

PHYTOPLANKTON DU LÉMAN

THE PHYTOPLANKTON OF LAKE GENEVA

CAMPAGNE 2013

PAR

Frédéric RIMET

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

RÉSUMÉ

*L'année 2013 est marquée par une biomasse printanière élevée. C'est à la fin mars/début avril que la biomasse va être la plus importante de l'année. Les diatomées centriques dominent la biomasse à cette période. Puis après la phase des eaux claires qui a lieu aux alentours du 27 mai, la biomasse va être divisée par 3 jusqu'à la fin de l'année. Pendant l'été ce sont les Cryptophycées et les Chrysophycées qui vont dominer. Les Chrysophycées sont indicatrices de conditions oligotrophes, leurs espèces dominantes sont des Dinobryon spp. Puis en automne, ce sont les Cryptophycées et les Cyanobactéries qui vont être dominantes. On note aussi des biomasses importantes d'une diatomée fréquente dans les biofilms benthiques littoraux (*Achnanthydium catenatum*). Sa présence en zone pélagique pourrait être liée aux fortes pluies et au ruissellement des rivières qui l'auraient amenée jusqu'en zone pélagique. La composition du phytoplancton en fin d'année est caractérisée par la dominance de diatomées et de Cryptophycées.*

Pour l'évolution interannuelle sur la période 1974-2013, on observe une progressive raréfaction des groupes fonctionnels indicateurs de conditions eutrophes et, a contrario, une augmentation de la biomasse relative des groupes fonctionnels indicateurs de conditions oligotrophes. Ceci est confirmé par la tendance à la hausse de l'indice Brettum qui classe ces dernières années le Léman en méso/faiblement eutrophe, alors qu'il le classait en eutrophe dans les années 70.

SUMMARY

*The year 2013 was marked by a high-spring biomass with an annual maximum in late March / early April. Centric diatoms dominated the biomass at that time. Then, after clear-water phase in late May, the biomass divided by three until the end of the year. During the summer, these were indicator species of oligotrophic conditions that settled and dominated (Chrysophyceae). Subsequently, autumnal communities settled, in particular Chrysophyceae and cyanobacteria. There was also a significant presence of a frequent diatom (*Achnanthydium catenatum*) in coastal benthic biofilms. Its presence in the pelagic zone may be related to heavy rainfall and river runoff that would have transported it to the pelagic zone. Phytoplankton composition at year-end was characterised by the dominance of diatoms and Chrysophyceae.*

For the inter-annual trend over the period 1974-2013, there was a progressive depletion of functional indicator groups of eutrophic conditions and, conversely, an increase in the relative biomass of functional indicator groups of oligotrophic conditions. This was confirmed by the increasing trend of Brettum Index, which ranked Lake Geneva in these recent years as meso / slightly eutrophic, while it ranked as eutrophic in the 70s.

1. INTRODUCTION

Le compartiment phytoplanctonique a fait l'objet d'un suivi durant l'année 2013 à la station SHL2 localisée au centre du Grand Lac (coord. CH : 534.70 / 144.95) entre Evian et Lausanne. Cette étude comporte l'analyse de l'évolution qualitative et quantitative des communautés phytoplanctoniques. Différentes métriques, telles que la diversité (indice de Shannon, Weaver & Shannon 1949), ainsi que l'indice de trophie de Brettum (1989), ont été calculés sur la toute la série chronologique (1974-2013). Les concentrations en chlorophylle *a* et la production phytoplanctonique font l'objet d'un chapitre séparé.

2. METHODES

Pour le Grand Lac, le phytoplancton a été récolté de janvier à novembre 2013 dans les 18 premiers mètres de la colonne d'eau à l'aide d'une cloche intégratrice d'eau brute (Pelletier & Orand 1978a et b). Ces prélèvements ont été effectués une fois par mois en janvier, février, avril, décembre et deux fois par mois pour les autres mois de l'année. Au final, 21 campagnes ont été menées en 2013.

Les échantillons d'eau brute sont fixés au Lugol ; puis des sous-échantillons d'un volume de 25 ml sont prélevés et mis à sédimenter. Les examens qualitatifs et quantitatifs se font au microscope inversé selon la technique Utermohl (1958), méthode maintenant normalisée au niveau français et européen (Afnor 2006). Les résultats des biomasses algales sont exprimés en $\mu\text{g/L}$. Le détail des protocoles est donné dans Druart & Rimet (2008), il est téléchargeable sur le site <http://www.dijon.inra.fr/thonon>

Différentes métriques ont été calculées à partir des listes floristiques : la biomasse des classes algales (sensus Bourelly 1972, 1981, 1985), la biomasse des taxons dominants, la biomasse des classes de tailles (micro et nanophytoplancton), la diversité phytoplanctonique (indice de Shannon), les groupes fonctionnels (ou guildes écologiques) selon Reynolds *et al.* (2002), et un indice de qualité trophique (Indice de Brettum calculé selon Kaiblinger et al., 2009).

3. RESULTATS

3.1 EVOLUTION SAISONNIÈRE DE L'ANNÉE 2013

3.1.A EVOLUTION DES CLASSES D'ALGUES ET DES TAXONS DOMINANTS

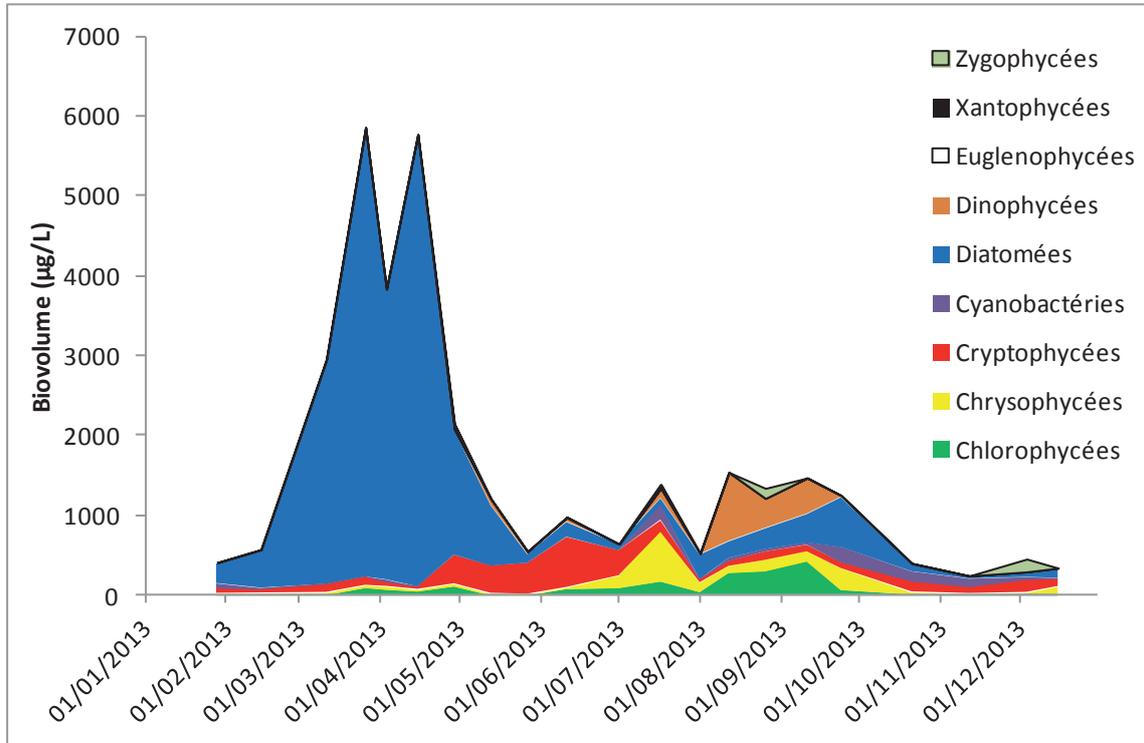


Figure 1 : Variations de la biomasse du phytoplancton par classe algale (sensus Bourrelly 1972, 1981, 1985) dans le Grand Lac (SHL 2) en 2013.

Figure 1 : Annual change in the biomass of phytoplankton groups (sensus Bourrelly, 1972, 1981, 1985) in Upper Lake Geneva during 2013

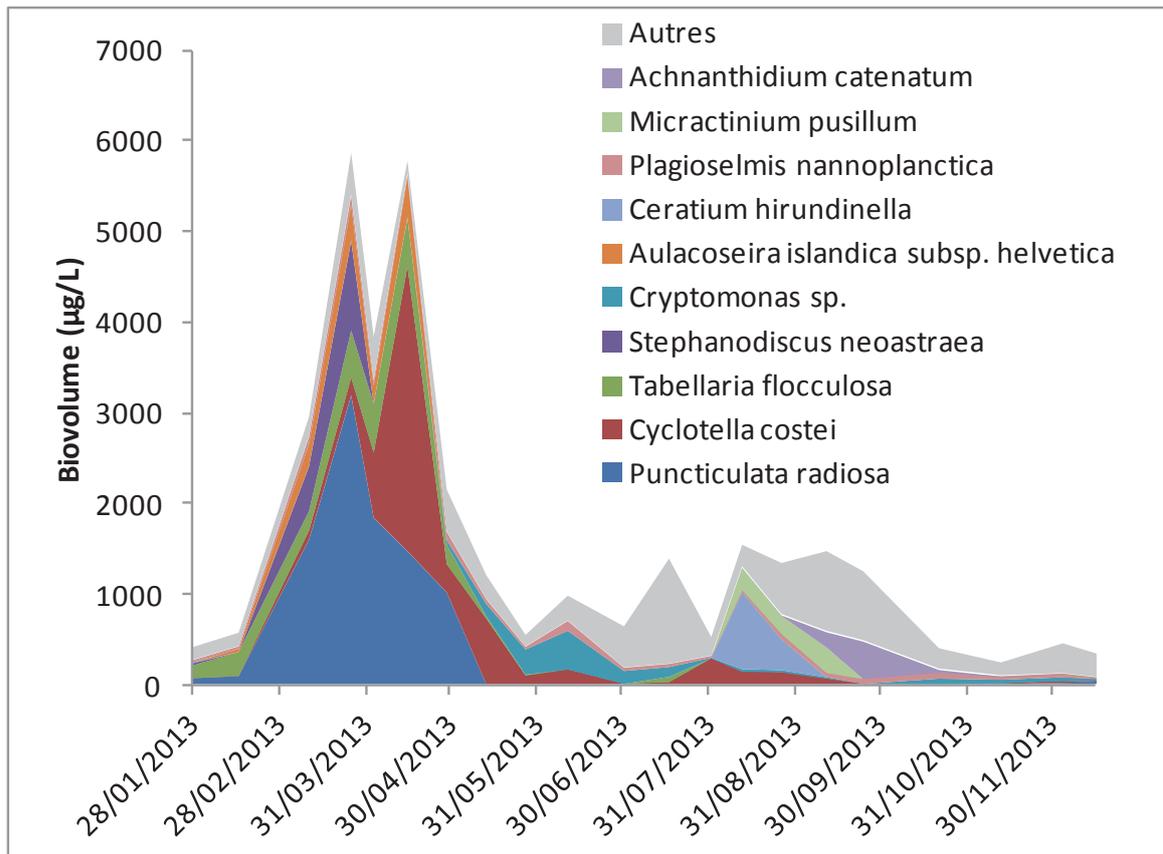


Figure 2 : Variations de la biomasse des principaux taxons du phytoplancton dans le Grand Lac (SHL 2) en 2013.

Figure 2 : Annual change in the biomass of the dominant phytoplankton taxa in Upper Lake Geneva during 2013.

Pour le Grand Lac, plusieurs phases peuvent être distinguées au cours de l'année 2013 (figures 1 et 2) :

Une phase hivernale et printanière (observée du 28 janvier au 13 mai) : pendant cette phase, on observe une forte biomasse algale entre la fin mars et la mi-avril (26 mars au 15 avril). Pendant cette période la biomasse algale est la plus élevée de toute l'année. Puis la biomasse diminue rapidement à la fin du mois d'avril.

Pendant le pic printanier, les diatomées dominent largement le compartiment phytoplanctonique : plus de 90% de la biomasse est représentée par cette classe algale. Les espèces qui dominent sont essentiellement des diatomées centriques telles *Puncticulata radiosa*, *Cyclotella costei*, *Stephanodiscus neoastraea*. Ces diatomées centriques sont typiques de cette saison puisqu'elles sont adaptées aux environnements brassés. On observe également des biomasses importantes d'une diatomée pennée araphidée, *Tabellaria flocculosa*. Elle forme de grandes colonies en zig-zag ; elle a été observée à la fin de l'année 2012 (Rimet 2013) et également pendant l'hiver 2000-2001 qui se caractérisait par un brassage complet du lac.

La phase des eaux claires est difficile à observer (pas de reprise de biomasse évidente en mai/juin), mais on peut supposer qu'elle se situe autour du 27 mai. A cette date, la biomasse est faible. A partir de cette date, les diatomées disparaissent. Elles ont été broutées préférentiellement par le zooplancton. Ce sont les Cryptophycées qui vont alors dominer le phytoplancton.

Une phase estivale (11 juin au 26 août) : pendant toute cette période la biomasse algale est faible. Ce sont d'abord les Cryptophycées qui vont dominer le compartiment phytoplanctonique jusqu'au 1er juillet. Elles sont ensuite remplacées par les Chrysophycées avec les *Dinobryon* spp. : ces espèces sont caractéristiques des milieux oligotrophes. Leur développement correspond à des couches d'eau où les nutriments ont été consommés et donc où leurs concentrations sont faibles. Les Chrysophycées vont présenter des biomasses relatives importantes jusqu'à la fin août. On note également pendant la phase estivale une augmentation

progressive de la biomasse relative des Chlorophycées. Elles sont principalement représentées par *Micractinium pusillum*, qui forme des colonies mucilagineuses, *Tetraselmis cordiformis*, qui est unicellulaire et présente des cellules nageuses, et plusieurs espèces de *Scenedesmus*. A la fin de l'été, on observe une augmentation de la biomasse en Dinophycées (*Ceratium hirundinella*, *Peridinium* spp., *Gymnodinium* spp.) : ces espèces sont souvent associées à des épilimnion stables et bien stratifiés des grands lacs (Reynolds et al., 2002, Padisak et al. 2009).

Une phase automnale du 11 septembre au 21 octobre. Cette phase se caractérise par une diminution progressive de la biomasse phytoplanctonique. Ce sont les Cryptophycées (*Cryptomonas* sp. et *Plagioselmis* spp.) ainsi que les Cyanobactéries qui dominent la biomasse. On note également des biomasses relativement importantes d'une diatomée pennée monoraphidée, *Achnanthydium catenatum*. Il s'agit d'une espèce plutôt benthique, que l'on retrouve dans les biofilms littoraux du Léman. Elle forme des petites chainettes et peut se retrouver également dans le plancton de manière épisodique. Elle a été observée pendant l'été 2012 avec des biomasses élevées, et aussi en septembre 1995 et 2010, et en novembre 2011 mais avec des biomasses plus faibles. Nous émettons l'hypothèse que ce taxon benthique se retrouve en zone pélagique après des épisodes pluvieux importants par simple dérivation (ruissellement des eaux de rivières) : les années 2012 et 2013 ont été plus pluvieuses que la moyenne, c'est particulièrement le cas pour le mois d'octobre en 2013. On peut également rapprocher cette observation de la présence de pics automnaux de biomasses phytoplanctoniques dans les lacs d'Annecy et du Bourget qui sont probablement aussi liés à cette forte pluviosité.

Une phase hivernale du 12 novembre au 16 décembre : la biomasse phytoplanctonique est globalement faible. Le compartiment est dominé par les Cryptophycées et les diatomées. On note une biomasse relativement importante de *Fragilaria crotonensis* (diatomée pennée rubanée).

3.1.B EVOLUTION DU MICRO ET DU NANOPHYTOPLANCTON

Les taxons nanophytoplanctoniques ont une longueur inférieure à 20 µm et un biovolume inférieur à 10 000 µm³, ceux du microphytoplancton une longueur supérieure à 20 µm et/ou un biovolume supérieur à 10 000 µm³.

La figure 3 présente la dynamique de ces deux compartiments dans le Grand Lac pour l'année 2013.

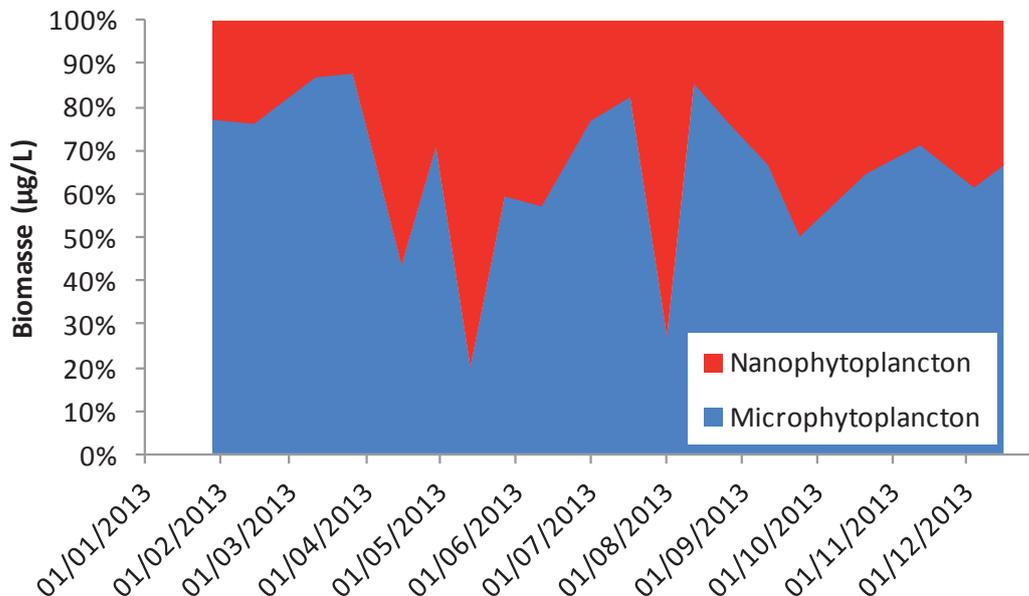


Figure 3 : Variations de la biomasse par classes de taille dans le Grand Lac (SHL 2) en 2013.
Figure 3 : Changes in biomass per size class in the Lake Geneva (SHL 2) in 2013.

Pour l'année 2013, on observe une dominance du microphytoplancton en début d'année (jusqu'au 3 avril), principalement du fait de grandes diatomées (*Stephanodiscus neoastraea*, *Tabellaria flocculosa*, *Puncticulata radiosa*). Le nanophytoplancton va prendre plus d'importance entre le 15 avril et le 11 juin. Puis, hormis le 17 juillet, le microphytoplancton va dominer la biomasse pendant la phase estivale (liée à la présence de grandes espèces telles *Cryptomonas* spp. et *Dinobryon* spp.). A partir de la phase automnale, la contribution relative de ces deux classes de taille à la biomasse va être plus équilibrée jusqu'à la fin de l'année (2/3 microphytoplancton et 1/3 nanophytoplancton).

3.2 EVOLUTION INTERANNUELLE

3.2.A EVOLUTION DES CLASSES D'ALGUES

La figure 5 présente l'évolution interannuelle des principales classes d'algues (sensu Bourrelly 1972, 1981, 1985) dans le Grand Lac.

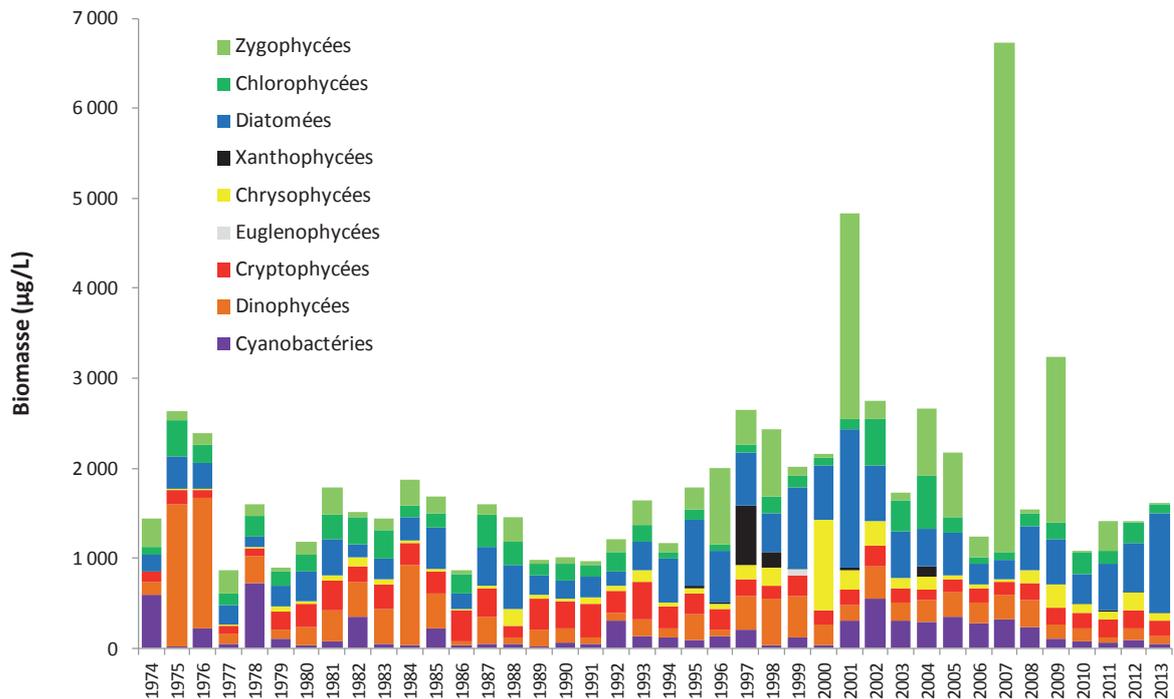


Figure 4 : Evolution interannuelle des principales classes algales (biomasse annuelle moyenne) dans le Grand Lac.

Figure 4 : Inter-annual change in annual mean biomass of phytoplankton groups in Upper Lake Geneva.

Pour le Grand Lac, l'année 2013 présente des biomasses semblables à celles observées depuis 2010.

Ce qui est remarquable est la baisse continue, depuis le début des années 2000, de la biomasse des cyanobactéries. Les Dinophycées présentent également des biomasses très faibles et en constante diminution depuis les années 70. La biomasse des diatomées est la plus élevée de toute la chronique après celle de l'année 2001. En 2001 les diatomées qui dominaient étaient des pennées (*Tabellaria flocculosa* et *Diatoma tenuis* principalement), alors qu'en 2013, il s'agit plutôt de diatomées centriques (*Puncticulata radiosa* et *Cyclotella costei*).

3.2.B EVOLUTION DE LA DIVERSITÉ

Un indice de diversité annuelle a été calculé sur la chronique 1974-2013. Pour chaque prélèvement, l'indice de Shannon est calculé. Un indice moyen pour chaque mois est calculé, puis à partir de ces indices mensuels, un indice annuel moyen est calculé, ainsi que le 10e et 90e centile. L'évolution de ces valeurs de 1974 à 2013 est donnée sur la figure 8.

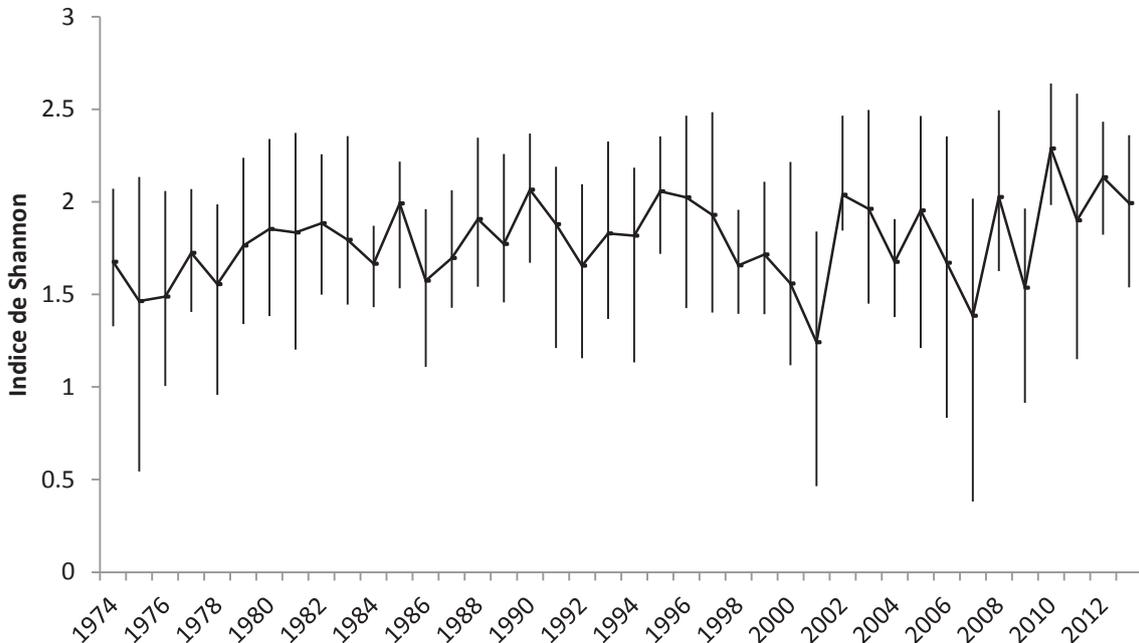


Figure 5 : Evolution interannuelle de l'indice de diversité de Shannon. La ligne représente l'évolution de la moyenne, les extrémités de la barre verticale 10e et 90e centile.

Figure 5 : Inter-annual trend of the Shannon diversity index. The line represents the trend of the mean and the ends of the 10th and 90th percentile vertical bar.

La diversité peut être un indicateur de niveau en nutriment en milieu aquatique, des relations sont régulièrement établies (ex. Russel-Hunter 1970, Schelske & Stoermer 1971). On observe une relative stabilité de l'indice, sauf les dernières années, où l'indice semble augmenter.

Par contre, dans les années récentes, on observe des diversités faibles en 2001, 2007 et 2009 : ceci correspond aux blooms de *Mougeotia gracillima* qui dominait fortement le peuplement.

3.2.C EVOLUTION DE L'INDICE DE QUALITÉ PHYTOPLANCTON BRETTUM

L'état trophique des lacs peut ainsi être évalué à partir d'indices basés sur la composition taxonomique et la biomasse phytoplanctonique. Une étude (Kaiblinger 2008, Kaiblinger et al. 2009) a montré que l'indice de Brettum (1989) est bien adapté à évaluer le niveau trophique des grands lacs alpins. Cet indice donne pour 133 taxons leur préférence par rapport à une concentration en phosphore. Plus cet indice est élevé plus l'état trophique est faible.

La figure 10 présente l'évolution de cet indice pour le Grand Lac. Les limites de classes de qualité écologiques sont reprises de l'exercice d'intercalibration européen de Wolfram et al. (2007).

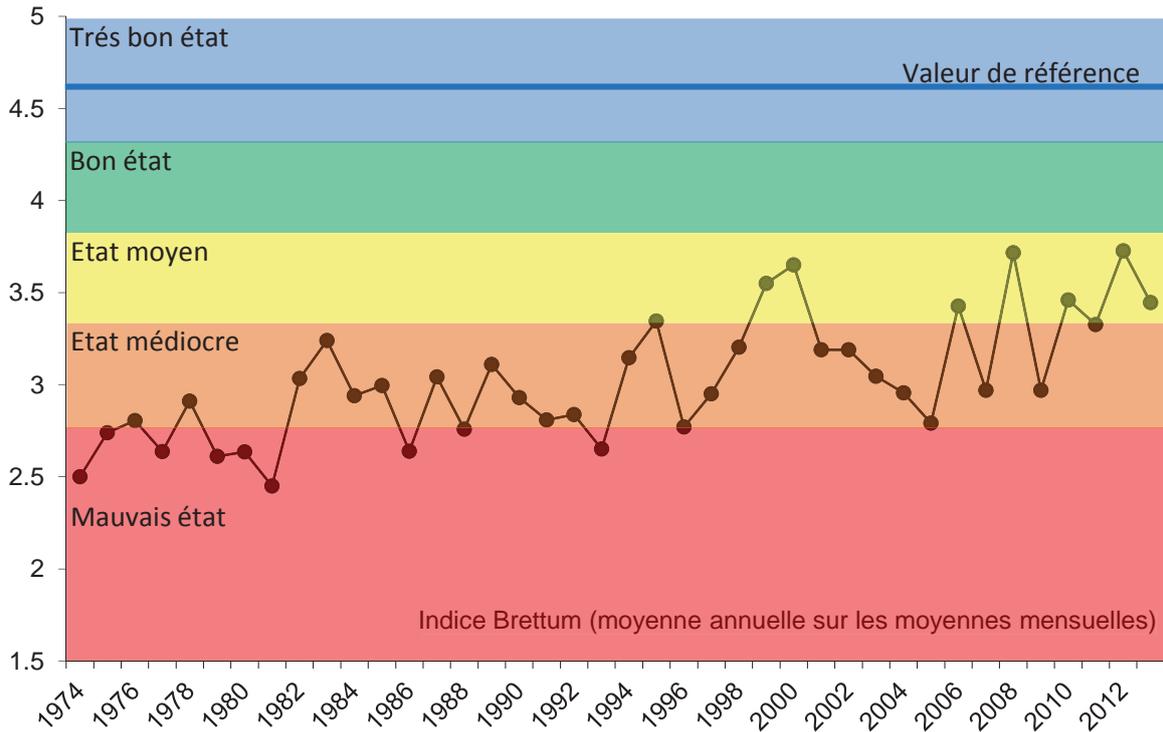


Figure 6 : Evolution de l'indice de qualité phytoplancton Brettum (1989) dans le Grand Lac. Les valeurs des limites de classes de qualité écologiques correspondent aux lacs du type L-AL-3 (Large alpine lakes) selon l'intercalibration lake type (Wolfram et al. 2007).

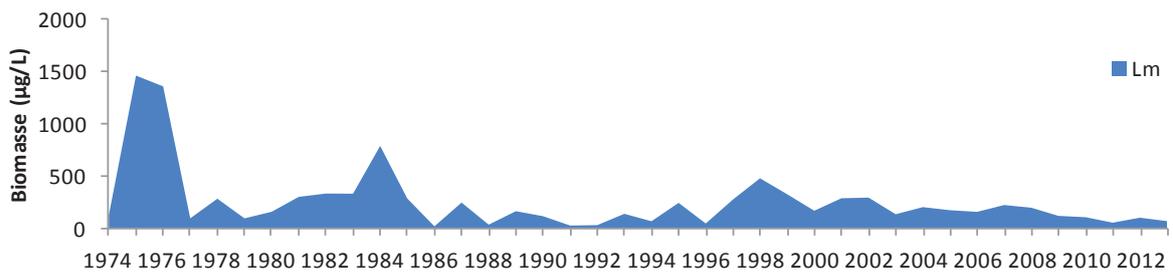
Figure 6 : Inter-annual changes in the values of Brettum index. Classes boundaries of the ecological quality are taken from lakes type L-AL-3 (Large alpine lakes) according to the intercalibration lake type (Wolfram et al. 2007).

Pour le Grand Lac, globalement une amélioration de la qualité des eaux est observable depuis 1974 (Figure 9). Entre 1974 et 1980 le lac était eutrophe selon l'indice de Brettum. L'indice présente une hausse, indiquant une amélioration de l'état trophique.

La valeur de 2013 est de 3.44 ce qui place le lac dans un état de qualité écologique moyen. Cette valeur est liée à des biomasses relatives importantes en diatomées centriques indicatrices de milieux méso à oligotrophes entre les mois d'avril à mai, ainsi qu'à celles de Chrysophycées indicatrices de conditions oligotrophes pendant la période estivale. Cette valeur pour l'année 2013 est légèrement plus faible que celle de 2012 mais ne remet pas en cause l'augmentation générale de l'indice.

3.2.D EVOLUTION DES GROUPES FONCTIONNELS

La dynamique interannuelle de certains groupes fonctionnels de Reynolds *et al.* (2002) sont donnés aux figures 10a et b.



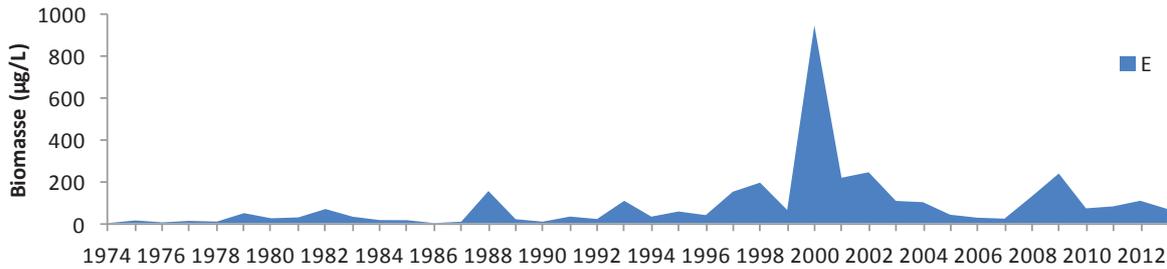


Figure 7 : Evolution de la dynamique interannuelle des groupes fonctionnels Lm et E de Reynolds et al. (2002).

Figure 7 : Long-term changes in annual biomass of functional groups Lm and E identified according to Reynolds et al. (2002).

Le groupe Lm rassemble les taxons caractéristiques des épilimnions eutrophes bien stratifiés. On observe une raréfaction de sa biomasse de l'année 1974 à l'année 2013 (fig. 11a). Le groupe E, qui rassemble des taxons caractéristiques des milieux oligotrophes, présente une dynamique inverse (fig. 11b). Ces dynamiques indiquent une ré-oligotrophisation de la masse d'eau.

4. CONCLUSIONS

La dynamique annuelle de l'année 2013 est caractérisée par une biomasse printanière importante et qui est nettement plus élevée que celle observée pendant les autres saisons. Les périodes hivernales et printanières sont dominées par les diatomées centriques. La phase des eaux claires est difficile à identifier mais se situerait aux alentours du 27 mai. Après cette date, la biomasse baisse fortement (elle est divisée par 3) et la composition phytoplanctonique change : les diatomées disparaissent pour laisser la place en été aux Cryptophycées et au Chrysophycées, indicatrices de conditions oligotrophes, puis les dinophycées deviennent dominantes. En automne, la communauté phytoplanctonique est essentiellement composée de Cryptophycées et les Cyanobactéries. Pendant cette saison, on note également des biomasses importantes d'une diatomée benthique abondante dans les biofilms littoraux. Sa présence pourrait être attribuée aux pluies automnales importantes, qui auraient favorisé la dérive de ce taxon jusqu'en zone pélagique. En fin d'année (hiver), la biomasse reste faible et dominée par les Cryptophycées et les diatomées.

La dynamique interannuelle du phytoplancton montre que depuis 2010 la biomasse est stable. Par contre on observe une augmentation de la biomasse des diatomées depuis 1974. On observe également une raréfaction des groupes fonctionnels indicateurs de conditions eutrophes et, a contrario, une augmentation de la biomasse relative des groupes fonctionnels indicateurs de lacs oligotrophe. Ceci est aussi confirmé par l'évolution de l'indice trophique de Brettum qui place actuellement le lac en état meso-faiblement eutrophe.

On remarque également que depuis 2010, les biomasses annuelles maximales ne sont plus observées en été ou en automne, mais elles sont observées au printemps, ce qui est aussi un signe de ré-oligotrophisation du lac.

BIBLIOGRAPHIE

- AFNOR, 2006. NF EN 15204. Qualité de l'eau - Norme guide pour le dénombrement du phytoplancton par microscopie inversée (méthode Utermöhl). Afnor: 41 pp.
- Bourrelly, P., 1972. Les Algues d'eau douce, Tome I: Les Algues vertes. 1-572pp.
- Bourrelly, P., 1981. Les Algues d'eau douce, Tome II: Les Algues jaunes et brunes. 1-517pp.
- Bourrelly, P., 1985. Les Algues d'eau douce, Tome III: Les Algues bleues et rouges. 1-606pp.
- Brettum, P., 1989. Algen als Indikatoren für die Gewässerqualität in norwegischen Binnenseen. Norsk Institutt for vannforskning NIVA, Norway: 102 pp.
- Druart, J.C. & Rimet F., 2008. Protocoles d'analyse du phytoplancton de l'INRA : prélèvement, dénombrement et biovolumes. INRA Thonon, Rapport SHL 283 – 2008, 96 pp.
- Kaiblinger, K., 2008. Water quality assessment in lakes with special focus on Phytoplankton indices used within the EU Water Framework Directive (WFD). Rapport I.L. 277/08, DEC0470, INRA Thonon, France: 45 pp.
- Kaiblinger, C., Anneville, O., Tadonleke, R., Rimet, F., Druart, J. C., Guillard, J. & Dokulil, M. T. 2009. Central European water quality indices applied to long-term data from peri-alpine lakes: test and possible improvements. *Hydrobiologia* 633: 67-74.
- Padisak J., Crossetti L.O. & Naselli-Flores L., 2009. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hydrobiologia* 621: 1-19.
- Pelletier, J. P. & Orand, A., 1978a. Appareil de prélèvement d'un échantillon dans un fluide. Brevet d'invention 76.08579.
- Pelletier, J. P. & Orand, A., 1978b. Bouteille à prélèvement intégré - Mode d'emploi. INRA Thonon, France: 9 pp.
- Reynolds, C. S., Huszar, V., Kruk, C., Naselli-Flores, L. & Melo, S. 2002. Toward a functional classification of the freshwater phytoplankton. *J. Plankton Res.* 24: 417-428.
- Rimet F., 2013. Phytoplancton du Léman. Campagne 2012. Rapport Cipel: pages 82-93.
- Russel-Hunter, 1970, *Aquatic productivity*, New-York.
- Schelske and E. F. Stoermer, 1971, Eutrophication, silica depletion, and predicted changes in algal quality in Lake Michigan. *Science* 173 : 423-424.
- Utermohl, H., 1958. Zür Vervollkommung der quantitative Phytoplankton Methodik. *Mitt. Internat. Ver. Theor. Anqew. Limnol.* 9: 1-38.
- Weaver, W. & Shannon, C. E., 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana, Illinois University of Illinois Press.
- Wolfram, G., Dokulil, M., Pall, K., Reichmann, M., Schulz, L., Argillier, C., de Bortoli, J., Martinez, J. P., Rioury, C., Hoehn, E., Riedmuller, U., Schaumburg, J., Stelzer, D., Buzzi, F., Dalmiglio, A., Morabito, G., Marchetto, A., Remec-Rekar, S. & Urbanic, G., 2007. Intercalibration Exercise, Technical Report + Annexes, Alpine GIG (Lakes). Vienna - Ispra.