

PHYTOPLANCTON DU LÉMAN

THE PHYTOPLANKTON OF LAKE GENEVA

CAMPAGNE 2012

PAR

Frédéric RIMET

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

RÉSUMÉ

*L'année 2012 est marquée par le brassage complet du lac au mois de février. Cet évènement amène une quantité importante de nutriments dans la zone euphotique qui va modifier la composition taxonomique du phytoplancton par rapport aux années précédentes. En effet, la proportion de Chlorophycées, indicatrices de milieux eutrophes est plus importante pendant l'été. D'autre part, des diatomées littorales (*Achnanthes catenatum*, *Fragilaria perminuta*) vont dominer le peuplement en été. La proportion en Chrysophycées est plus faible que d'habitude. En automne, une cyanobactérie potentiellement toxique, *Aphanizomenon flos-aquae* va dépasser le seuil d'alerte 1 de l'OMS pendant le mois de novembre. Sa biomasse diminue en décembre.*

Pour l'évolution interannuelle, on observe que l'indice de Brettum, indicateur du niveau trophique du lac, présente sa meilleure valeur depuis 1974 malgré un accroissement estival d'espèces caractéristiques de milieux eutrophes. Ceci est confirmé par l'augmentation régulière de taxons oligotrophes et inversement la diminution des taxons indicateurs de milieux eutrophes.

ABSTRACT

*The year 2012 was marked by complete churning of the Lake during the month of February. This brought large amounts of nutrients into the euphotic zone, which in turn led to changes in the taxonomic composition of the phytoplankton compared to the preceding years. The proportion of Chlorophyceae, which are indicative of a eutrophic environment, was higher during the summer. On the other hand, the littoral diatoms (*Achnanthes catenatum*, *Fragilaria perminuta*) dominated the populations present in the summer. The proportion of Chrysophyceae was lower than usual. In the autumn/fall, a potentially toxic cyanobacterium, *Aphanizomenon flos-aquae* rose above the first WHO warning threshold during the month of November. Its biomass decreased in December.*

With regard to the interannual change, the Brettum index, which is indicative of the trophic level of the lake, was at its best level since 1974. This was confirmed by the steady increase in oligotrophic taxa and the concomitant decrease in taxa indicative of eutrophic environments.

1. INTRODUCTION

Le compartiment phytoplanctonique a fait l'objet d'un suivi durant l'année 2012 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 du peuplement phytoplanctonique. 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. 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 2012 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, 20 campagnes ont été menées en 2012.

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 qualitatif et quantitatif 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 (sensu 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).

En plus de ces métriques, afin de compléter le diagnostic, nous avons utilisé les informations obtenues à partir d'une sonde spectrofluorimétrique (sonde BBE) permettant de détecter les diverses classes d'algues le long de la colonne d'eau. La sonde spectrofluorimétrique BBE est une sonde immergeable qui permet d'obtenir la concentration en μg équivalent de chl a.L^{-1} de diverses classes algales, en continu le long de la colonne d'eau. Le principe de mesure repose sur les capacités de fluorescence des algues phytoplanctoniques. La sonde est en effet capable de différencier les principaux groupes phytoplanctoniques (diatomées, dinoflagellés, algues vertes, cryptophycées, cyanobactéries riches en phycocyanine et un groupe mixte riche en phycoérythrine) sur la base de leurs caractéristiques pigmentaires propres (Moldaenke, 2002).

3. RESULTATS

3.1 Evolution saisonnière de l'année 2012

3.1.a Evolution des classes d'algues et des taxons dominants

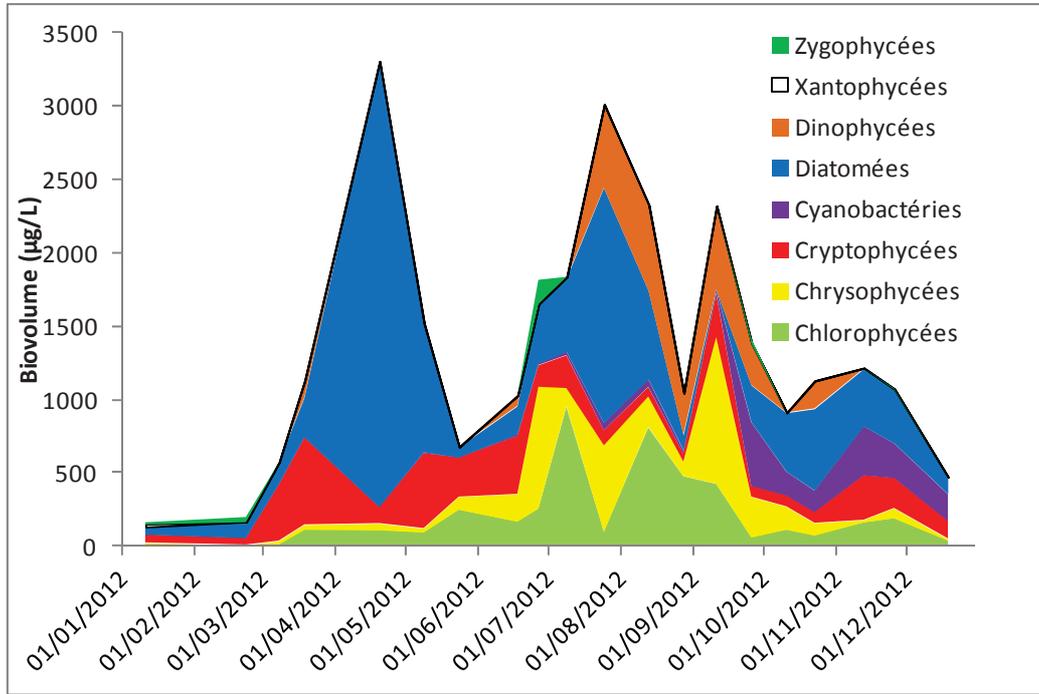


Figure 1 : Variations de la biomasse du phytoplancton par classe algale (sensu Bourrelly 1972, 1981, 1985) dans le Grand Lac (SHL 2) en 2012.

Figure 1 : Variations in the biomass of phytoplankton by algal class in Grand Lac (SHL 2) in 2012.

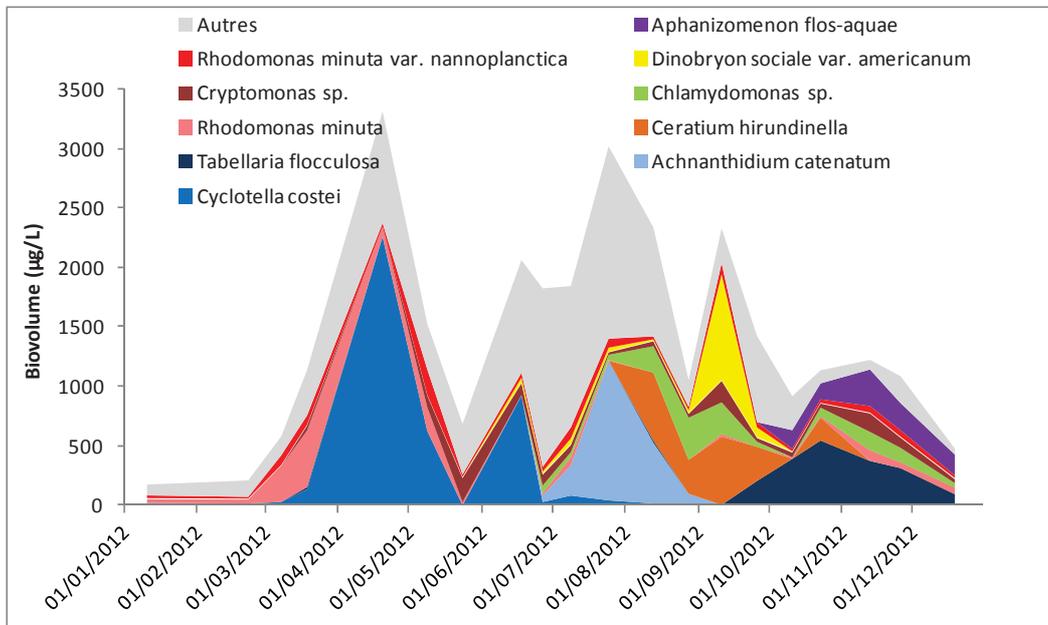


Figure 2 : Variations de la biomasse des principaux taxons du phytoplancton dans le Grand Lac (SHL 2) en 2012.

Figure 2 : Variations in the biomass of the main taxa of phytoplankton in Grand Lac (SHL 2) in 2012.

Pour le Grand Lac, plusieurs phases peuvent être distinguées au cours de l'année 2012 (figures 1 et 2) :

- Une phase hivernale (observée du 11 janvier au 8 mars) : la biomasse algale est faible et composée essentiellement de Cryptophycées (*Rhodomonas minuta* et sa var. *nannoplanctica*) ainsi que de petites diatomées centriques (*Cyclotella costei*). Pendant la 1^{ère} quinzaine de février, les très faibles températures extérieures vont permettre un brassage sur toute la profondeur du lac. Ceci explique les très faibles biomasses observées en février.
- Une phase printanière (19 mars au 9 mai) : la biomasse algale augmente fortement et va atteindre le 20 avril, la biomasse maximale de l'année 2012. Cette biomasse élevée a été favorisée par le brassage complet du lac qui a amené des nutriments provenant des couches profondes du lac. Les diatomées centriques (*Cyclotella costei*, *Discostella woltereckii*, *Puncticulata radiosa*, *Stephanodiscus alpinus*, *S. neoastrea*) représentent l'essentiel de la biomasse à cette période. Il s'agit de taxons sensibles à la stratification des eaux.
- Une phase des eaux claires observée autour du 24 mai : à cette date, la biomasse baisse fortement. Ce sont surtout les diatomées qui disparaissent, broutées préférentiellement par le zooplancton. Les Chlorophycées augmentent en proportion par rapport aux prélèvements précédents. Les Cryptophycées présentent une biomasse toujours importante à cette date.
- Une phase estivale (18 juin au 11 septembre) : la proportion des diatomées reste importante pendant l'été, avec dans un premier temps des diatomées centriques telles *Cyclotella costei*, *C. delicatula*, *Discostella woltereckii*, *Puncticulata radiosa*, *Stephanodiscus alpinus*, qui représentent l'essentiel de la biomasse des diatomées (18 juin). Puis, c'est *Achnanthydium catenatum* qui va dominer la biomasse des diatomées à partir du 27 juin, jusqu'au 28 août. 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 avait été déjà observée en septembre 1995 et 2010, et en novembre 2011 mais avec des biomasses plus faibles. On note également la présence pendant cette même période (27 juin au 28 août) de *Fragilaria perminuta*, également plutôt benthique littorale, qui ne forme pas de chainette (contrairement aux autres *Fragilaria*) mais est unicellulaire. Ces taxons sont inhabituels pour cette période de l'année qui est normalement dominée par *Fragilaria crotonensis* et *Asterionella formosa*.

Pendant la phase estivale, plusieurs espèces de Chlorophycées telles que *Scenedesmus acutus*, *Chlamydomonas* spp., *Pandorina morum* présentent des biomasses élevées. Ces taxons sont typiques de milieux eutrophes et sont inattendus à cette période, plutôt dominée par des Chrysophycées (ex. *Dinobryon* spp.) les années précédentes. Leur présence est probablement liée au brassage des eaux du fond et donc à l'enrichissement momentané des eaux de surface en nutriments.

Les Chrysophycées, telles les *Dinobryon* spp. -taxons caractéristiques des milieux oligotrophes-, sont présentes, mais leurs proportions en biomasses sont plus faibles que les autres années. Les Chrysophycées (avec principalement les *Dinobryon* spp.) vont dominer le phytoplancton seulement en fin d'été, le 11 septembre.

- Une phase automnale du 26 septembre au 26 novembre. Les cyanobactéries et les diatomées vont dominer le phytoplancton. C'est *Aphanizomenon flos-aquae*, cyanobactérie hétérocystée qui domine largement les cyanobactéries. C'est vers 15-20 m de profondeur que ce taxon trouve sa niche écologique lorsque la colonne d'eau est encore stratifiée (cf. profils BBE dans Rimet 2012). En 2012 on le retrouve jusqu'à 40 m (cf. fig 7). Ce taxon est potentiellement toxique ; il produit des anatoxines et saxitoxines (Afssa et Afsset 2006). Le seuil de risque 1 pour l'eau potable de l'OMS, a été dépassé le 13 et le 26 novembre (plus de 2000 cellules/ml). Au-delà de ce seuil, l'OMS préconise de chercher une eau moins chargée en cyanobactéries ou de s'assurer d'être en mesure d'éliminer les toxines. L'OMS conseille également de contrôler l'eau toutes les semaines au moins du point de vue des cyanobactéries. Si les cyanobactéries présentes sont susceptibles de produire d'autres toxines que la microcystine cette éventualité doit être investiguée.

Les diatomées sont également présentes avec *Tabellaria flocculosa* qui domine la biomasse du phytoplancton. Cette espèce avait été observée également avec des fortes biomasses pendant l'hiver 2000-2001, après un brassage presque complet du lac en mars 2001.

- Une phase hivernale le 19 décembre : la biomasse phytoplanctonique diminue, les Chlorophycées, les diatomées et les cyanobactéries présentent des proportions équivalentes en termes de biomasses. *Aphanizomenon flos-aquae* reste l'espèce dominante avec *Tabellaria flocculosa*.

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 2012.

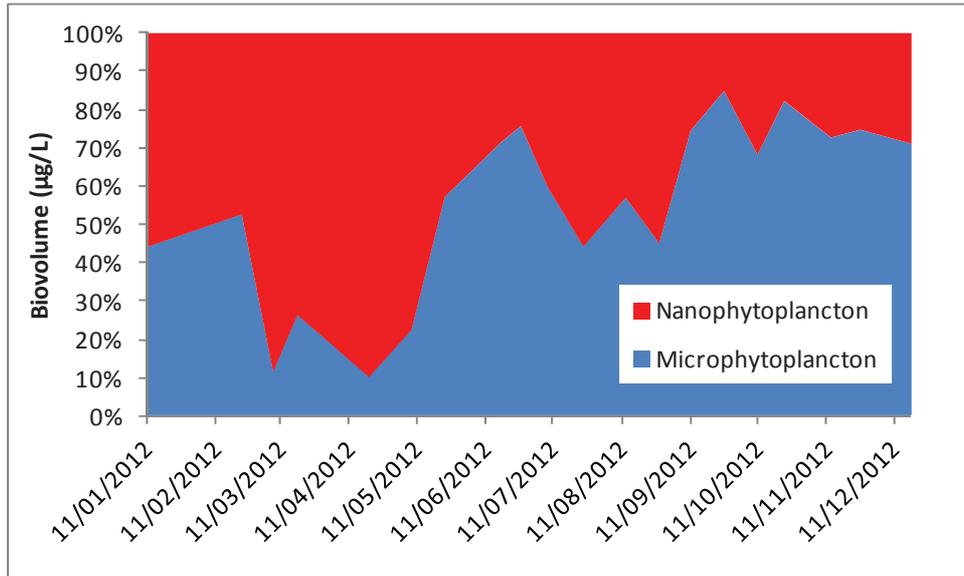


Figure 3 : Variations de la biomasse par classes de taille dans le Grand Lac (SHL 2) en 2012.

Figure 3 : Variations in the biomass per size class in Grand Lac (SHL 2) in 2012.

Pour l'année 2012, le micro et nanophytoplancton présentent des proportions en termes de biomasses équilibrées en début d'année (janvier, février). Puis les taxons de petites tailles (petites *Cyclotella*, *Discostella*), vont dominer le compartiment de mars à début mai. Puis à partir de la phase des eaux claires (24 mai), le microphytoplancton voit la proportion augmenter fortement. Pendant l'été, microphytoplancton et nanophytoplancton ont des biomasses proches. En automne, le microphytoplancton est dominant principalement à cause de la présence d'*Aphanizomenon flos-aquae* et *Tabellaria flocculosa*.

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.

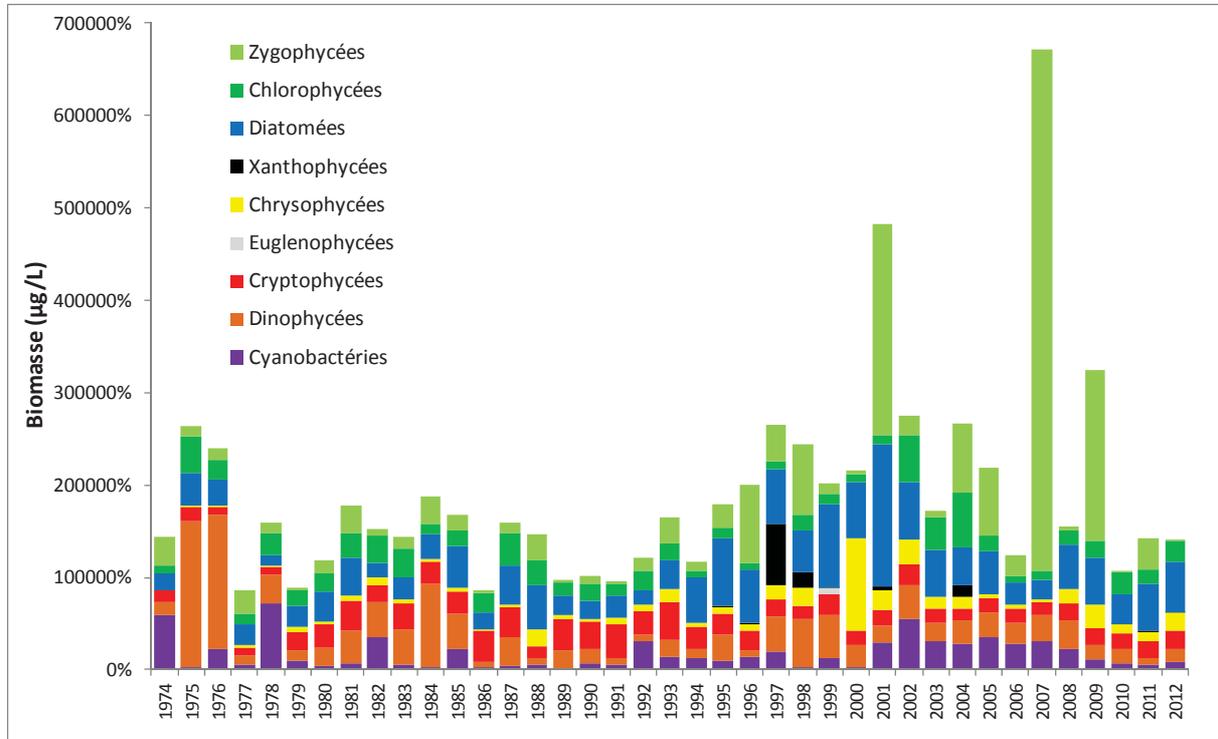


Figure 4 : Evolution interannuelle des principales classes algales (biomasse annuelle moyenne) dans le Grand Lac.

Figure 4 : Interannual change in the main algal classes (mean annual biomass).

Pour le Grand Lac, l'année 2012 présente des biomasses semblables à celles observées en 2011 (en mettant à part les années ayant présenté des blooms de *Mougeotia gracillima* en 2001, 2007 et 2009).

Les proportions des différentes classes algales sont proches de celles observées les années précédentes, malgré le fait que la composition en espèces est assez différente : présence en grande quantité d'*Achnanthydium catenatum*, *Tabellaria flocculosa*, *Aphanizomenon flos-aquae*, nombreuses Chlorophycées caractéristiques de milieux eutrophes (*Chlamydomonas* spp., *Pandoriona morum*, etc.).

3.2.b Profils de biomasse des principales classes d'algues

Ces profils sont obtenus grâce à la sonde spectrofluorimétrique BBE.

La figure 6 montre la dynamique des diatomées ; on observe une augmentation de leur biomasse en début de chaque année et pour l'année 2012 leurs biomasses sont particulièrement élevées (entre 0 et 30 mètres principalement, mais leur présence se retrouve jusqu'à 40 m). On note aussi de fortes biomasses de diatomées en été 2012 jusqu'à 15 m.

Les cyanobactéries (figure 7), présentent des biomasses importantes plutôt en automne (2008, 2009 et 2010). En 2012, la présence d'*Aphanizomenon flos-aquae* (cyanobactérie filamenteuse hétérocystée potentiellement toxique) n'est pas observable à la sonde à cause de des problèmes de fonctionnement à partir du mois d'octobre jusqu'en fin d'année (pas de relevés d'octobre à décembre).

Log algues brunes

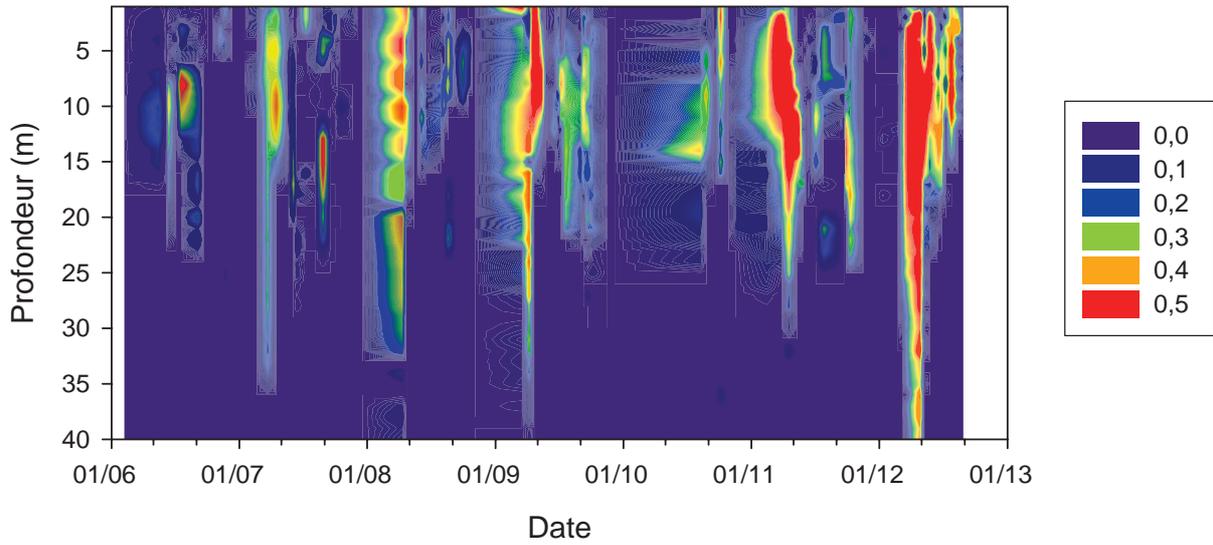


Figure 5 : Evolution de la distribution de la biomasse (exprimée en μg de chlorophylle/L) du groupe algal riche en Chlorophylle *a*, *c*, xanthophylle, fucoxanthéperidine (diatomées).

Figure 5 : Change in the distribution of the biomass (expressed in μg chlorophyll/L) of the algal group containing high levels of chlorophyll *a* and *c*, fucoxantheperidine (diatoms).

Log algues bleu-vertes

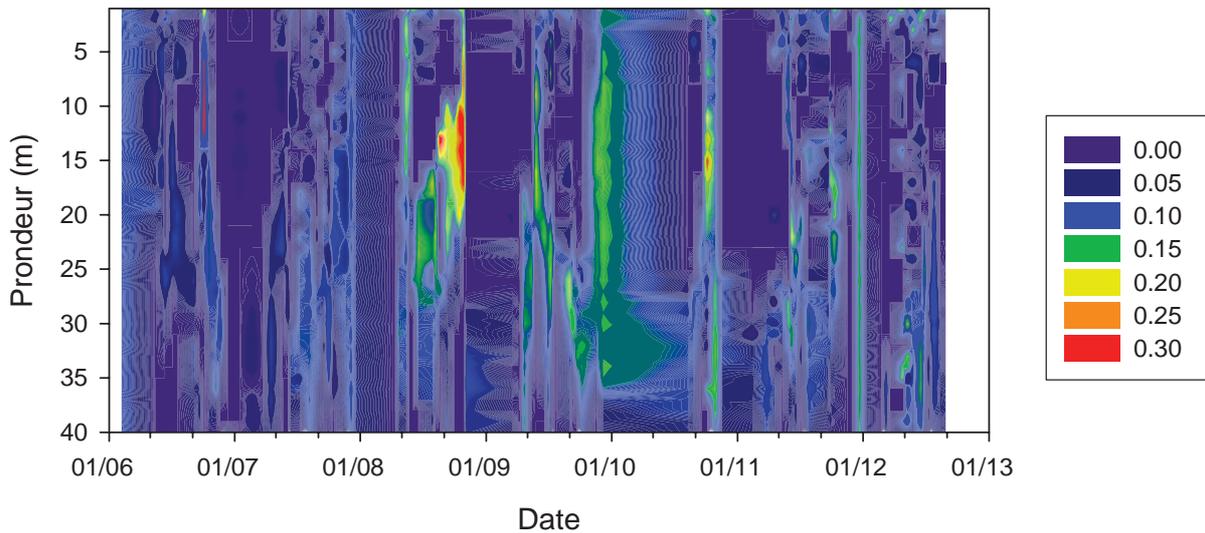


Figure 6 : Evolution de la distribution de la biomasse (exprimée en μg de chlorophylle/L) du groupe algal riche en chlorophylle *a*, et phycocyanines (Cyanobactéries).

Figure 6 : Change in the distribution of the biomass (expressed in μg chlorophyll/L) of the algal group containing high levels of chlorophyll *a* and *c*, xanthophyll and carotenoids (Chlorophyceae, Conjugates).

3.2.c Evolution de la diversité

Un indice de diversité annuelle a été calculé sur la chronique 1974-2012. Pour chaque prélèvement, l'indice de Shannon est calculé, puis la moyenne annuelle de ces indices est calculée pour chacune des années de 1974 à 2012.

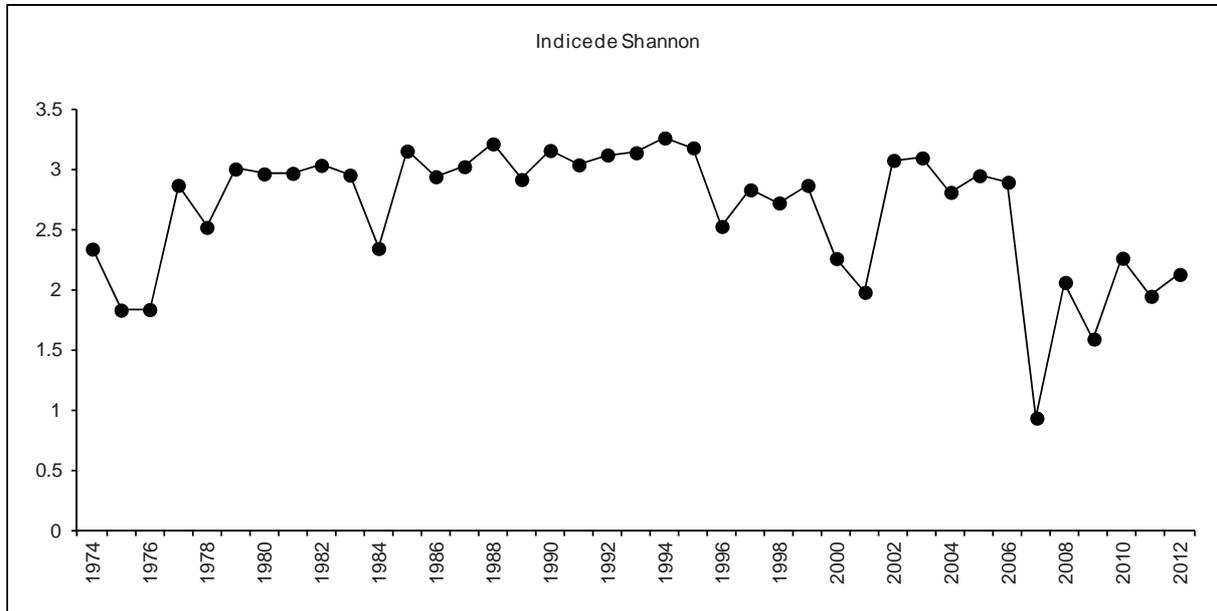


Figure 7 : Evolution interannuelle de l'indice de diversité de Shannon.

Figure 7 : Interannual change in the Shannon diversity index.

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).

Pour le Grand-Lac, la diversité de l'année 2012 est proche de celle des 5 dernières années. Cette diversité est plus faible que celle observée en moyenne avant 2007.

Les chutes de diversité en 2007 et 2009 correspondent aux blooms de *Mougeotia gracillima* qui dominait fortement le peuplement.

3.2.d 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 c'est l'indice de Brettum modifié par Wolfram (Wolfram et al. 2007; Wolfram & Dokulil 2007) qui était relativement bien adapté à évaluer le niveau trophique des grands lacs alpins mais nécessitait une correction. Cet indice corrigé donne pour 133 taxons leur préférence par rapport à une concentration en phosphore. Plus cet indice est élevé plus le niveau trophique sera faible. Les valeurs suivantes sont données par Wolfram et al. (2007) :

Classe Indice Brettum	Concentrations en TP	Etat trophique
6	$\leq 5 \mu\text{g.L}^{-1}$	ultra-oligotrophe
5	$5-8 \mu\text{g.L}^{-1}$	oligotrophe
4	$8-15 \mu\text{g.L}^{-1}$	oligo-mesotrophe
3	$15-30 \mu\text{g.L}^{-1}$	méso/faiblement eutrophe
2	$30-60 \mu\text{g.L}^{-1}$	eutrophe
1	$>60 \mu\text{g.L}^{-1}$	hypertrophe

La figure 8 présente l'évolution de cet indice pour le Grand Lac.

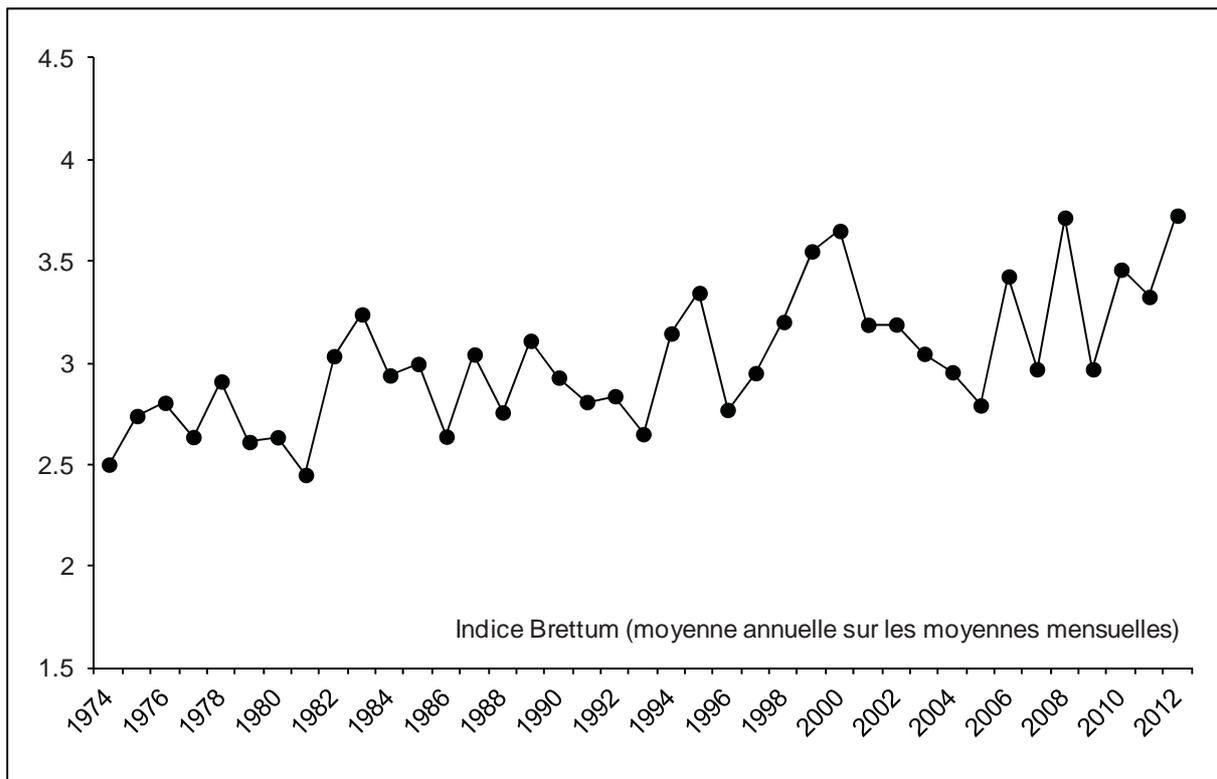


Figure 8 : Evolution de l'indice de qualité phytoplancton Brettum (1989) dans le Grand Lac.
Figure 8 : Change in Brettum's modified phytoplankton quality index (1989) in Grand Lac.

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 pour l'année 2012 est la plus élevée de toute la chronique, la valeur est de 3.72 (lac méso/faiblement eutrophe). Cette valeur élevée est liée à la présence de nombreuses diatomées centriques indicatrices de milieux méso à oligotrophes en début d'année (janvier à mai).

3.2.e Evolution des groupes fonctionnels

La dynamique interannuelle de certains groupes fonctionnels de Reynolds *et al.* (2002) sont donnés à la figure 9.

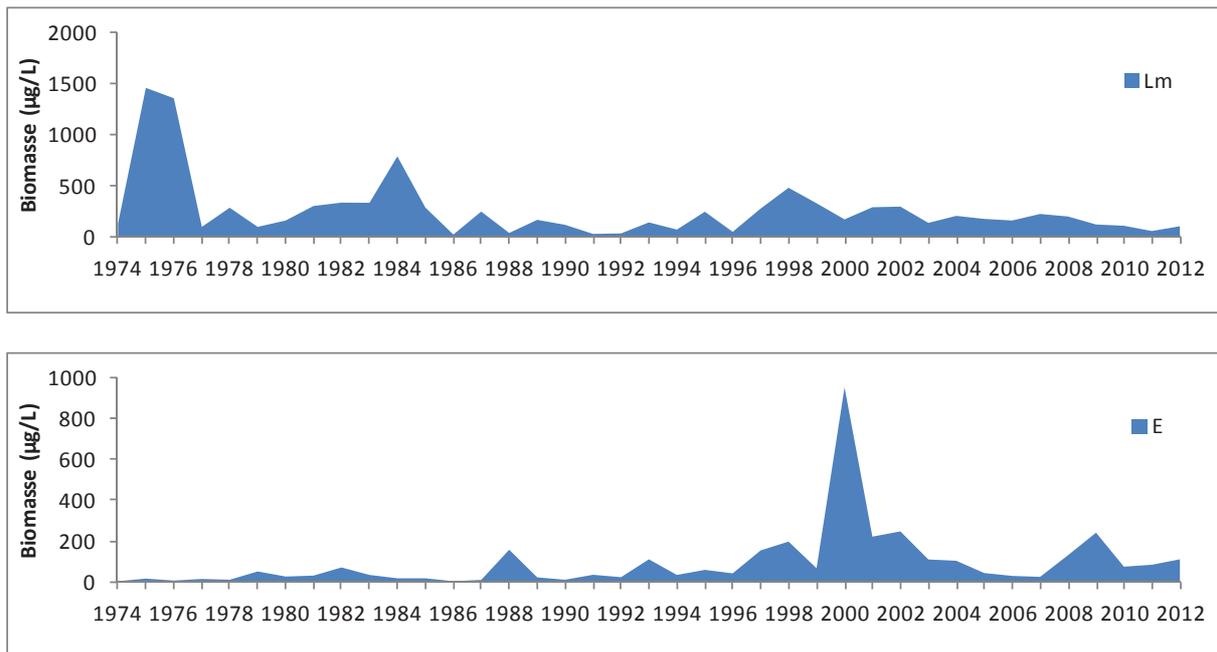


Figure 9 : Evolution de la dynamique interannuelle des groupes fonctionnels Lm et E de Reynolds et al. (2002).

Figure 9 : Change in the interannual dynamiy profile of the Lm and E fonctionnal groups of 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 2012 (fig. 9). Le groupe E, qui rassemble des taxons caractéristiques des milieux oligotrophes, présente une dynamique inverse (fig. 9). Ces dynamiques indiquent bien une ré-oligotrophisation de la masse d'eau.

4. CONCLUSIONS

La dynamique annuelle de 2012 est marquée par le brassage complet du lac qui a amené une quantité importante de nutriments dans la zone euphotique. De janvier à février, la biomasse est faible, puis après le brassage complet du lac, un pic de biomasse apparaît le 20 avril. Il est composé essentiellement de diatomées centriques adaptées au brassage des eaux. La phase des eaux claires apparaît autour du 24 mai.

Après cette phase, la composition en espèce change et va laisser la place à des taxons inhabituels par rapport aux années précédentes pour cette période de l'année. Tout d'abord, *Achnanthydium catenatum* et aussi *Fragilaria perminuta*. Ces taxons benthiques, sont normalement retrouvés dans les biofilms littoraux du Léman. Pendant l'été, on retrouve des biomasses importantes de Chlorophycées caractéristiques de milieux eutrophes (*Scenedesmus*, *Pandorina* ...), alors qu'à cette période, c'est plutôt des Chrysophycées (*Dinobryon* spp.) indicatrices de milieux oligotrophes que l'on retrouve. Les Chrysophycées ne vont présenter des biomasses importantes qu'en fin d'été.

En automne, la biomasse est dominée par une diatomée *Tabellaria flocculosa* et *Aphanizomenon flos-aquae*, une cyanobactérie potentiellement toxique, qui va dépasser le seuil d'alerte de niveau 1 de l'OMS en novembre. Puis la biomasse diminue en décembre, mais reste dominée par ces deux taxons.

L'analyse interannuelle du phytoplancton permet de montrer que la biomasse de 2012 est proche de celles des années précédentes. L'indice Brettum est le plus haut de toute la chronique et indique que le lac continue sa ré-oligotrophisation.

On continue à noter la baisse inter-annuelle régulière des taxons caractérisant les épilimnions eutrophes, et au contraire, l'augmentation régulière des taxons caractérisant les milieux oligotrophes. Cette tendance est à mettre en lien avec la diminution progressive de la concentration en phosphore observée dans le Léman depuis le début des années 80.

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.
- AFSSA et AFSSET 2006. Risques sanitaires liés à la présence de cyanobactéries dans l'eau. Évaluation des risques liés à la présence de cyanobactéries et de leurs toxines dans les eaux destinées à l'alimentation, à la baignade et autres activités récréatives. Paris, 227 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, DECO470, 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.
- Moldaenke, 2002. The bbe Fluoroprobe. Software manual. Kiel-Kronshagen, Germany: 41 pp.
- 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., 2012. Phytoplancton du Léman. Campagne 2011. Rapport Cipel: pages 67-77.
- 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. Angew. 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., 2007. Leitfaden zur erhebung der biologischen qualitatselemente. Teil B2 - Phytoplankton. Lebensministerium, Austria: 50 pp.
- 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.