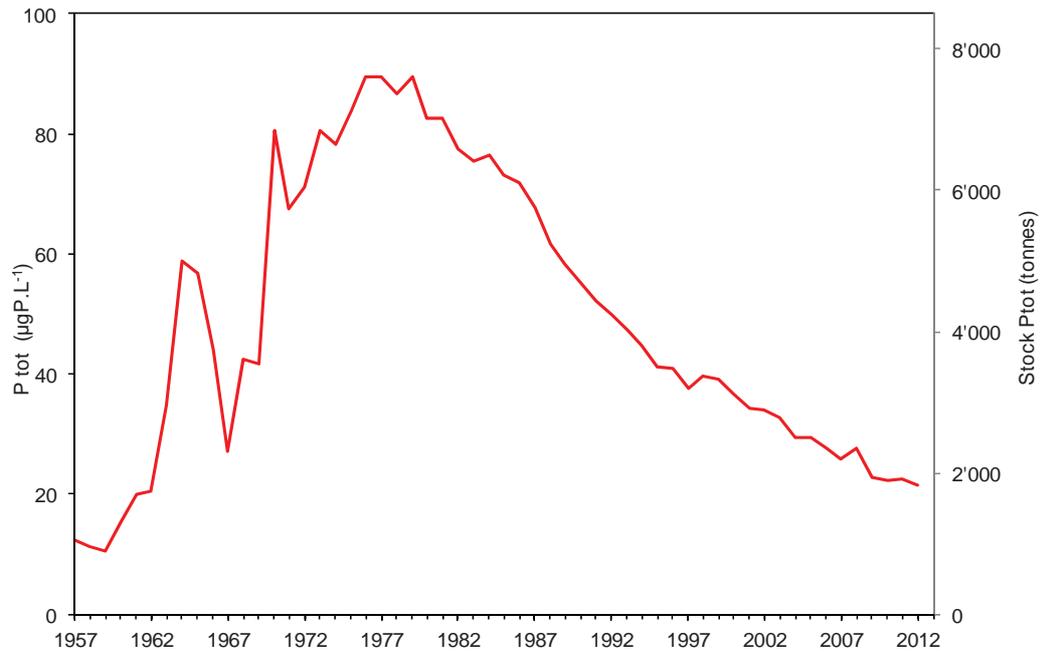


Figure 23 : Evolution de la concentration moyenne annuelle pondérée et du stock de phosphore total contenu dans le Léman de 1957 à 2012 - Grand Lac (SHL2).

Figure 23 : Change in weighted mean annual total phosphorus concentration and total phosphorus content of the lake Geneva from 1957 to 2012 - Grand Lac (SHL2).

### 6.3 Azote nitrique et azote total

Les concentrations moyennes en azote total et en azote nitrique sont du même ordre que l'année précédente. En 2012, la concentration moyenne en azote total est de  $0.57 \text{ mgN}\cdot\text{L}^{-1}$ , soit un stock de 48'710 tonnes de N. La concentration moyenne en azote nitrique est de  $0.46 \text{ mgN}\cdot\text{L}^{-1}$ , soit  $2.04 \text{ mgNO}_3\cdot\text{L}^{-1}$  (la norme d'eau de consommation en Suisse est de  $40 \text{ mgNO}_3\cdot\text{L}^{-1}$  et en France de  $50 \text{ mgNO}_3\cdot\text{L}^{-1}$ ).

Les années 2011 et 2012 présentent les plus faibles valeurs observées depuis le début des années 1980 (figure 24).

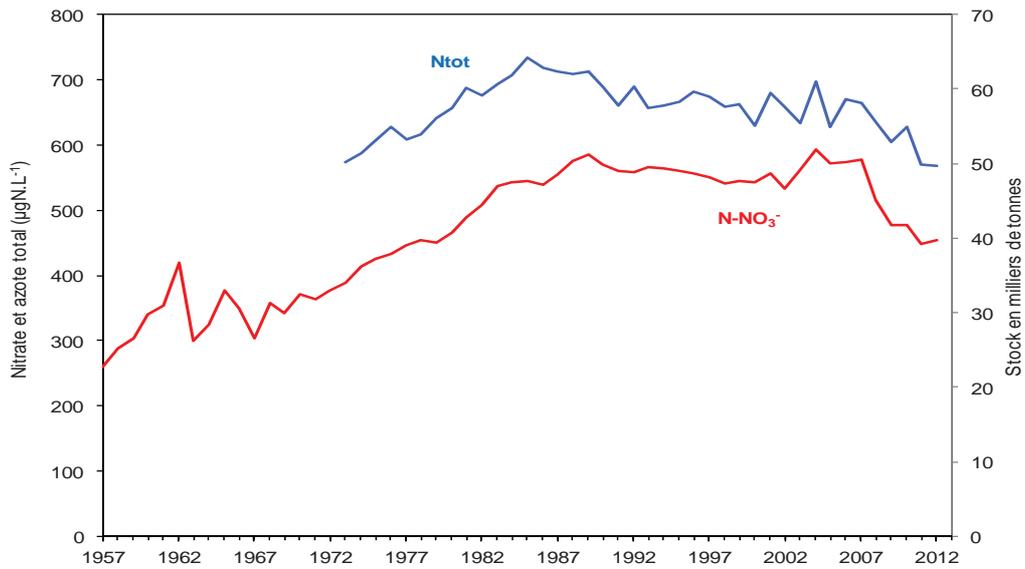


Figure 24 : Evolution de la concentration moyenne annuelle pondérée et des stocks d'azote total et d'azote nitrique contenus dans le Léman de 1957 à 2012, Léman - Grand Lac (SHL2).

Figure 24 : Change in the weighted mean annual total nitrogen concentration, in the total nitrogen content and the nitric content of the lake Geneva from 1957 to 2012, Lake Geneva - Grand Lac (SHL2).

## 6.4 Chlorure

Depuis le début des mesures du chlorure dans le Léman en 1971 ( $2.73 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), la teneur du Grand Lac en chlorure est en augmentation quasi linéaire de 2 % par an. Entre 2005 et 2008, nous avons observé un léger ralentissement de l'évolution, mais depuis 2009, le stock en chlorure augmente et atteint en 2012  $819'208$  tonnes soit  $9.56 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , contre  $9.37 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  en 2011 (figure 25). La concentration moyenne des apports par les affluents du Léman atteint  $9.82 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  cette année (KLEIN, 2013). Si les apports n'évoluent pas de manière importante, la concentration moyenne du lac atteindra progressivement la concentration moyenne des apports.

L'étude menée par GUMY et De ALENCASTRO (2001) indiquait que les concentrations du chlorure observées dans le Léman sont très inférieures aux valeurs toxiques citées dans la littérature. Elle montrait également que les principales sources du chlorure sont majoritairement l'industrie et les sels de déneigement.

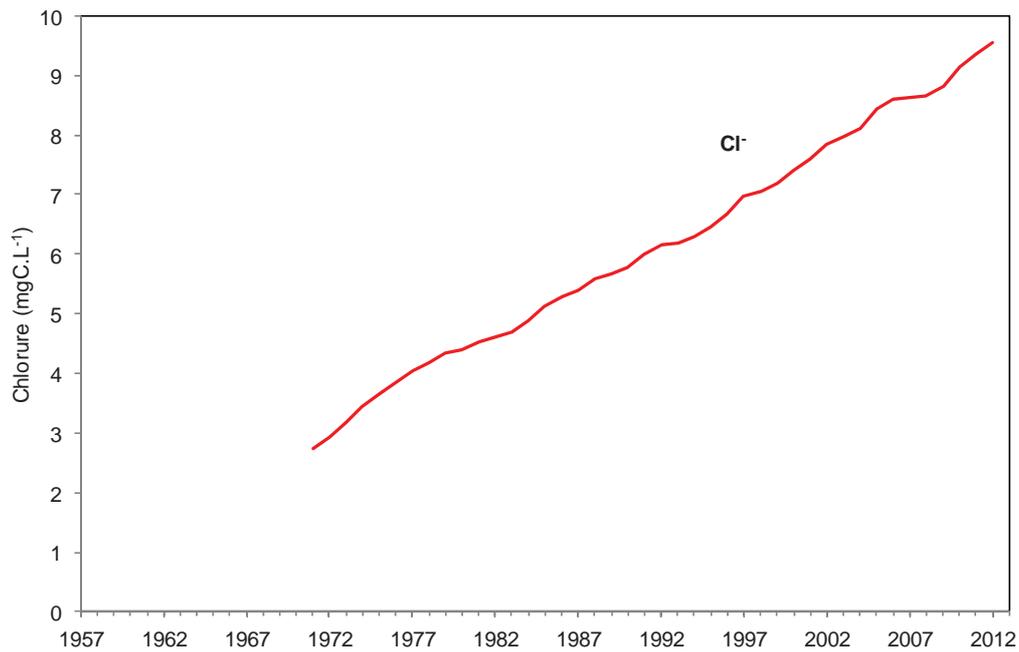


Figure 25 : Evolution de la concentration moyenne annuelle en chlorure, pondérée pour l'ensemble de la masse d'eau du lac de 1971 à 2012, Léman - Grand Lac (SHL2).

Figure 25 : Change in the weighted mean annual concentration of chloride in the entire mass of the water of the lake from 1971 to 2012, Lake Geneva - Grand Lac (SHL2).

## 7. CONCLUSIONS

L'année climatique 2012 sur les rives du Léman peut être considérée comme une année chaude et un peu humide, avec 11.1°C et 1'092.3 mm de précipitations en moyenne d'inter-stations. L'insolation est supérieure à la moyenne 1980-2010 (2'008 au lieu de 1'836h). Le rayonnement global est lui aussi supérieur à la moyenne 1980-2010 (4'747 au lieu de 4'390 MJ·m<sup>-2</sup>). L'année 2012 peut être considérée comme moyennement venteuse.

Seul le mois de février se démarque comme étant un mois sec et (très) froid.

En ce qui concerne l'évolution physico-chimique des eaux du Léman, on retiendra que :

- L'année 2012 est exceptionnelle avec un brassage complet de la colonne d'eau du lac. Les nutriments ont été complètement redistribués à partir du fond du lac et les couches profondes ont été complètement réoxygénées. Cependant la concentration en phosphore lors du brassage n'est pas significativement élevée par rapport aux années précédentes du fait du relargage limité en fin 2011.
- Les consommations des ions orthophosphate (phosphore réactif soluble) et silice sont très importantes dès le mois de mars et se poursuivent toute l'année jusqu'à l'état de trace dans les couches épilimniques.
- Les phénomènes de relargage du phosphore et de réduction de l'azote en fin d'année sont exceptionnellement limités du fait de la concentration encore importante d'oxygène au fond du lac.
- Le stock en phosphore total sur toute la colonne a légèrement diminué après quelques années de stabilité : en 2012 la concentration moyenne est de 21.6 µgP·L<sup>-1</sup>.
- Le stock en chlorure continue son augmentation après un léger ralentissement ces dernières années.
- Comme en 2011, le stock en azote total est faible par rapport au reste de la chronique.

## 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 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. (2013) : Apports par les affluents au Léman et au Rhône à l'aval de Genève. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2012, 120-140.
- LAZZAROTTO, KLEIN, A., (2012) : Evolution physico-chimique des eaux du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2012, 16-41.
- OEaux (1998) : Ordonnance sur la protection des eaux du 28 octobre 1998 (Suisse).
- LAINE, L. et PERGA, M.-E. (2013) : Zooplancton du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2012, 98-108.
- REDFIELD, A.C. (1958) : The biological control of chemical factors in the environment. American Scientist, Vol. 46, N°3, pp. 205-221
- RIMET, F. (2013) : Phytoplancton du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2012, 82-93.
- STRAWCZYNSKI, A. (2013) : Analyses comparatives interlaboratoires. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2012, 183-192.
- TADONLEKE, R.D. (2013) : Production primaire et biomasse chlorophyllienne dans le Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2012, 94-101.

ANNEXES

ANNEXE 1

Tableau 2 : Concentrations moyennes pondérées - Léman (Grand Lac - SHL2).  
Table 2 : Mean weighted concentrations – Lake Geneva (Grand Lac – SHL2).

Année	Oxygène mg·L <sup>-1</sup>	P tot. µgP·L <sup>-1</sup>	PO <sub>4</sub> µgP·L <sup>-1</sup>	Ntot. µgN·L <sup>-1</sup>	Nmintot µgN·L <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> µgN·L <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> µgN·L <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> µgN·L <sup>-1</sup>	Cl mgCl·L <sup>-1</sup>	C.O.P µgC·L <sup>-1</sup>	Npartic µgN·L <sup>-1</sup>	Ppartic µgP·L <sup>-1</sup>	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	* 7.98	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		10.1	2.6	5.9	4.2

\* : valeur interpolée

Tableau 3 : Stocks en tonnes - Léman (Grand Lac - SHL2).  
 Table 3 : Total content in metric tons - Lake Geneva (Grand Lac - SHL2).

Année	Oxygène Tonnes	P tot. Tonnes	P-PO <sub>4</sub> Tonnes	N tot. Tonnes	Nmintot Tonnes	N-NH <sub>4</sub> Tonnes	N-NO <sub>2</sub> Tonnes	N-NO <sub>3</sub> Tonnes	Cl Tonnes	C.O.P. Tonnes	P partic Tonnes	N partic Tonnes
1957	827'900	1'150			22'824	25	109	22'690				
1958	883'900	960			25'370	75	145	25'150				
1959	822'000	890			26'733	30	93	26'610				
1960	819'800	1'320			29'931	105	96	29'730				
1961	802'000	1'720			31'370	290	80	31'000				
1962	885'200	1'750			37'527	770	127	36'630				
1963	883'100	2'970			26'839	510	129	26'200				
1964	874'900	5'050			29'275	750	115	28'410				
1965	878'500	4'870			33'459	375	114	32'970				
1966	894'400	3'760			31'071	415	116	30'540				
1967	823'700	2'320			26'887	180	87	26'620				
1968	808'300	3'640			31'888	465	63	31'360				
1969	772'100	3'580			30'403	360	93	29'950				
1970	830'600	6'920			32'804	245	109	32'450				
1971	830'500	5'790	3'910		32'668	770	138	31'760	237'000			
1972	792'400	6'090	4'830		34'426	1'255	141	33'030	251'000			
1973	801'900	6'900	5'660	49'180	35'306	1'185	201	33'920	271'000			
1974	781'700	6'700	5'420	50'350	37'544	1'180	164	36'200	295'000			
1975	767'500	7'200	5'670	51'970	38'292	905	167	37'220	314'000			
1976	716'800	7'670	6'200	53'820	38'916	1'000	116	37'800	329'000			
1977	712'100	7'660	6'340	52'140	40'115	960	155	39'000	347'000			
1978	732'300	7'440	6'290	52'860	40'588	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	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	48'710	463	212	39'655	819'208		224	868

\* : valeur interpolée

Tableau 4 : Incertitudes élargies\* des principales analyses physico-chimiques.  
Table 4 : Expanded uncertainties of main physical and chemical analyses.

Paramètre	Unité	Incertitude élargie U (%)
NO <sub>3</sub>	mgN·L <sup>-1</sup>	6 %
NO <sub>2</sub>	mgN·L <sup>-1</sup>	6 %
NH <sub>4</sub>	mgN·L <sup>-1</sup>	6 %
Ntotal	mgN·L <sup>-1</sup>	6 %
PO <sub>4</sub>	µgP·L <sup>-1</sup>	6 %
Ptotal	µgP·L <sup>-1</sup>	7 %
TOC	mgC·L <sup>-1</sup>	4 %
Ca	mg·L <sup>-1</sup>	3 %
K	mg·L <sup>-1</sup>	4 %
Mg	mg·L <sup>-1</sup>	4 %
Na	mg·L <sup>-1</sup>	5 %
Cl	mg·L <sup>-1</sup>	5 %
SO <sub>4</sub>	mg·L <sup>-1</sup>	3 %

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

# DONNEES MÉTÉOROLOGIQUES

## WEATHER

CAMPAGNE 2012

PAR

**Philippe QUETIN**

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

### 1. INTRODUCTION

Le réseau de mesure est constitué des stations climatiques de l'Institut suisse de Météorologie de Genève-Cointrin, Changins, Pully et du laboratoire de l'INRA de Thonon-les-Bains. Les paramètres climatiques examinés sont les mêmes que ceux analysés lors des années précédentes : la température de l'air, la pluviométrie, le rayonnement global, le vent et la Rose des vents à Changins (calculée par Météo Suisse). Comme depuis 2003, les unités du rayonnement global et de la vitesse du vent ont été conservées afin de faciliter les comparaisons avec les rapports des campagnes précédentes. Conformément aux recommandations de l'Organisation Météorologique Mondiale, qui considère les moyennes sur trente ans comme étant les valeurs « Normales ». Les paramètres seront comparés à leurs moyennes inter-stations sur la période 1981 - 2010.

### 2. TEMPÉRATURE DE L'AIR

En 2012, à part le mois de février (particulièrement froid) et dans une moindre mesure juillet, septembre, octobre et décembre (pour Genève et Changins), les températures moyennes mensuelles des différentes stations sont supérieures à leur moyenne inter-stations sur la période 1981 - 2012. (tableau 1.1, figure 1.1).

Tableau 1.1 : Température moyenne mensuelle de l'air à chaque station en 2012 (°C).

Table 1.1 : Mean monthly air temperature for each station in 2012 (°C).

	Genève	Changins	Pully	Thonon	inter-stations 1981-2010
<b>Janvier</b>	2.9	3.0	4.0	4.1	2.2
Février	-2.1	-2.0	-1.4	-0.8	2.9
Mars	8.6	9.2	9.8	8.4	6.5
Avril	10.2	9.6	10.0	10.4	9.9
Mai	15.1	14.7	15.2	15.0	14.4
Juin	19.1	18.2	18.8	19.2	17.7
Juillet	19.8	19.5	19.8	20.2	20.1
Août	20.7	20.5	21.1	21.1	19.7
Septembre	15.5	15.6	16	16.1	15.8
Octobre	11.2	11.2	11.8	12.2	11.5
Novembre	7.0	6.8	7.5	7.7	6.0
Décembre	3.0	2.6	3.5	4.2	3.3
Moyenne annuelle	10.9	10.7	11.3	11.5	10.8

En 2012, la température moyenne annuelle inter-stations est de 11.1°C, soit 0.7 °C de moins par rapport à 2011. Avec cette température, l'année 2012 se classe au 10<sup>e</sup> rang (la plus chaude étant 1994 avec 11.9°C) de la période 1981 - 2012. (tableau 1.2, figure 1.2).

Tableau 1.2 : Température moyenne annuelle de l'air de l'inter-stations (°C).

Table 1.2 : Mean annual air temperature at the inter-stations (°C).

Années	Température moyenne annuelle	Années	Température moyenne annuelle
1981	9.9	1997	11.1
1982	10.6	1998	11.0
1983	10.4	1999	11.0
1984	9.7	2000	11.6
<b>1985</b>	<b>9.4</b>	2001	11.0
1986	10.0	2002	11.5
1987	10.1	2003	11.7
1988	10.9	2004	11.0
1989	11.0	2005	10.6
1990	11.2	2006	11.3
1991	10.4	2007	11.4
1992	10.9	2008	10.9
1993	10.4	2009	11.3
<b>1994</b>	<b>11.9</b>	2010	10.3
1995	10.9	2011	11.8
1996	10.2	<b>2012</b>	<b>11.1</b>

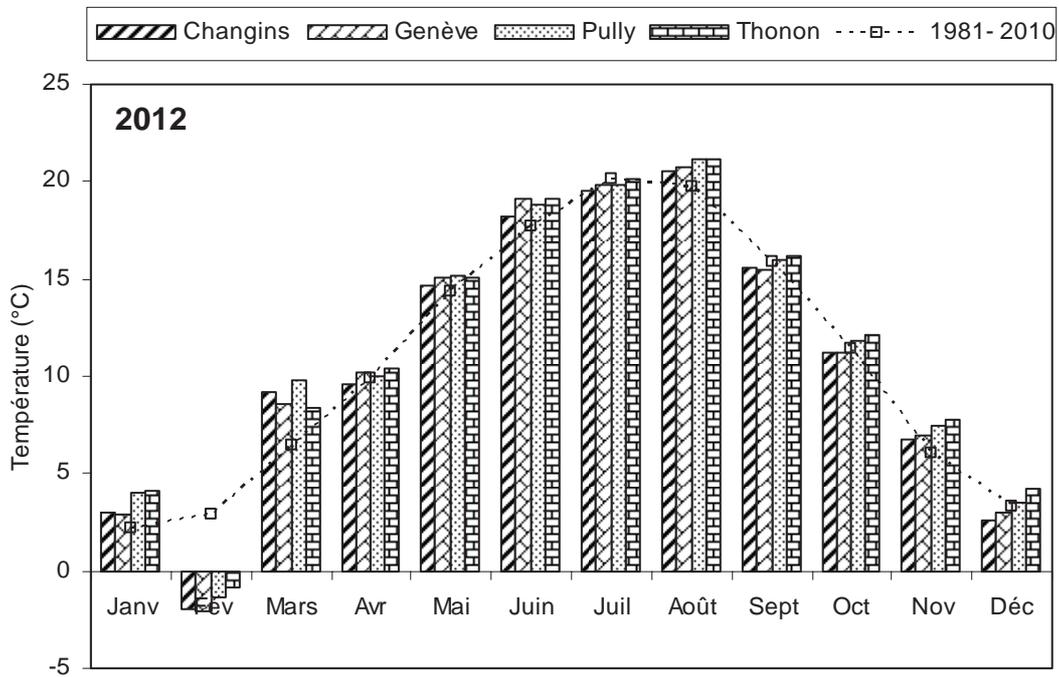


Figure 1.1 : Moyenne mensuelle de la température de l'air de chaque station en 2012 (histogramme) et celle de l'inter-stations pendant la période 1981 - 2010 (courbe).

Figure 1.1 : Mean monthly air temperature at each station in 2012 (histogram) and the mean inter-stations value for the period 1981 - 2010 (curve).

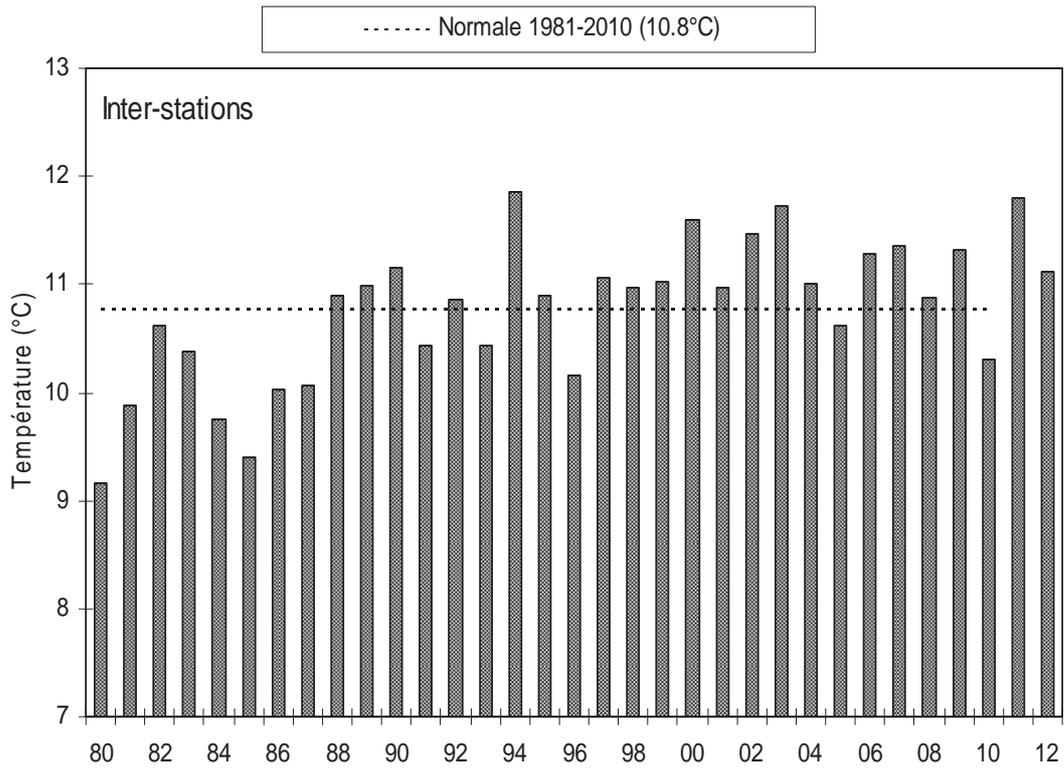


Figure 1.2 : Température moyenne annuelle de l'air pour l'inter-station (°C).

Figure 1.2 : Mean annual air temperature for the inter-stations (°C).

### 3. PLUVIOMÉTRIE

La pluviométrie de l'année 2012 sur le bassin lémanique est de 1'092.3 mm, légèrement supérieure à la moyenne inter-stations (1'006.7 mm) relevée sur les 4 stations entre 1981 et 2010. Pully est la station la plus arrosée avec 1'160.3 mm. Genève avec 970 mm a les précipitations les moins importantes (tableau 2.1, figure 2.1).

Les mois de février et mars sont particulièrement secs. Par contre les mois de novembre et décembre sont eux excédentaires, ce qui donne pour l'année 2012 un excédent de 8.5% par rapport à la normale 1981 - 2010.

Tableau 2.1 : Pluviométrie mensuelle (mm) à chaque station en 2012.

Table 2.1 : Monthly rainfall (mm) at each station in 2012.

	Genève	Changins	Pully	Thonon	inter-stations 1981-2010
Janvier	82.4	81.7	74.4	53.5	72.9
Février	0.4	0.9	6.3	1.5	60.8
Mars	13.7	12.7	23.6	22.5	68.5
Avril	112.2	138.5	134.7	121.5	73.5
Mai	76.4	101.7	66.0	80.5	92.8
Juin	95.0	136.9	143.1	109.5	94.3
Juillet	45.8	59.6	90.4	67.5	83.8
Août	81.7	77.8	84.2	141.5	86.6
Septembre	77.5	82.9	102.2	100.5	99.0
Octobre	49.8	63.9	91.5	82.0	102.5
Novembre	180.7	199.3	183.0	210.0	83.0
Décembre	154.7	167.0	160.9	125.0	88.9
Total annuel	970.3	1'122.9	1'160.3	1'115.5	1'006.7

En inter-stations, l'année 2012 se classe au 8e rang de la chronologie pluviométrique 1981-2012 (le 1er étant 2001 avec 1'298 mm, le dernier étant 1989 avec 661 mm) (tableau 2.2, figure 2.2).

Tableau 2.2 : Pluviométrie annuelle de l'inter-stations (mm).

Table 2.2 : Annual rainfall at the inter-stations (mm).

Années	Pluviométrie total annuel	Années	Pluviométrie total annuel
1981	1'082.8	1997	1'022.9
1982	1'037.5	1998	924.6
1983	1'022.3	1999	1'266.0
1984	911.8	2000	1'028.2
1985	957.1	2001	1'298.7
1986	964.2	2002	1'169.5
1987	1'044.8	2003	760.6
1988	1'078.0	2004	980.0
1989	660.7	2005	775.1
1990	1'093.9	2006	1'069.2
1991	860.3	2007	1'135.7
1992	1'057.8	2008	1'047.8
1993	1'060.5	2009	849.9
1994	1'124.1	2010	815.5
1995	1'194.7	2011	750.1
1996	972.8	2012	1'092.3

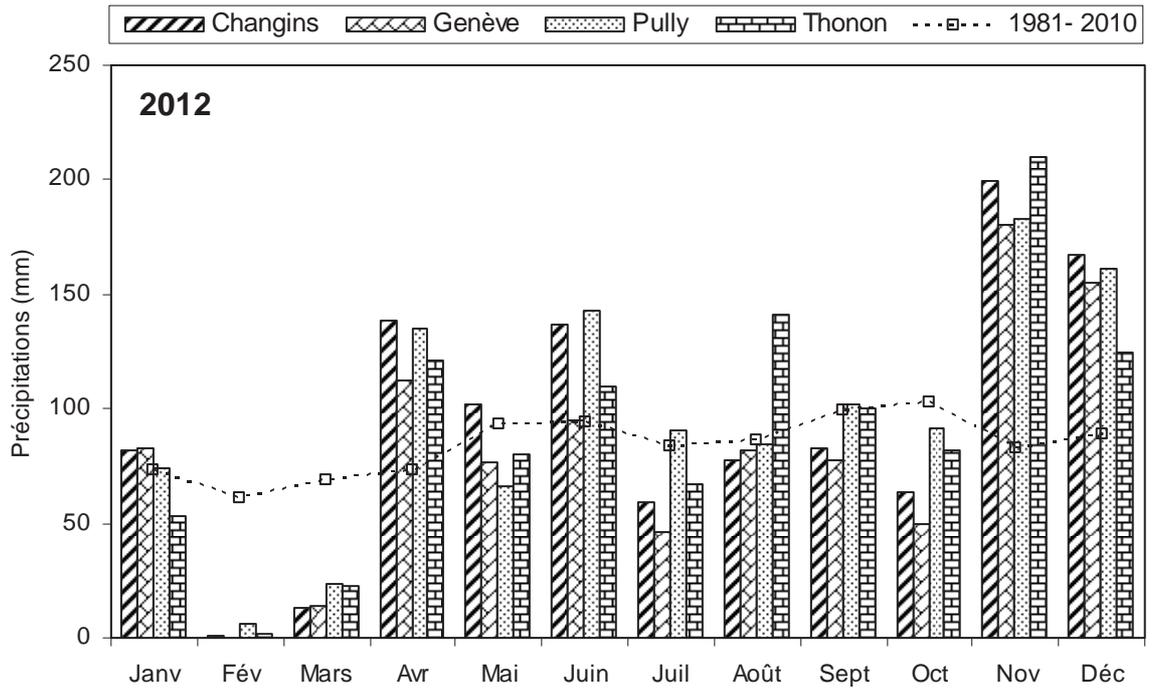


Figure 2.1 : Pluviométrie mensuelle de chaque station en 2012 (histogrammes) et de l'inter-stations pendant la période 1981 - 2010 (courbe).

Figure 2.1 : Monthly rainfall at each station in 2012 (histogram) and the mean inter-stations value for the period 1981 - 2010 (curve).

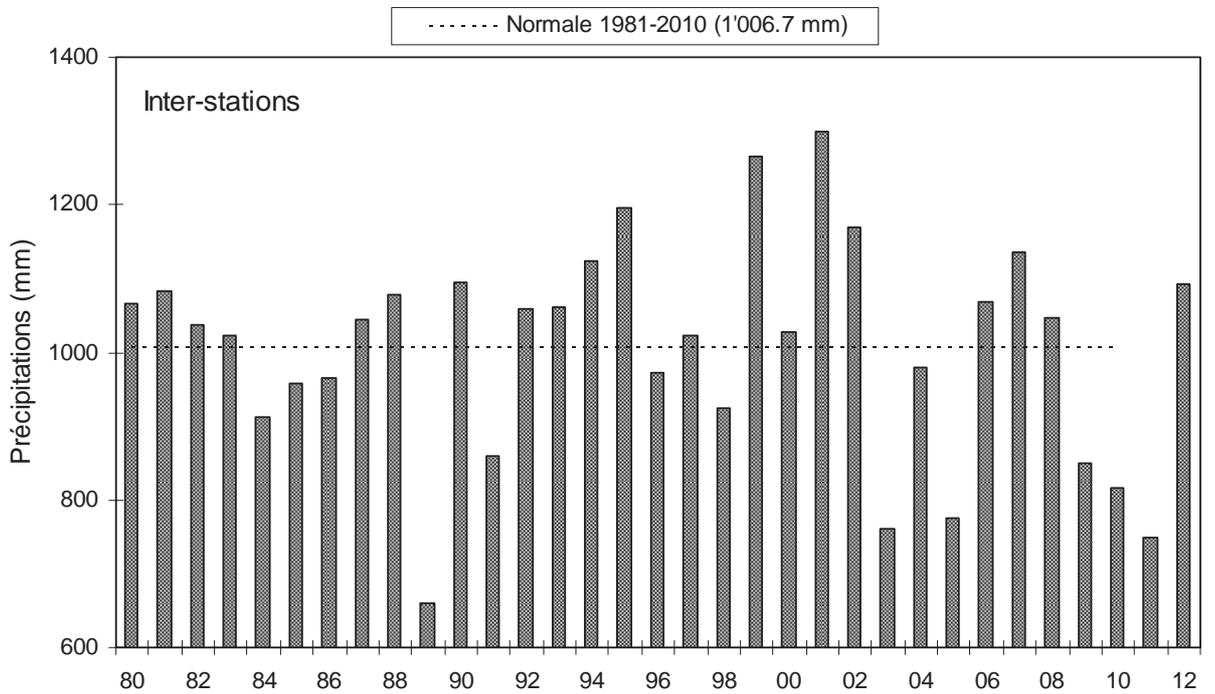


Figure 2.2 : Pluviométrie annuelle pour l'inter-stations (mm).

Figure 2.2 : Annual rainfall at the inter-stations (mm).

#### 4. INSOLATION

L'insolation est, au sens météorologique, l'exposition d'un objet au rayonnement solaire direct; cette exposition est correctement révélée par la présence d'ombres portées nettement dessinées : on considère alors que la production de telles ombres est possible lorsque l'éclairement de l'objet par le Soleil a une valeur au moins égale à 120 watts par mètre carré, ce qui permet de déterminer à chaque instant s'il y a ou non insolation. On emploie couramment la locution "durée d'insolation" pour désigner la somme des intervalles de temps durant lesquels un objet fixe est soumis à insolation au cours d'une période donnée que l'on choisit, sauf indication contraire, comme égalant un jour entier, soit 24 heures à partir de minuit.

Le terme insolation est donc associé à la luminosité du disque solaire par rapport au fond de lumière diffuse du ciel. Ce critère est tout d'abord visuel plutôt qu'énergétique. Pour permettre les comparaisons des données acquises dans les différentes stations météo, l'Organisation mondiale de météorologie

(OMM) a fixé depuis 1981 le seuil énergétique de l'insolation à  $120 \text{ W m}^{-2}$  (Guyot 1997).

Au mois de février et mars les insolutions relevées sont très supérieures à la moyenne de la période 1981-2010 (+60h, +110h), contrairement à avril (-60h). (tableau 3.1, figure 3.1).

Tableau 3.1 : Insolation mensuelle à chaque station en 2012 (h).

Table 3.1 : Monthly insolation at each station in 2012 (h).

	Genève	Changins	Pully	Thonon	inter-stations 1981-2010
Janvier	61.1	65.3	63.9	40.2	62.4
Février	142.1	188.9	177.7	112.3	90.7
Mars	266.7	274.9	280.1	240.7	156.4
Avril	112.4	114.4	118.7	146.9	182.1
Mai	251.3	252.7	254.5	275.1	208.1
Juin	230.0	225.9	218.7	256.8	236.7
Juillet	267.4	276.7	254.2	279.0	258.6
Août	274.0	277.5	274.3	261.9	236.8
Septembre	150.1	164.4	167.4	160.6	183.6
Octobre	95.0	111.9	104.9	110.8	120.0
Novembre	49.9	59.9	74.7	54.6	69.2
Décembre	39.4	56.9	50.9	45.9	49.8
Total annuel	1'939.4	2'069.4	2'040.0	1'984.8	1'854.4

L'année 2012 avec une moyenne inter-stations de 2'008 heures est une année relativement ensoleillée. Elle se classe 6<sup>e</sup> sur la période 1981 - 2012 (la 1<sup>e</sup> étant 2003 avec 2'290 h, la dernière étant 1987 avec 1'442 h) (tableau 3.2, figure 3.3).

Tableau 3.2 : Insolation annuelle de l'inter-stations (h).

Table 3.2 : Annual insolation at the inter-stations (h).

Années	Insolation total annuel	Années	Insolation total annuel
1981	1'557.5	1997	1'948.4
1982	1'730.8	1998	1'981.7
1983	1'635.7	1999	1'770.1
1984	1'713.3	2000	1'998.9
1985	1'829.2	2001	1'837.6
1986	1'611.0	2002	1'828.6
1987	1'442.5	2003	2'290.5
1988	1'652.7	2004	2'000.1
1989	1'864.4	2005	2'138.4
1990	1'973.2	2006	1'992.4
1991	1'870.0	2007	2'096.7
1992	1'676.1	2008	1'961.9
1993	1'669.2	2009	2'028.4
1994	1'707.5	2010	1'817.3
1995	1'896.5	2011	2'203.0
1996	1'769.3	2012	2'008.4

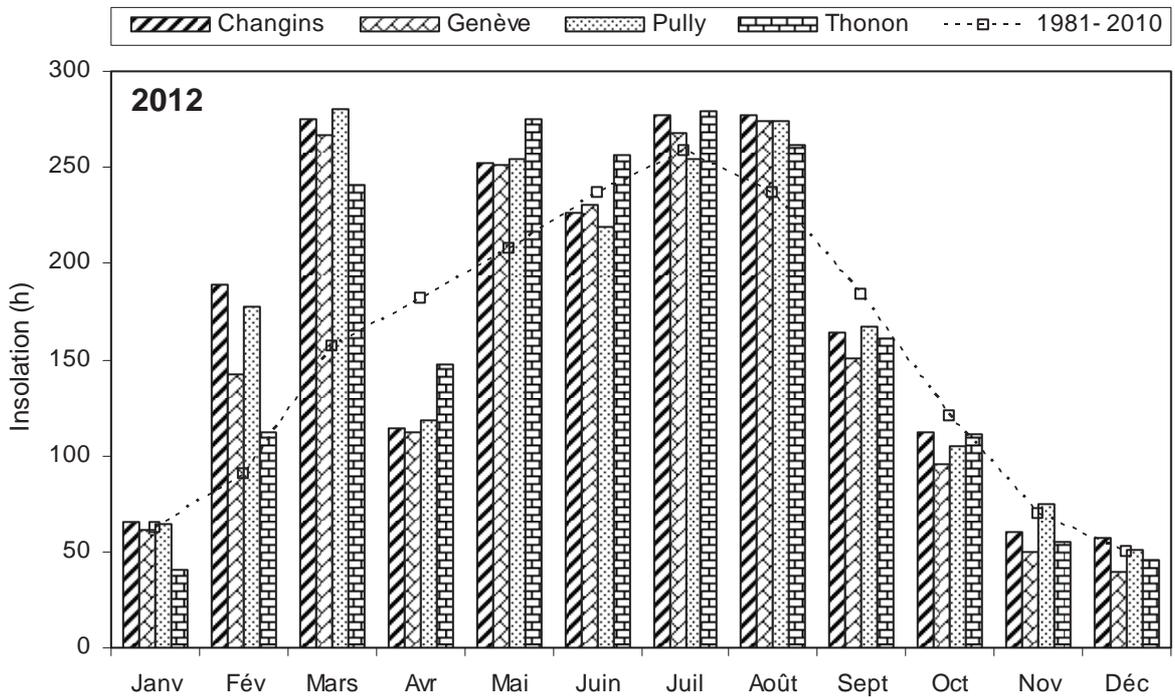


Figure 3.1 : Moyenne mensuelle de l'insolation de chaque station en 2012 (histogramme) et celle de l'inter-stations pendant la période 1981 - 2010 (courbe).

Figure 3.1 : Monthly insolation at each station in 2012 (histogram), and the mean inter-stations value for the period 1981 - 2010 (curve).

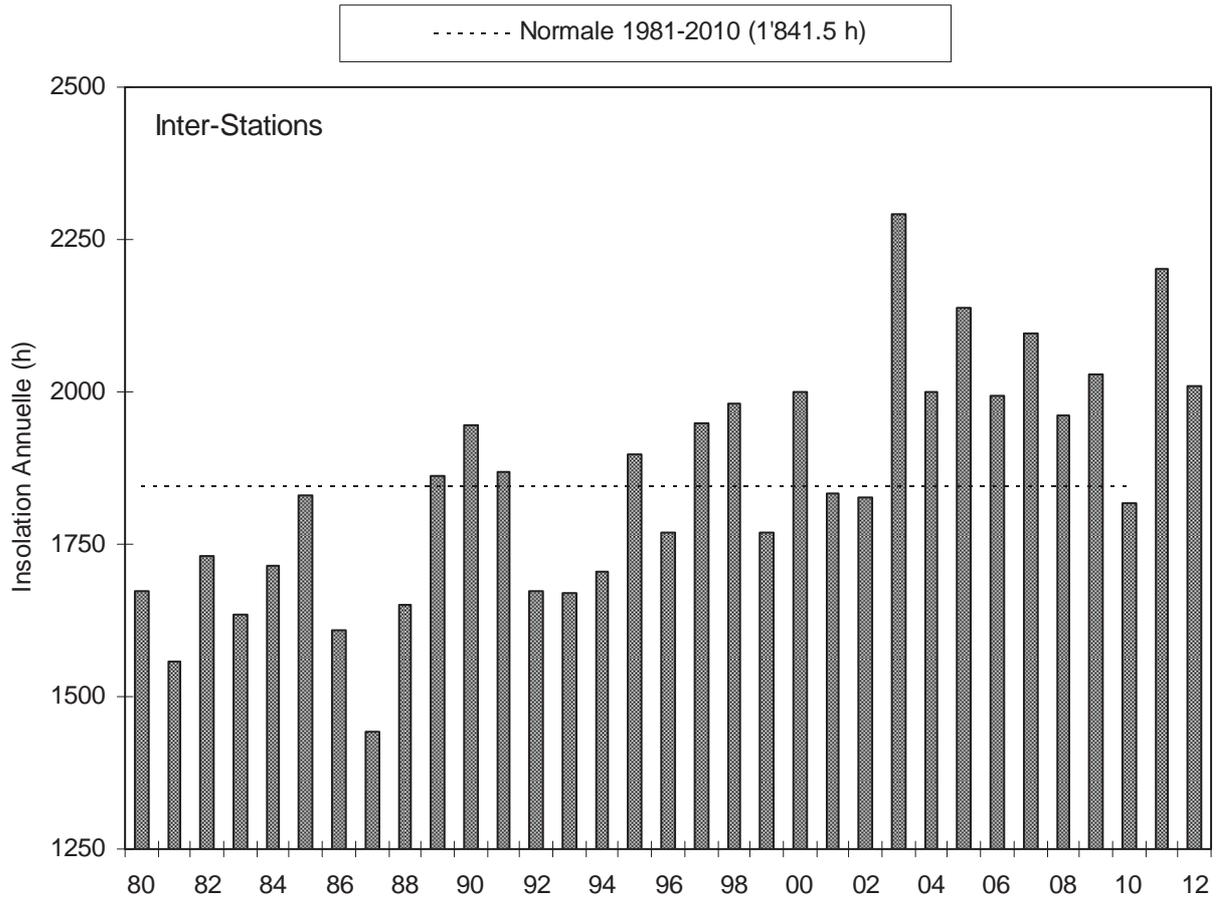


Figure 3.2 : Insolation annuelle de l'inter-stations.  
Figure 3.2 : Annual insolation at the inter-stations.

## 5. RAYONNEMENT

Définition: Le rayonnement global est composé de l'éclairement solaire direct et de l'éclairement solaire diffus provenant du ciel. La mesure est effectuée par des pyrromètres, opérant dans le domaine spectral de 0.3 à 3  $\mu\text{m}$ .

Les stations de Genève, Changins, Pully et Thonon sont équipées pour la mesure du rayonnement global (tableau 4.1, figure 4.1).

La moyenne inter-stations pour l'année 2012 est de 13.0 MJ·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>.

Tableau 4.1 : Rayonnement global mensuel à chaque station en 2012 (moyenne journalière en MJ·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>).

Table 4.1 : Global monthly solar irradiation at each station in 2012 (mean daily irradiation in MJ·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>).

	Genève	Changins	Pully	Thonon	inter-stations 1981-2010
Janvier	3.7	3.8	3.8	2.8	3.6
Février	9.0	9.8	9.4	7.1	6.5
Mars	16.2	15.8	15.6	14.7	11.2
Avril	14.3	13.6	14.2	13.3	15.6
Mai	22.6	22.3	22.0	21.6	18.8
Juin	22.6	22.0	20.7	21.7	21.3
Juillet	22.5	23.0	21.6	22.0	21.3
Août	20.3	20.6	20.3	19.6	18.2
Septembre	12.9	13.1	13.2	12.3	13.4
Octobre	7.7	8.1	7.9	7.4	7.9
Novembre	3.9	4.1	4.9	3.8	4.3
Décembre	2.8	3.4	3.1	2.7	2.9
Moyenne annuelle	13.2	13.3	13.1	12.4	12.1

Pour l'inter-stations en 2012, le rayonnement global annuel obtenu est de 4'746.9 MJ·m<sup>-2</sup>, ce qui classe l'année 2012, 5<sup>e</sup> sur la période 1981–2012 (tableau 4.2, figure 4.2).

Tableau 4.2 : Rayonnement global annuel en inter-stations (MJ·m<sup>-2</sup>).

Table 4.2 : Global annual solar irradiation at the inter-stations (MJ·m<sup>-2</sup>).

Années	Rayonnement global total annuel	Années	Rayonnement global total annuel
1981	4'263	1997	4'405
1982	4'391	1998	4'378
1983	4'239	1999	4'188
1984	4'274	2000	4'488
1985	4'485	2001	4'310
1986	4'178	2002	4'337
1987	3'956	2003	4'894
1988	4'139	2004	4'858
1989	4'325	2005	4'712
1990	4'401	2006	4'593
1991	4'415	2007	4'671
1992	4'219	2008	4'486
1993	4'126	2009	4'837
1994	4'100	2010	4'575
1995	4'339	2011	5'000
1996	4'310	<b>2012</b>	<b>4'747</b>

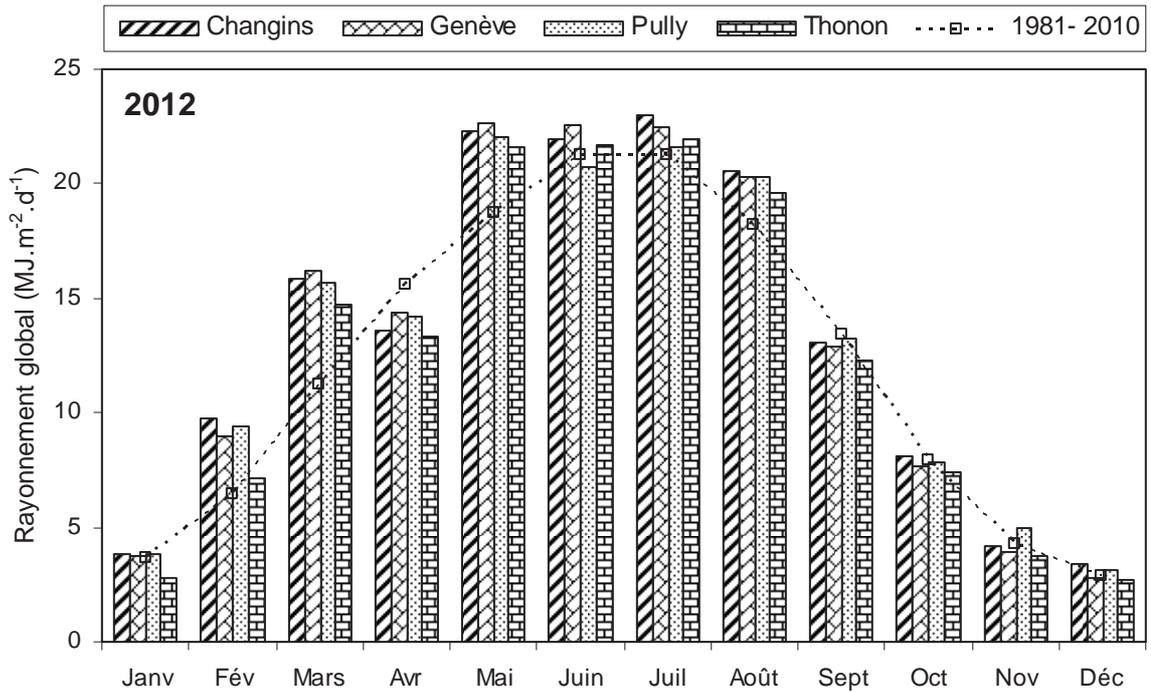


Figure 4.1 : Moyenne mensuelle du rayonnement global de chaque station en 2012 (histogrammes) et de l'inter-stations pendant la période 1981 - 2010 (courbe).

Figure 4.1 : Mean monthly global solar irradiation at each station in 2012 (histogram) and the mean inter-stations value for the period 1981 - 2010 (curve).

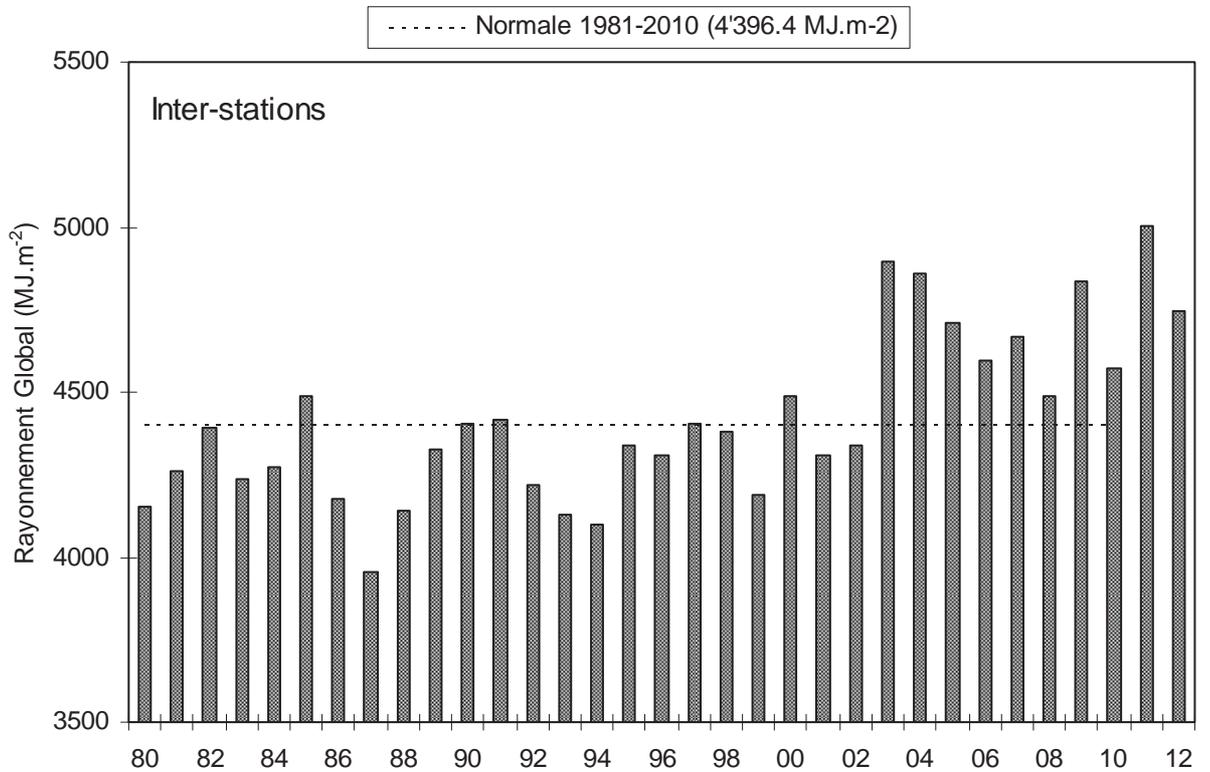


Figure 4.2 : Rayonnement global annuel de l'inter-stations (MJ.m-2).

Figure 4.2 : Global annual solar irradiation at the inter-stations (MJ.m-2).

## 6. VENT

### 6.1 Vitesse du vent

A Changins, station de référence, à part les mois de février et avril (dans une moindre mesure), les vitesses moyennes du vent des autres mois de l'année 2012 sont moins élevées que la moyenne de la période 1981 - 2010 (tableau 5.1, figure 5.1 et tableau 5.2).

Tableau 5.1 : Moyenne mensuelle de la vitesse du vent en 2012 (m·s<sup>-1</sup>)

Table 5.1 : Mean monthly wind speeds in 2012 (m·s<sup>-1</sup>).

	Genève	Changins	Pully	Thonon	Changins 1981-2010
Janvier	2.2	2.8	1.4	1.6	2.4
Février	3.9	4.2	2.2	3.3	2.8
Mars	2.8	2.8	1.7	1.2	3.3
Avril	3.6	3.3	1.7	2.0	3.3
Mai	2.5	2.5	1.7	1.2	2.8
Juin	2.5	2.2	1.4	1.1	2.8
Juillet	2.5	2.5	1.7	1.6	2.7
Août	1.7	1.9	1.4	0.9	2.6
Septembre	2.5	2.5	1.4	1.5	2.6
Octobre	1.9	1.9	1.4	1.5	2.4
Novembre	2.2	1.9	1.4	1.5	2.5
Décembre	2.5	2.5	1.7	1.4	2.6
Moyenne annuelle	<b>2.6</b>	<b>2.6</b>	<b>1.6</b>	<b>1.6</b>	2.7

Pour l'année 2012 à Changins, il a été enregistré 29 jours de vent fort (> 5 m.s<sup>-1</sup>) dont pratiquement un tiers de ceux-ci au mois de février (figure 5.2). Le maximum de vent moyen journalier a été relevé pour l'année 2012 le 10 février (avec 11.36 m.s<sup>-1</sup>). De plus, il y a eu en 2012, 4 jours où la vitesse du vent a été enregistrée à 4.99 m.s<sup>-1</sup> (que l'on peut intégrer au nombre de jours à vent fort, car les données de vent sont fournies arrondies et en km/h).

Tableau 5.2 : Vent moyen annuel à Changins (m·s<sup>-1</sup>).

Table 5.2 : Mean annual wind speed at Changins (m·s<sup>-1</sup>).

Années	Vent moyen annuel	Années	Vent moyen annuel
1981	2.5	1997	2.5
1982	2.6	1998	3.0
1983	2.7	1999	2.9
1984	3.4	2000	2.6
1985	3.0	2001	2.8
1986	2.9	2002	2.6
1987	2.7	2003	2.3
1988	3.1	2004	2.4
1989	3.0	2005	2.2
1990	3.1	2006	2.4
1991	3.2	2007	2.7
1992	2.8	2008	2.5
1993	2.9	2009	2.6
1994	2.7	2010	2.6
1995	2.9	2011	2.2
1996	2.7	<b>2012</b>	<b>2.6</b>

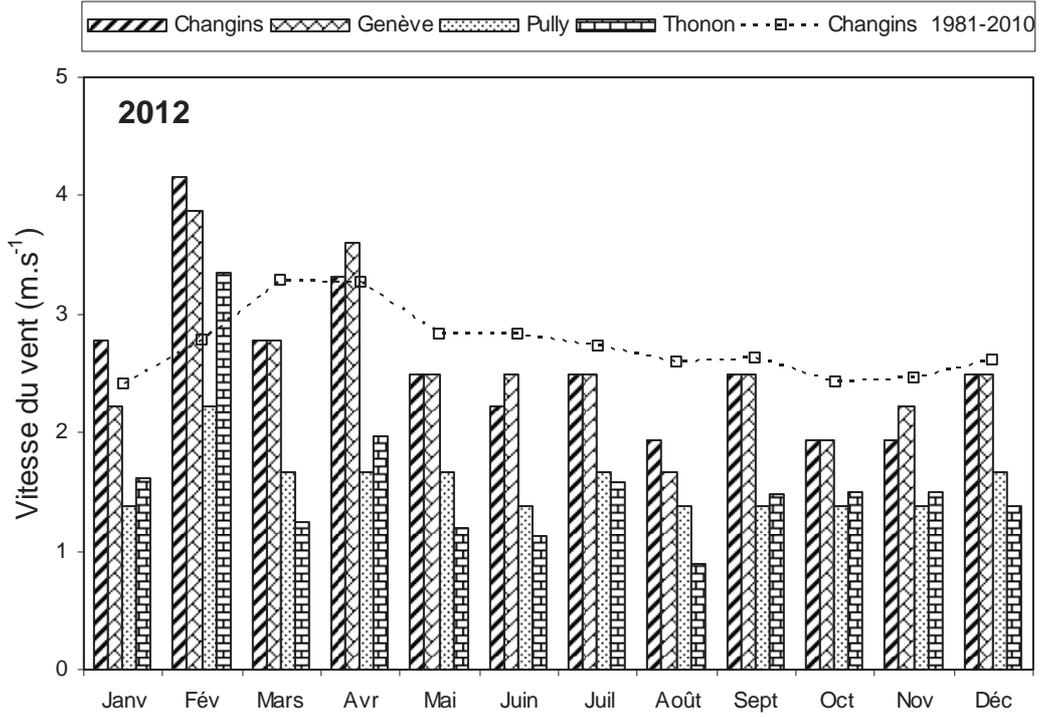


Figure 5.1 : Moyenne mensuelle de la vitesse de vent de chaque station en 2012 (histogramme) et celle de Changins pendant la période 1981 - 2010 (courbe).

Figure 5.1 : Mean monthly wind speeds at each station in 2012 (histogram), and at Changins for the period 1981 - 2010 (curve).

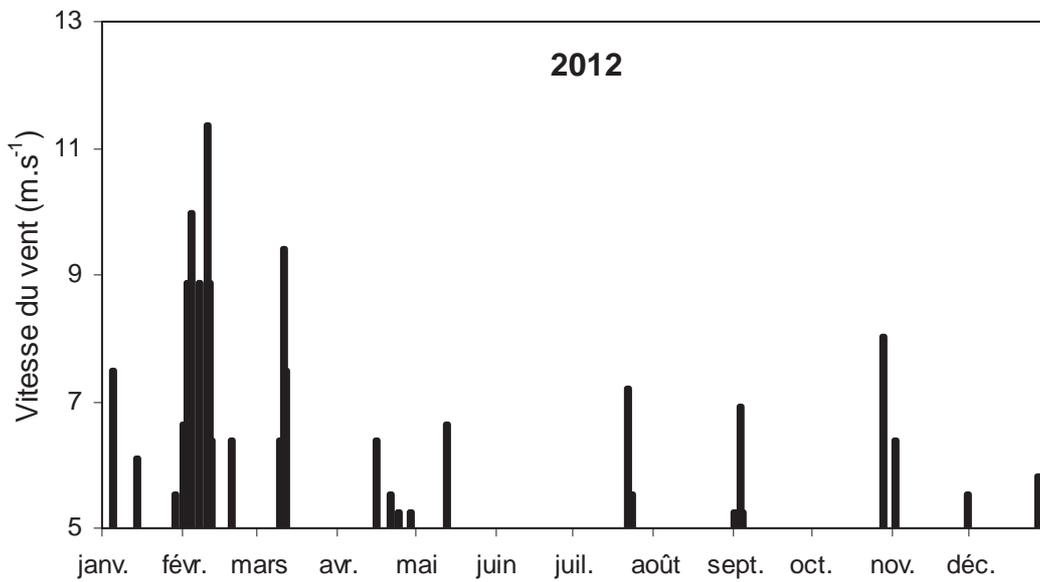


Figure 5.2 : Répartition annuelle (en 2012) des vents forts ( $> 5 m \cdot s^{-1}$ ) à Changins.

Figure 5.2 : Annual distribution (in 2012) of strong winds ( $> 5 m \cdot s^{-1}$ ) at Changins.

## 6.2 Rose des vents

Pour l'année 2012 à Changins, 60% des vents (figure 5.3) se répartissent principalement selon le demi-cercle S-N. Sur les 12.5% des vents qui sont supérieurs à 5 m·s<sup>-1</sup>, 64% de ces vents sont d'origine N-E ; alors que 29% sont d'origine opposée S-O.

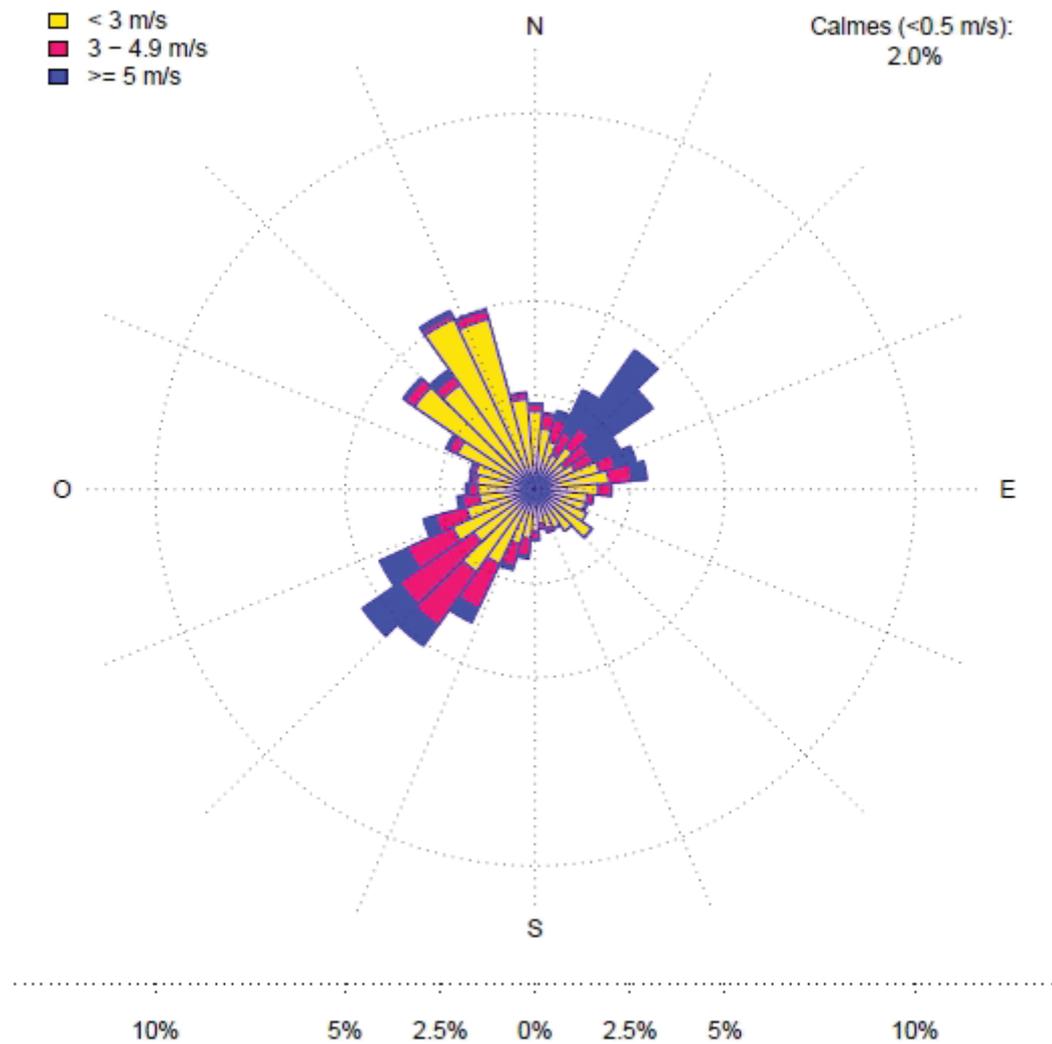


Figure 5.3 : Rose des vents moyens à Changins en 2012 (calculée en moyennes horaires de la vitesse du vent - échelle : % d'occurrence).

Figure 5.3 : Wind directions at Changins in 2012 (calculated as the hourly mean wind-scale velocity : % occurrence).

## BIBLIOGRAPHIE

GUYOT, G. (1997) : Climatologie de l'environnement. De la plante aux écosystèmes. Masson éd., Paris, 505 p.