

PHYTOPLANCTON DU LÉMAN

THE PHYTOPLANKTON OF LAKE GENEVA

Campagne 2011

PAR

Frédéric RIMET

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

RÉSUMÉ

Au cours de l'année 2011, 18 campagnes de prélèvement ont été effectuées au centre du Grand Lac (SHL2) dans la couche 0-18 m. La biomasse a augmenté de manière importante du début de l'année jusqu'à début juin, principalement du fait de petites diatomées centriques. Cette augmentation est probablement à relier aux températures clémentes et au bon ensoleillement du début d'année. Puis on observe une phase des eaux claires que l'on corrèle avec une chute de la concentration en phosphore et en silice. Ensuite, des communautés estivales s'installent, notamment avec des Dinophycées, des diatomées pennées et des Chrysophycées. A partir de septembre, la communauté est largement dominée par Mougeotia gracillima.

Tout comme observé pour la production primaire, l'année 2011 présente des valeurs de biomasses relativement faibles par rapport aux années précédentes. La biomasse cependant est légèrement plus importante qu'en 2010. Ceci est d'ailleurs indiqué par une baisse de la valeur de l'indice de Brettum. Mais globalement sur le long terme, le phytoplancton continue à indiquer une ré-oligotrophisation.

ABSTRACT

In the course of the year 2011, 18 sampling campaigns were carried out in the 0-18 m layer in the centre of Grand Lac (SHL2). The algal biomass rose considerably from the beginning of the year until the beginning of June; this was mainly attributable to small, centric diatoms. This increase should probably be attributed to the clement temperatures and sunshine in the early part of the year. A clear water phase was then observed, which was correlated with a fall in the concentrations of phosphorus and silica. Subsequently the summer communities were established, notably the Dinophyceae, the pennate diatoms and the Chlorophyceae. From September the community was markedly dominated by Mougeotia gracillima.

As we had seen for the primary production, the year 2011 was characterised by relatively low biomass levels compared to those in the preceding years. However, the biomass was slightly higher than in 2010. This was also reflected in a fall in the Brettum quality index. However, overall and over the long term, the phytoplankton continues to indicate re-oligotrophisation.

1. INTRODUCTION

Le compartiment phytoplanctonique a fait l'objet d'un suivi durant l'année 2011 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), modifié par Kaiblinger et al. (2009) 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. MÉTHODES

Pour le Grand Lac, le phytoplancton a été récolté de janvier à novembre 2011 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, août, octobre et deux fois par mois pour les autres mois de l'année. Seul le mois de décembre n'a pas pu être prélevé en raison des conditions météorologiques. Au final, 18 campagnes ont été menées en 2011.

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 µg/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* Bourely 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 immergée 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. RÉSULTATS

3.1 Évolution saisonnière de l'année 2011

3.1.1 Évolution des classes d'algues et des taxons dominants

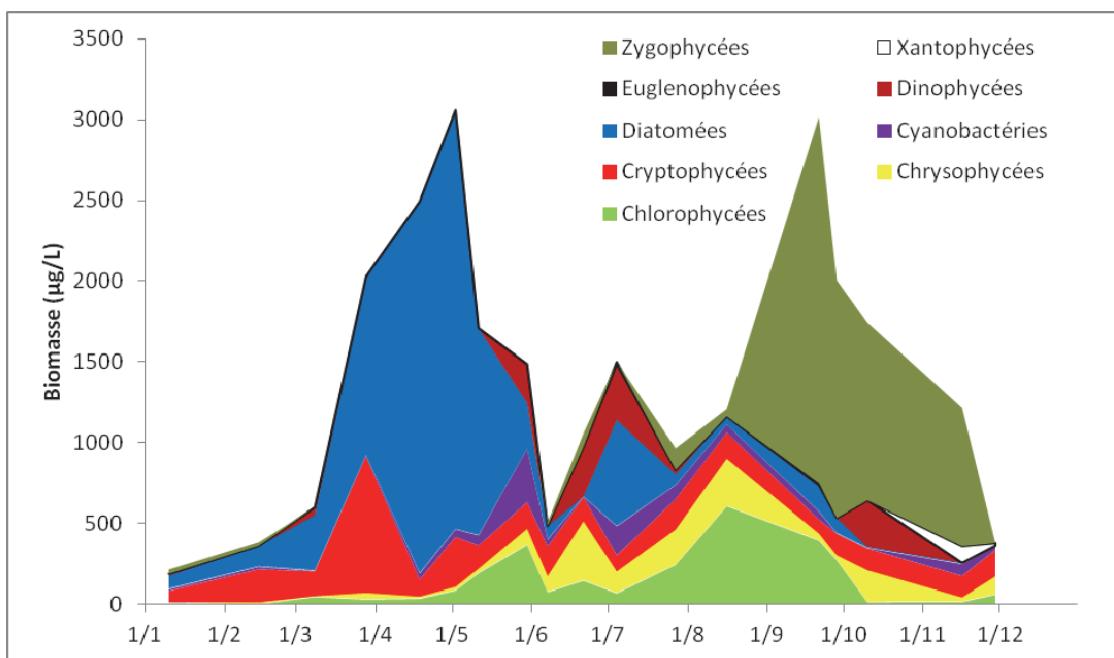


Figure 1 : Variations de la biomasse du phytoplancton par classe algale (sensu Bourrelly 1972, 1981, 1985) dans le Grand Lac (SHL 2) en 2011.

Figure 1 : Variations in the biomass of phytoplankton by algal class in Grand Lac (SHL 2) in 2011.

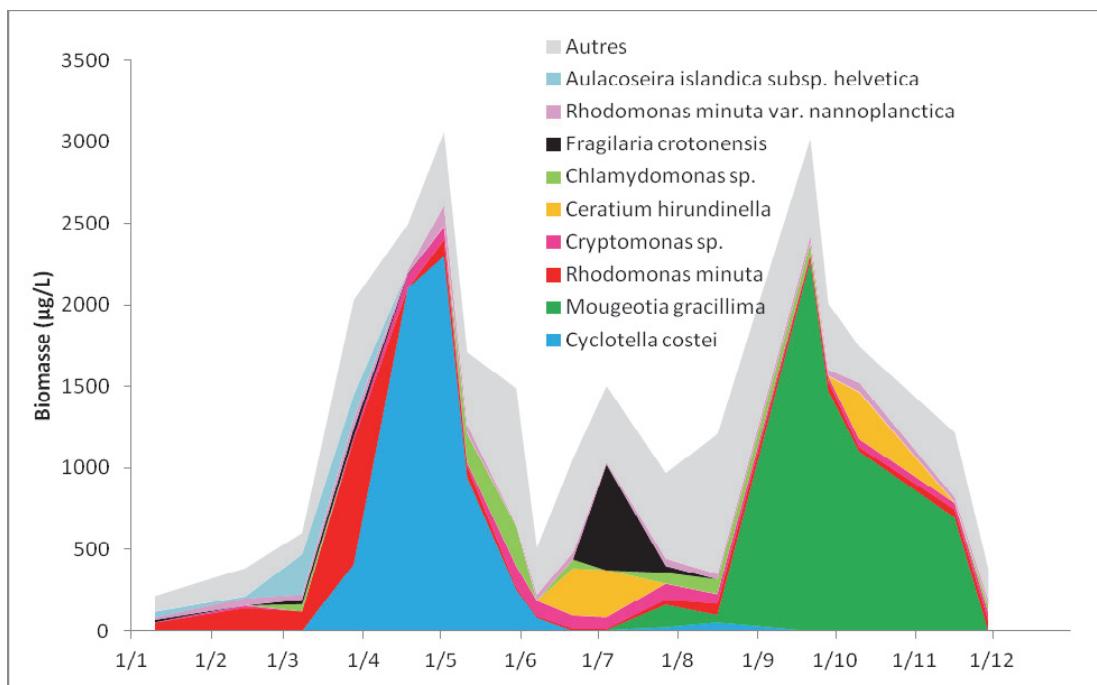


Figure 2 : Variations de la biomasse des principaux taxons du phytoplancton dans le Grand Lac (SHL 2) en 2011.

Figure 2 : Variations in the biomass of the main taxons of phytoplankton in Grand Lac (SHL 2) in 2011

Pour le Grand Lac, plusieurs phases peuvent être distinguées au cours de l'année 2011 (figures 1 et 2) :

- Une phase hivernale (observée du 10 janvier au 8 mars) : la biomasse algale est faible et composée essentiellement de Cryptophycées (*Rhodomonas minuta* et sa var. *nannoplancitica*) et de petites diatomées centriques (*Cyclotella delicatula*).
- Une phase printanière (28 mars au 30 mai) : la biomasse algale augmente fortement. Ce sont les diatomées centriques (*Cyclotella costei*, *C. delicatula*, *Puncticulata radiososa*, *Stephanodiscus alpinus*, *S. minutulus*, *S. neoastrea*) qui représentent l'essentiel de la biomasse à cette période. La plupart de ces taxons sont sensibles à la stratification des eaux.
- Une phase des eaux claires observée le 7 juin : à cette date, la biomasse baisse fortement. Ce sont surtout les diatomées qui disparaissent, broutée préférentiellement par le zooplancton.
- Une phase estivale (21 juin au 16 août) : Après la phase des eaux claires, la communauté change nettement de composition. Les Chrysophycées font leur apparition, avec des espèces du genre *Dinobryon* spp., indiquant une déplétion de la colonne d'eau en nutriments (Reynolds et al. 2002). A cette même période, on note la présence de diatomées caractéristiques des couches d'eau de surface brassées de manière homogène sur 2-3 m d'épaisseur (ex. *Fragilaria crotonensis*) (Padisak et al. 2009). De la même façon, *Ceratium hirundinella* (Dinophycée) est une espèce indicatrice des épilimnion estivaux (Reynolds et al. 2002)
- Une phase automnale et hivernale (21 septembre au 29 novembre) : pendant cette phase, on observe une forte augmentation de la biomasse de *Mougeotia gracillima*. Cette Zygophycée filamentueuse se développe à une quinzaine de mètres de profondeur, au niveau du métalimnion. D'après Padisak et al. (2009), il s'agit d'un taxon tolérant les faibles intensités lumineuses, mais profitant des concentrations relativement importantes en nutriments présents à ces profondeurs. Le dernier prélèvement (29 novembre) présente une chute rapide de la biomasse pour tous les groupes algaux.

3.1.2 Évolution 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 2011.

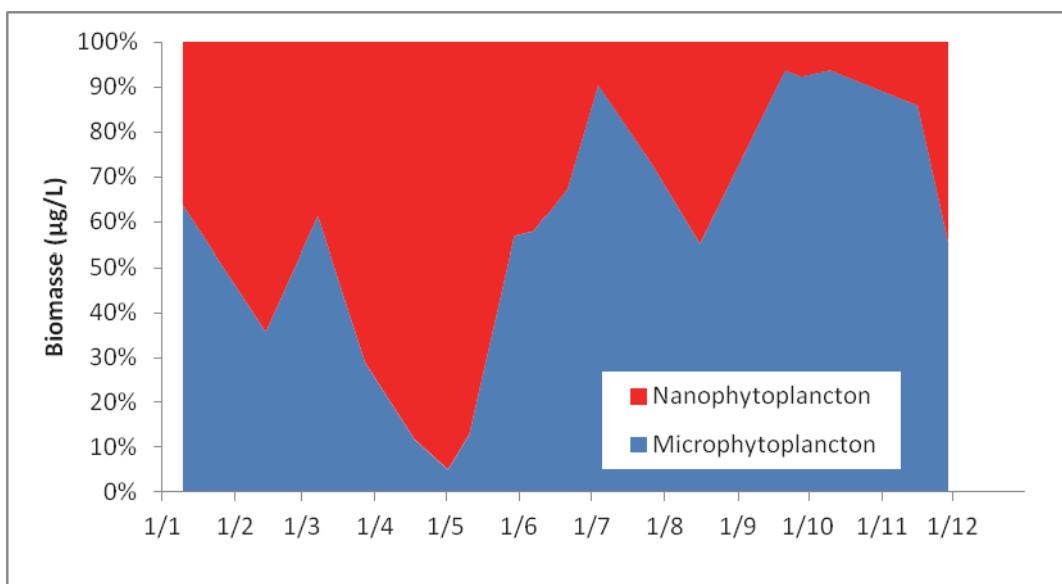


Figure 3 : Variations de la biomasse par classes de taille dans le Grand Lac (SHL 2) en 2011.

Figure 3 : Variations in the biomass per size class in Grand Lac (SHL 2) in 2011.

En 2011, pour le Grand Lac, les proportions en termes de biomasse entre le nano et microphytoplancton sont équilibrées du 10 janvier au 8 mars. Par contre, du 28 mars au 11 mai, le nanophytoplancton est largement majoritaire, de part l'abondance des petites diatomées centriques (tailles moyennes de 5 µm). Ensuite, le rapport s'inverse plutôt en faveur du microphytoplancton, des taxons de plus grande taille tels des *Dinobryon* spp. (Chrysophycées coloniales), *Ceratium hirundinella* (Dinophycées), vont représenter l'essentiel de la biomasse en période estivale. A partir 21 septembre, c'est *Mougeotia gracillima* (grande Chlorophycée filamenteuse) qui va expliquer la dominance de la biomasse par le microphytoplancton. En fin d'année, la proportion entre micro et nanophytoplancton est plus équilibrée.

3.2 Évolution interannuelle

3.2.1 Évolution des classes d'algues

La figure 4 présente l'évolution interannuelle des principales classes d'algues (sensu Bourrelly 1972, 1981, 1985) dans le Grand Lac.

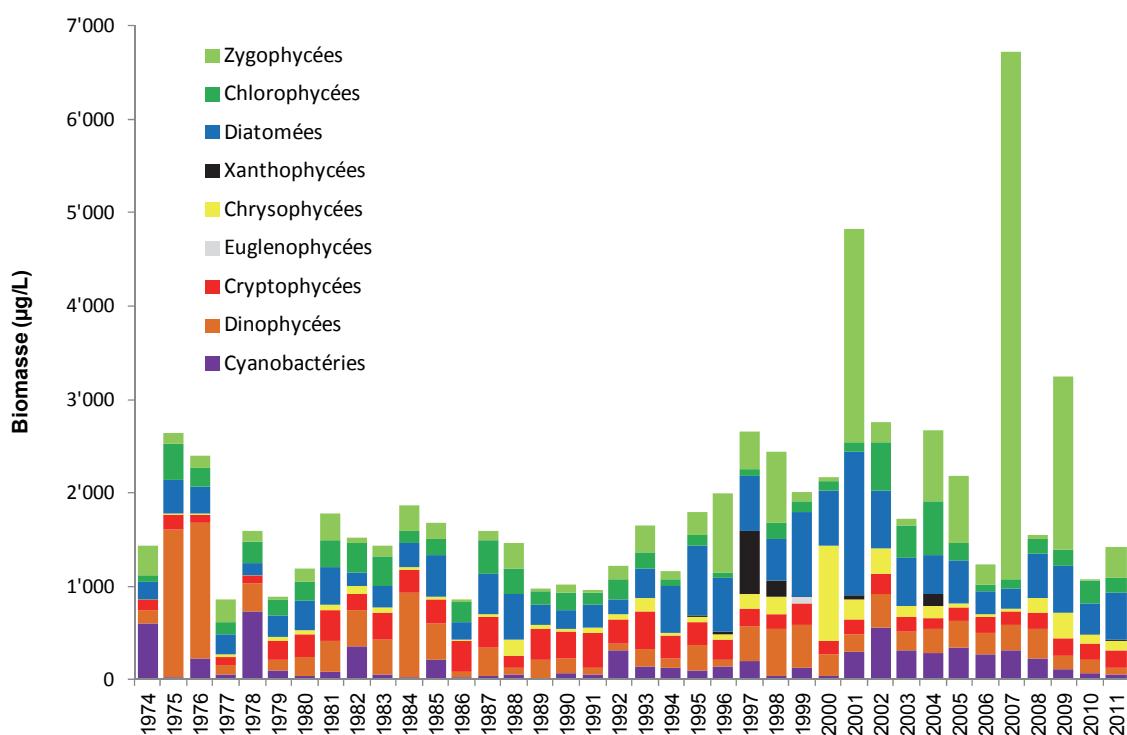


Figure 4 : Évolution interannuelle des principales classes algales (biomasse annuelle moyenne) dans le Grand Lac.

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

Pour le Grand Lac, l'année 2011 présente des biomasses proches des années précédentes (en mettant à part les années ayant démontré des blooms de *Mougeotia gracillima*). Il reste cependant difficile d'observer une tendance interannuelle claire pour la biomasse totale du phytoplancton.

3.2.2 Profils de biomasse des principales classes d'algues

Ces profils sont obtenus grâce à la sonde spectrofluorimétrique BBE.

La figure 5 montre la dynamique des diatomées ; on observe une augmentation de leur biomasse en début de chaque année (entre 0 et 25-30 mètres), puis leur disparition sur toute la colonne d'eau avec l'arrivée de la phase des eaux claires en mai. Leur retour se fait pendant l'été principalement aux alentours de 10-15 mètres.

Pour les algues vertes (essentiellement représenté par *Mougeotia gracillima*) (figure 6), on observe des biomasses importantes en fin d'été début d'automne pour les années 2007, 2009 et 2011. Pour l'année

2011 les biomasses sont importantes de la surface jusqu'à des profondeurs de 20 mètres, alors que pour 2007 et 2009 de fortes concentrations s'observent également jusqu'à 30m.

Pour les Cyanobactéries (figure 7), les biomasses sont nettement plus faibles, on note cependant leur présence plutôt en automne (2008, 2009 et 2010), et c'est *Aphanizomenon flos-aquae* (cyanobactérie filamenteuse hétérocystée potentiellement toxique) qui va être dominante à ces moments là. En 2008 le pic semble être localisé sur une dizaine de mètres aux alentours des 15m.

La figure 8 présente l'évolution des biomasses pour les algues riches en pigments rouges, c'est-à-dire principalement les Cryptophycées dans le Léman. On observe que cette classe algale est principalement présente en début d'année sur des profondeurs allant de 0 à 40 m certaines années.

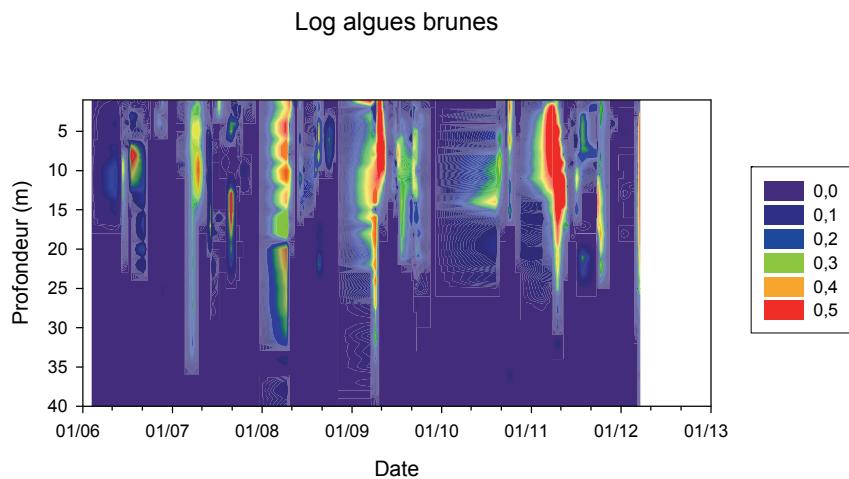


Figure 5 : Évolution de la distribution de la biomasse (exprimée en µg de chlorophylle/L) du groupe algal riche en Chlorophylle a, c, xanthophylle, fucoxanthépéridine (Diatomées).

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, fucoxantheperdine (diatoms).

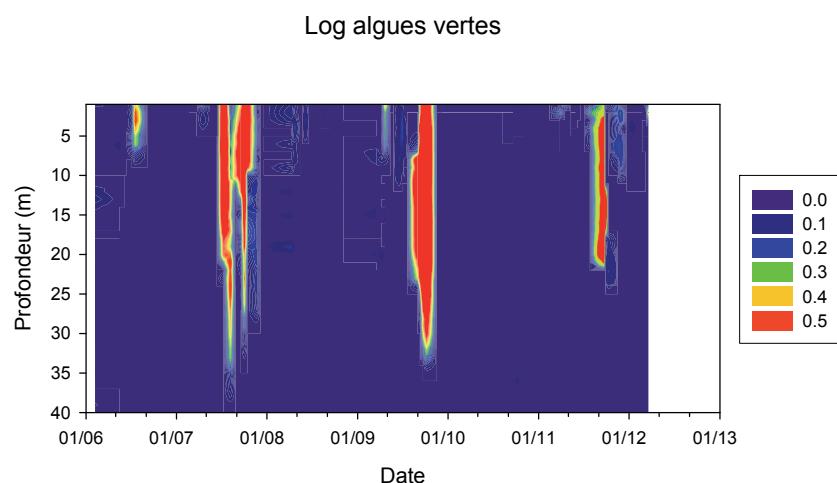


Figure 6 : Évolution de la distribution de la biomasse (exprimée en µg de chlorophylle/L) du groupe algal riche en chlorophylle a, b et caroténoïde (Chlorophycées, Conjuguées).

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).

Log algues bleue-vertes

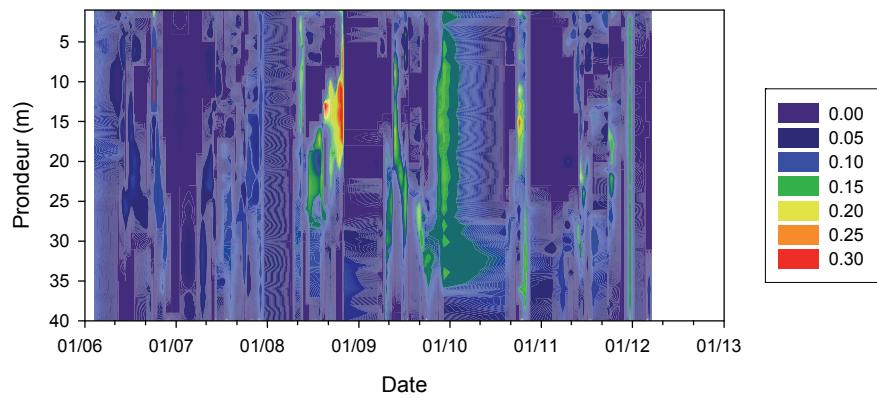


Figure 7 : Évolution de la distribution de la biomasse (exprimée en μg de chlorophylle/L) du groupe algal riche en chlorophylle a, et phycocyanines (Cyanobactéries).

Figure 7 : Change in the distribution of the biomass (expressed in μg chlorophyll/L) of the algal group containing high levels of chlorophyll a, and phycocyanins (Cyanobacteria).

Log algues rouges

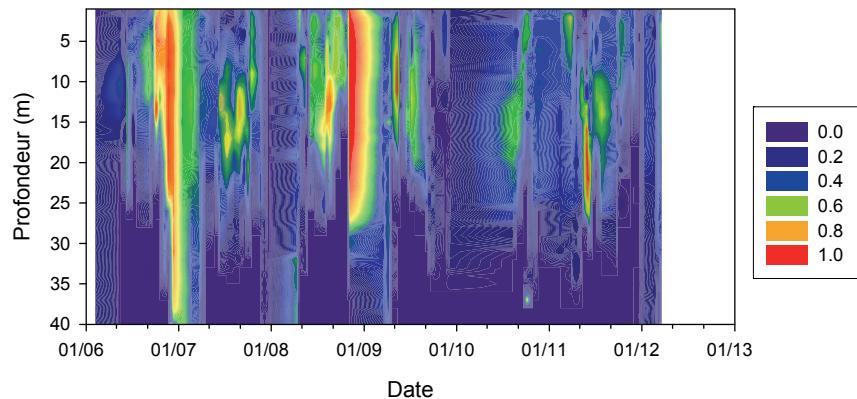


Figure 8 : Évolution de la distribution de la biomasse (exprimée en μg de chlorophylle/L) du groupe algal riche en chlorophylle a, c et phycoérythrine (Cryptophycées).

Figure 8 : Change in the distribution of the biomass (expressed in μg chlorophyll/L) of the algal group containing high levels of chlorophyll a and c, and phycoerythrin (Cryptophyceae).

3.2.3 Évolution de la diversité

Un indice de diversité annuelle a été calculé sur la chronique 1974-2011. Pour chaque prélèvement, l'indice de Shannon est calculé, puis la moyenne annuelle de ces indices est mesurée pour chacune des années de 1974 à 2011.

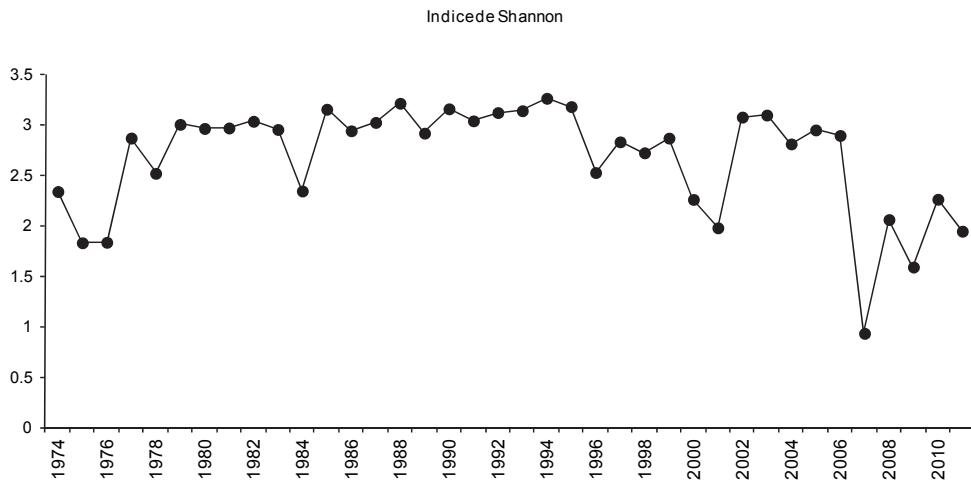


Figure 9 :

Évolution interannuelle de l'indice de diversité de Shannon.

Figure 9 :

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 2011 est faible au regard de la diversité sur la chronique 1974-2011 (figure 9). Il s'agit de la 5^{ème} diversité la plus faible. On note que globalement, la diversité est faible depuis 2007 ce qui pourrait indiquer une raréfaction de la ressource (nutriments). Les chutes de diversité en 2007 et 2009 correspondent aux blooms de *Mougeotia gracillima* qui dominait fortement le peuplement.

3.2.4 Évolution 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 (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 les auteurs :

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 10 présente l'évolution de cet indice pour le Grand Lac.

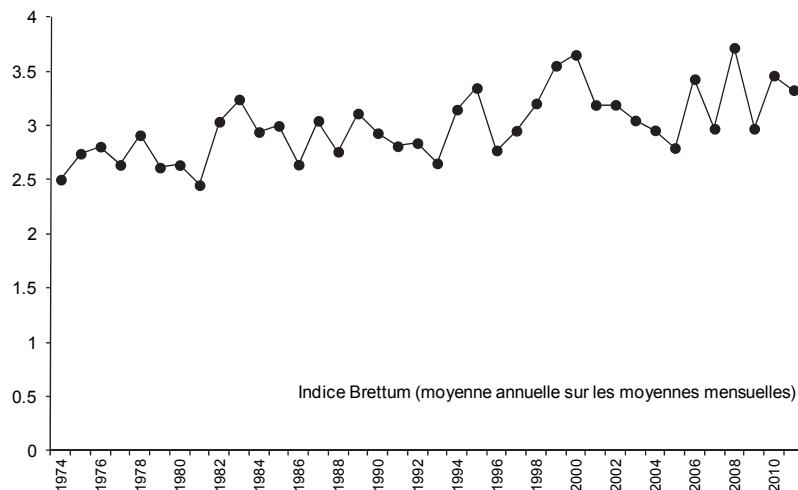


Figure 10 : Évolution de l'indice de qualité phytoplancton Brettum (1989) modifié dans le Grand Lac

Figure 10 : 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 10). Entre 1974 et 1980 le lac était eutrophe selon l'indice de Brettum. Puis l'indice présente une hausse, indiquant une amélioration de l'état trophique. La valeur pour l'année 2011 est de 3.32 (lac méso/faiblement eutrophe).

3.2.5 Évolution des groupes fonctionnels

La dynamique interannuelle de certains groupes fonctionnels de Reynolds *et al.* (2002) sont donnés aux figures 11a et b.

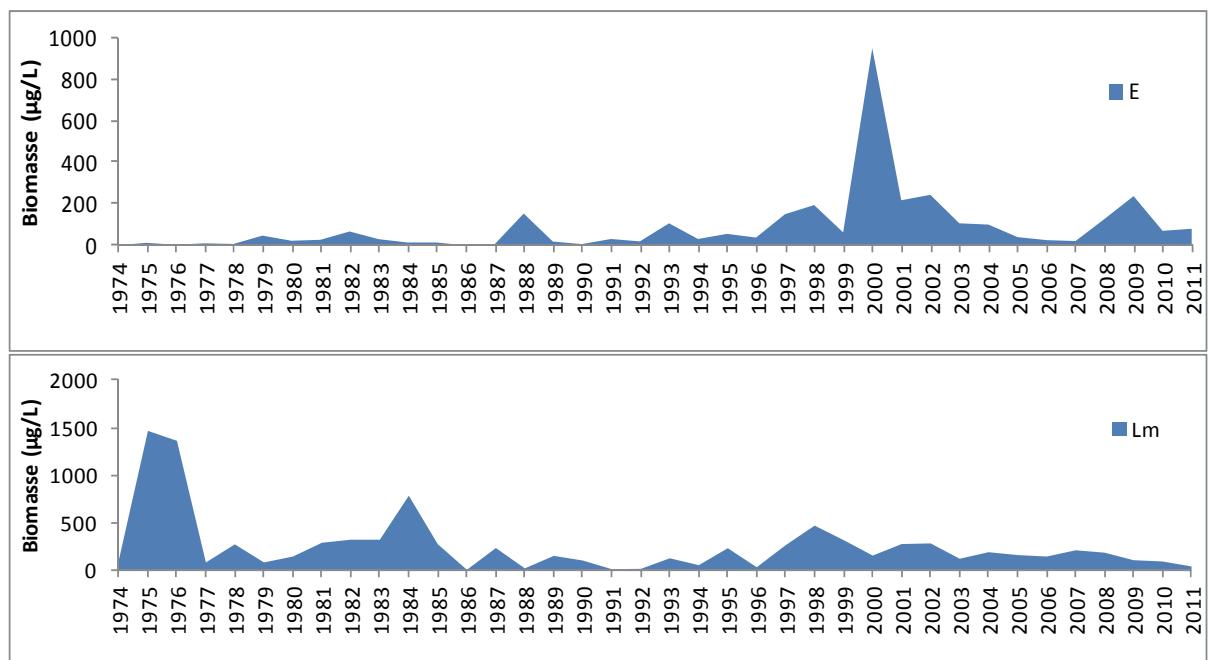


Figure 11: Evolution de la dynamique interannuelle des groupes fonctionnels Lm et E de Reynolds et al. (2002).

Figure 11 : Change in the interannual dynamiy profile of the Lm and E functionnal 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 2011 (fig. 11a). Le groupe E, qui rassemble des taxons caractéristiques des milieux oligotrophes, présente une dynamique inverse (fig. 11b). Ces dynamiques indiquent bien une ré-oligotrophisation de la masse d'eau.

4. CONCLUSIONS

L'évolution saisonnière du phytoplancton pour l'année 2011 montre une augmentation de la biomasse au printemps qui est principalement le fait de taxons de diatomées centriques et notamment de *Cyclotella costei*. Cette augmentation de biomasse est à mettre en parallèle avec les températures clémentes et le bon ensoleillement du début d'année. Il s'agit de taxons sensibles à la stratification et à la déplétion en silice. La biomasse en diatomées atteint un pic début mai. S'ensuit une phase de nette décroissance qui est à relier à une baisse de la concentration en silice et en phosphore (cf. rapport Evolution physico-chimique). Il s'agit de la phase des eaux claires qui est bien marquée le 7 juin. Ce sont principalement les diatomées centriques qui disparaissent. Ensuite s'installent des communautés estivales, avec des diatomées pennées, des Dinophycées et des Chrysophycées. Ces dernières indiquent une déplétion en nutriments ce qui est mesurable de par les faibles concentrations en phosphore qui avoisinent les 5 µg/L de P dans les couches superficielles (cf. rapport Evolution physico-chimique). A partir de septembre, on observe des communautés automnales dominées par *Mougeotia gracillima*, Zygophycée filamentuse. Ce taxon se développe à une quinzaine de mètres et tolère les faibles luminosités.

L'analyse interannuelle du phytoplancton permet de montrer que la biomasse de 2011 est faible lorsqu'on la compare à la chronique 1974-2010. Elle est cependant plus élevée que 2010, et se traduit également par une valeur de l'indice Brettum légèrement plus faible qu'en 2010.

D'autre part on continue à noter la baisse inter-annuelle régulière des taxons caractérisant les épilimnion eutrophes, et au contraire, l'augmentation régulière des taxons caractérisant les milieux oligotrophes. Ceci confirme les observations à long-terme de la dynamique en phosphore dans le Léman ainsi que l'augmentation régulière de l'indice Brettum.

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 phytoplankton du 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.
- MOLDAENKE, 2002. The bbe Fluoroprobe. Software manual. Kiel-Kronshagen, Germany: 41 pp.
- 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.
- 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., 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.