

PHYTOPLANCTON DU LÉMAN

THE PHYTOPLANKTON OF LAKE GENEVA

Campagne 2008

PAR

Frédéric RIMET et Jean-Claude DRUART

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

RÉSUMÉ

Au cours de l'année 2008, 20 campagnes de prélèvement ont été effectuées au centre du Grand Lac (SHL2) dans la couche 0-18 m.

En début d'année (7 janvier au 21 avril), le phytoplancton présente une biomasse qui va augmenter rapidement, les diatomées centriques dominent le peuplement. Puis, la dynamique saisonnière va être caractérisée par une phase des eaux claires assez marquée du 13 au 22 mai. La phase estivale suit avec une augmentation de la biomasse essentiellement de Chlorophycées et de Cyanobactéries. On doit aussi souligner la dominance autour du 10 juillet de taxons indicateurs de lacs oligotrophes. Les phases automnale et hivernale (29 septembre au 15 décembre) se caractérisent par une réduction de la biomasse algale ; on note la présence d'une cyanobactérie hétérocystée (*Aphanizomenon flos aquae*) entre 15 et 20 m connue pour tolérer les faibles luminosités, les baisses en azote et les masses d'eau stables. Ce taxon disparaît en décembre pour laisser la place à des diatomées tolérant les eaux brassées.

Par rapport à 2007 (qui avait connu un bloom de *Mougeotia gracillima*), la biomasse phytoplanctonique est nettement plus faible et est proche de celle des années 2002 à 2006. L'analyse des groupes fonctionnels de Reynolds et al. (2002) sur la chronique 1974-2008 montre une tendance à l'augmentation de la probabilité de présence de taxons caractéristiques de lacs mésotrophes et oligotrophes (e.g. *Dinobryon* spp., *Peridinium* spp.). L'évolution de l'indice de qualité de Brettum (1989) va dans le même sens et montre que globalement depuis 1974, les eaux du lac voient leur niveau trophique diminuer.

ABSTRACT

In the course of the year 2008, 20 sampling campaigns were carried out in the centre of Grand Lac (SHL2) in the 0-18 m layer.

At the beginning of the year (7 January to 21 April), the biomass of phytoplankton rose rapidly, with centric diatoms dominating the population. After this the seasonal pattern was characterized by a fairly marked clear water phase from 13 to 22 May. The summer phase followed, with an increase in the biomass, consisting essentially of Chlorophyceae and Cyanobacteria. The dominance of indicator taxons of oligotrophic lakes around 10 July should also be pointed out. The autumn and winter phases (29 September to 15 December) were characterised by a reduction in the algal biomass; between 15 and 20 m a heterocystic cyanobacterium (*Aphanizomenon flos aquae*) was observed; this organism is known to be able to tolerate low light levels, reduced nitrogen and stable water masses. This taxon disappeared in December, to be replaced by diatoms able to tolerate churned water.

The phytoplanktonic biomass was much lower than in 2007 (when there had been a bloom of *Mougeotia gracillima*), and was similar to the values found in the years 2002 to 2006. Analysis of functional groups of Reynolds et al. (2002) over the period 1974-2008 reveals a trend towards an increase in the likelihood of the presence of taxons characteristic of mesotrophic and oligotrophic lakes (e.g. *Dinobryon* spp., *Peridinium* spp.). The change in the Brettum quality index (1989) followed a similar pattern, which shows that overall trophic status of the lake water has decreased since 1974.

1. INTRODUCTION

Comme les années précédentes, le phytoplancton a fait l'objet d'un suivi durant l'année 2008 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 peuplements phytoplanctoniques. Les concentrations en chlorophylle a et la production phytoplanctonique font l'objet d'un chapitre séparé.

Par rapport aux années précédentes, nous avons de nouvelles métriques telles que les groupes fonctionnels de REYNOLDS et al. (2002), ainsi que l'indice de trophie de BRETTUM (1989), modifié par WOLFRAM et al. (2007) ; WOLFRAM & DOKULIL (2007), ainsi que les profils d'une sonde spectrofluorimétrique utilisée depuis 2006.

2. MÉTHODES

Le phytoplancton a été récolté de janvier à décembre 2008 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, novembre et décembre et sont bimensuels pour les autres mois de l'année. Au final, 20 campagnes ont été menées en 2008.

Les échantillons d'eau brute sont fixés au lugol ; puis chaque sous-échantillon d'un volume de 25 mL, est mis à sédimenter. Les examens qualitatif et quantitatif se font au microscope inversé selon la technique UTERMÖHL (1958), méthode maintenant normalisée au niveau français et européen (AFNOR, 2006). Les résultats des biomasses algales sont exprimés en µg/L.

Différentes métriques ont été calculées à partir des listes floristiques : la biomasse des classes algales (sensu BOURELLY, 1972, 1981 et 1985), la biomasse des taxons dominants, la biomasse des classes de tailles (micro et nanoplankton), les groupes fonctionnels (ou guildes écologiques) selon REYNOLDS et al. (2002), la diversité phytoplanktonique (indice de Shannon). 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.

3. RÉSULTATS

3.1 Evolution saisonnière de l'année 2008

3.1.1 Evolution des classes d'algues

La figure 1 présente la dynamique saisonnière des principales classes d'algues (sensu BOURELLY 1972, 1981 et 1985) pour l'année 2008.

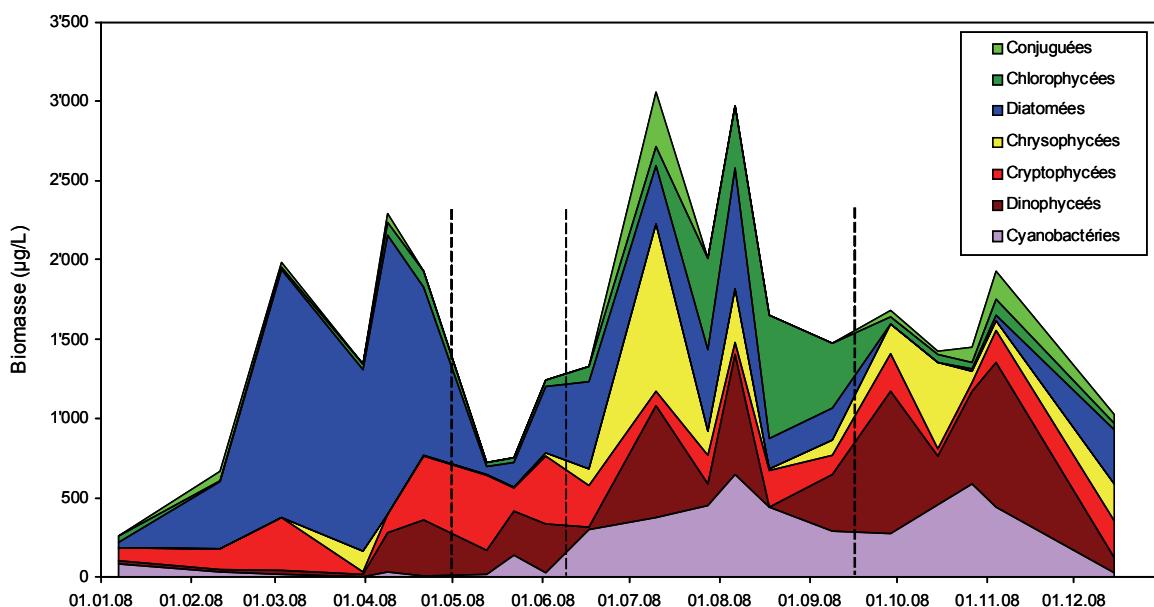


Figure 1 : Variations saisonnières de la biomasse du phytoplancton par groupe pigmentaire dans le Grand Lac, (SHL 2) en 2008. Les lignes en pointillé délimitent les phases décrites ci-dessous.

Figure 1 : Seasonal variations in the biomass of phytoplankton by pigmentary group in Grand Lac, (SHL 2) in 2008. The dotted lines delineate the phases described below.

Plusieurs phases peuvent être distinguées au cours de l'année 2008 en considérant les classes d'algues :

- une phase hivernale et printanière (du 7/01 au 21/04) : la biomasse augmente fortement pendant cette phase. Les diatomées sont largement dominantes, les Cryptophycées représentent également une part importante de la biomasse;
- une phase des eaux claires (du 13/05 au 22/05) : la biomasse est réduite de moitié, les Cryptophycées (66 % de la biomasse le 13/05) puis les Dinophycées (37 % de la biomasse le 22/05) deviennent majoritaires;
- une phase estivale (du 2/06 au 9/09) : cette phase voit la biomasse phytoplanktonique croître, avec une augmentation des proportions des Cyanobactéries (qui se maintient autour de 22 %), ainsi que des Chlorophycées. La proportion des diatomées devient négligeable. On observe un pic de Chrysophycées le 10/07;
- une phase automnale et hivernale (du 29/09 au 15/12) : la proportion en Cholorophycées diminue nettement, inversement la biomasse en Dinophycées augmente fortement. La proportion en Cyanobactéries pendant cette phase reste stable (environ 20 %) et atteint 40 % le 27/10. Le dernier prélèvement (15/12) montre une réduction de la biomasse phytoplanktonique et correspond à la phase hivernale.

3.1.2 Evolution des espèces dominantes

La figure 2 présente la dynamique des taxons dominant la biomasse du phytoplancton pour l'année 2008 (pour être sélectionné comme taxon dominant, la somme de la biomasse annuelle de ces taxons doit représenter au minimum 10% de la biomasse totale annuelle).

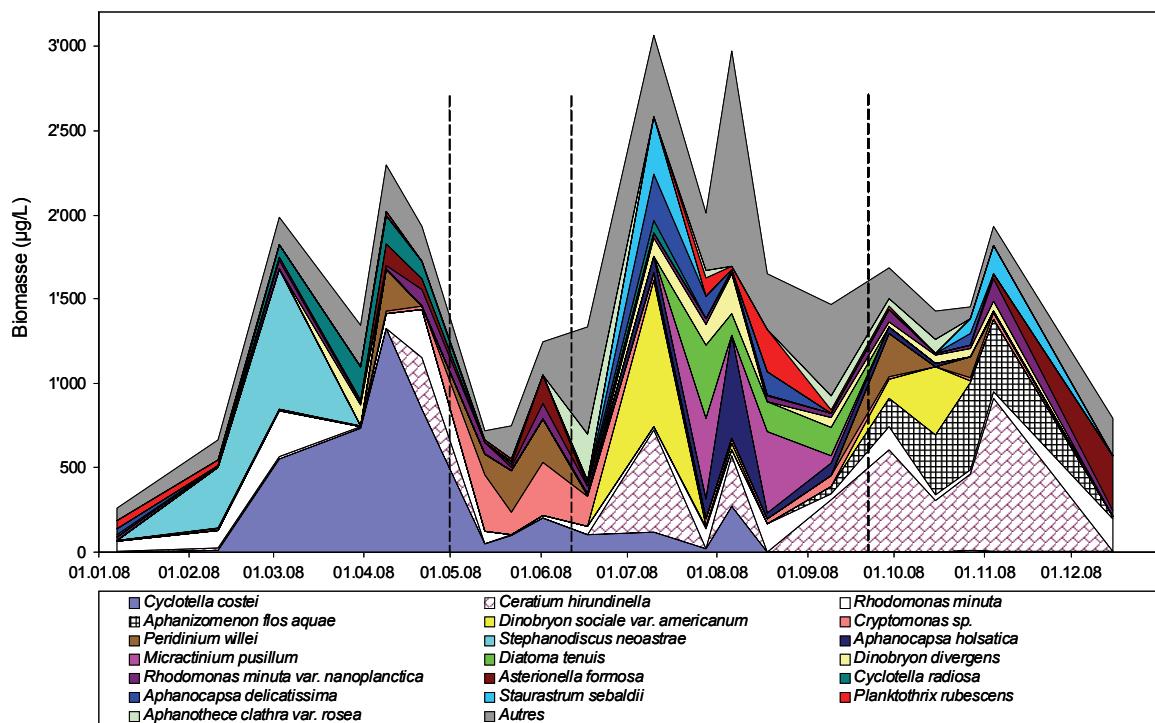


Figure 2 : Variations saisonnières de la biomasse des principaux taxons du phytoplancton dans le Grand Lac (SHL 2) en 2008. Les lignes en pointillé délimitent les phases décrites au paragraphe 3.1.1.

Figure 2 : Seasonal variations in the biomass of the main taxons of phytoplankton in Grand Lac (SHL 2) in 2008. The dotted lines delineate the phases described in §3.1.1.

Les phases sont les mêmes que décrites au paragraphe 3.1.1 :

- Pendant les phases hivernale et printanière, les Diatomées dominantes sont les centriques *Cyclotella costei* et dans une moindre mesure *Stephanodiscus neoastreae*. Des petites Cryptophycées (*Rhodomonas* spp.) sont également abondantes pendant cette phase. Elles vont voir leur biomasse se réduire lors de la phase des eaux claires et de la phase estivale.
- La phase des eaux claires est caractérisée par des taxons de grande taille, résistants au broutage intensif du zooplancton comme par exemple : *Peridinium willei*.
- La période estivale voit une rapide augmentation de la biomasse, avec des taxons mixotrophes¹ tels *Dinobryon* spp., *Ceratium hirundinella* ou des petites Chlorophycées (*Micractinium pusillum*) qui disparaissent lors de la phase suivante.
- Les phases automnale et hivernale permettent d'observer une nette augmentation de la biomasse de *Ceratium hirundinella*, grande Dinophycée et d'une Cyanobactérie filamentueuse hétérocystée², *Aphanizomenon flos aquae*. Les petites Cryptophycées (*Rhodomonas minuta*) réapparaissent à cette période et voient leur biomasse augmenter en proportion par rapport aux autres taxons surtout lors du dernier prélèvement du 15/12.

¹ mixotrophe : Se dit d'un organisme capable de se nourrir aussi bien par autotrophie que par hétérotrophie

² hétérocystée : Se dit d'un organisme capable de fixer l'azote grâce à des structures nommées hétérocystes

3.1.3 Evolution du micro et du nanoplancton

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 pour l'année 2008.

Pour l'année 2008, le nanoplancton est abondant surtout à partir de janvier jusqu'à la fin de la phase printanière (21/04). L'intensité du broutage réduit son abondance à partir de cette phase jusqu'à la fin de la phase automnale.

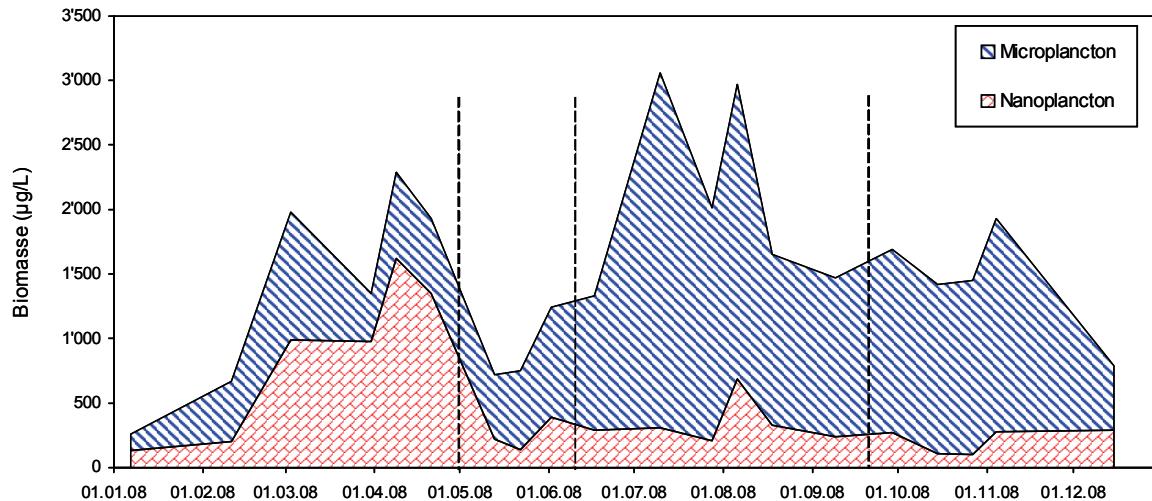


Figure 3 : Variations saisonnières de la biomasse par classes de taille dans le Grand Lac (SHL 2) en 2008. Les lignes en pointillé délimitent les phases décrites au paragraphe 3.1.1.

Figure 3 : Seasonal variations in the biomass per size class in Grand Lac (SHL 2) in 2008. The dotted lines delineate the phases described in §3.1.1.

3.1.4 Evolution des groupes fonctionnels

A partir de la structure des assemblages de phytoplancton d'eau douce, Reynolds et al. (2002) ont regroupé les différentes espèces selon leurs caractéristiques écologiques propres. Ainsi, un groupe fonctionnel correspond à un ensemble d'espèces ayant la même écologie. Ces groupes rassemblent des taxons vivant par exemple dans les mêmes niveaux trophiques, les mêmes turbulences ou les mêmes étages limniques. La définition de chacun de ces groupes est donnée en annexe 1.

La figure 4 présente la dynamique saisonnière des groupes fonctionnels de Reynolds (REYNOLDS et al. 2002).

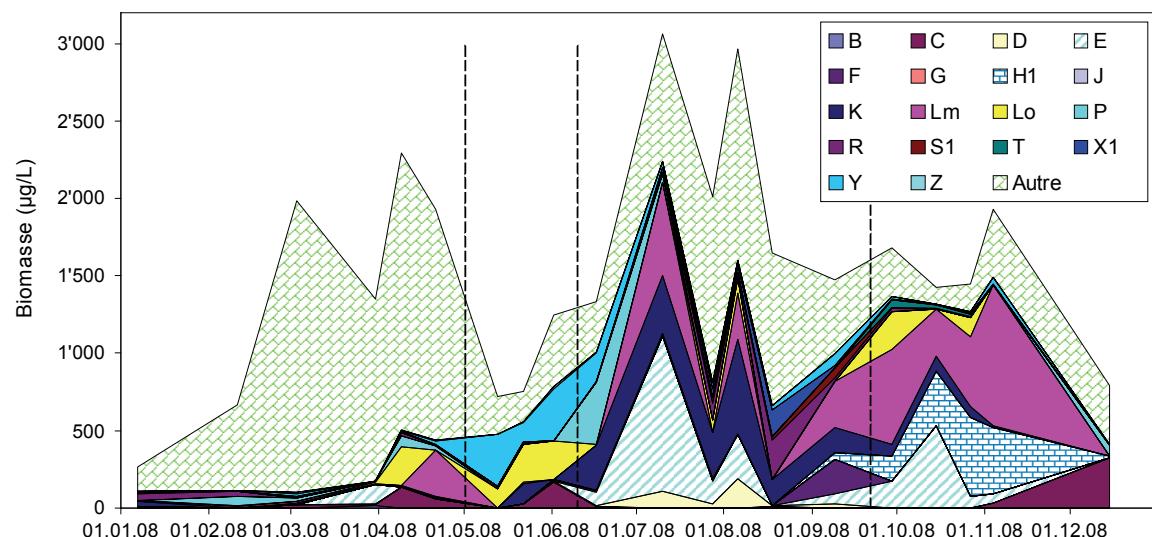


Figure 4 : Variations saisonnières de la biomasse par groupes fonctionnels dans le Grand Lac (SHL 2) en 2008. Les lignes en pointillé délimitent les phases décrites au paragraphe 3.1.1.

Figure 4 : Seasonal variations in the biomass by functional group in Grand Lac (SHL 2) in 2008. The dotted lines delineate the phases described in §3.1.1.

Les phases définies au paragraphe 3.1.1 sont reprises ci-dessous :

- Les phases hivernale et printanière : l'essentiel de la biomasse est composé de petites diatomées centriques non classées dans REYNOLDS et al. (2002). A la fin de cette phase, on voit apparaître les groupes Lm et Lo regroupant des taxons caractéristiques des épilimnions de lacs eutrophes à mésotrophes sensibles au brassage des eaux. Leur apparition suit l'installation d'une stratification des eaux du Léman fin avril.
- La phase des eaux claires : La proportion des groupes Lo et Y augmente. Le groupe Y correspond aux taxons (tel *Cryptomonas* sp.) phagotrophes préférant les lacs riches en nutriments.
- La phase estivale : cette phase est caractérisée par l'augmentation rapide de la biomasse du groupe E (regroupant les *Dinobryon* spp.). Les taxons du groupe E sont tolérants aux faibles concentrations en nutriments et sont habituellement observés dans les lacs oligotrophes. D'après REYNOLDS et al. (2002), leur présence indique une déplétion en nutriment dans l'épilimnion.
- Les phases automnale et hivernale : La proportion du groupe Lm augmente nettement pendant cette phase (*Ceratium hirundinella*), les taxons composant ce groupe sont indicateurs d'épilimnions de lacs eutrophes sensibles au brassage des eaux. Ce groupe disparaît donc en fin d'année. Le groupe H1 augmente également à cette période (*Aphanizomenon flos aquae*), les taxons le composant sont tolérants aux faibles concentrations en azote et aux faibles luminosités, mais sensibles aux faibles concentrations en phosphore et au brassage des eaux. Ce groupe disparaît également en fin d'année. C'est le groupe C qui va augmenter en fin d'année, (*Asterionella formosa*) composé de taxons caractéristiques des lacs eutrophes brassés.

3.1.5 Profils de la sonde spectrofluorimétrique

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).

La figure 5 montre la dynamique des diatomées ; on observe bien leur augmentation de biomasse en début d'année 2008 (de la surface à 30 m de profondeur), puis leur disparition avec la phase des eaux claires en mai.

Pour les algues rouges (figure 6), on observe le développement entre juillet et septembre de *Planktothrix rubescens* (cf. figure 2) à des profondeurs proches de 15-20 m, puis en fin d'année le développement de Cryptophycées (cf. figure 1).

Pour les algues vertes (Chlorophycées et Conjuguées) (figure 7), leur biomasse est réduite par rapport à l'année 2007, qui avait vu le très fort développement de *Mougeotia gracillima* à des profondeurs atteignant les 35 mètres.

Pour ce qui est des Cyanobactéries (non rouges) (figure 8), on note le développement en fin d'année de *Aphanizomenon flos aquae* à des profondeurs de 15-20 m. Cette observation correspond à la description écologique faite par REYNOLDS et al. (2002), qui la cite comme tolérante à de faibles luminosités.

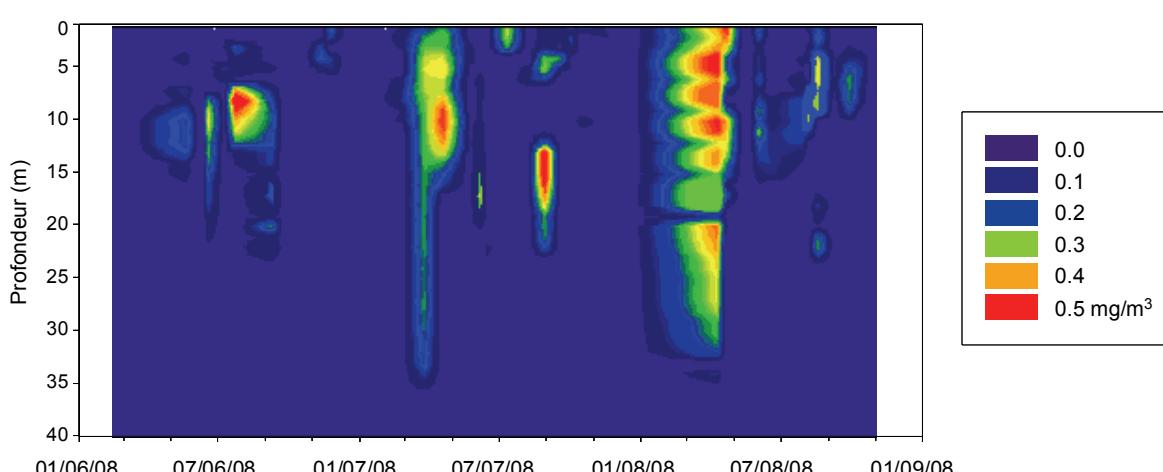


Figure 5 : Distribution de la biomasse du groupe algal riche en Chlorophylle a, c, xanthophylle, fucoxanthéperidine (Diatomées).

Figure 5 : Distribution of the biomass of the group of algae containing high levels of chlorophyll a, c, xanthophyl, fucoxanthoperidine (diatoms).

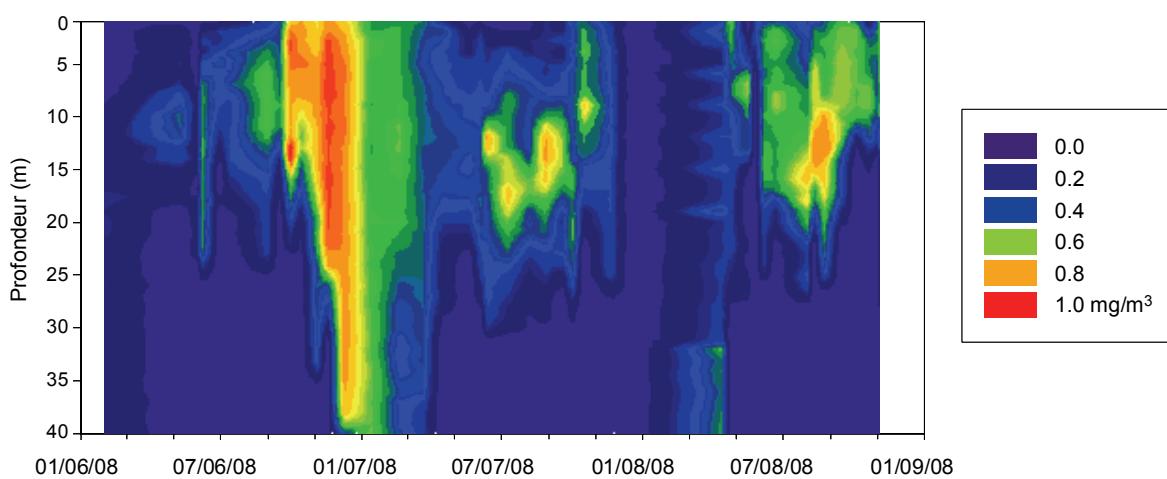


Figure 6 : Distribution de la biomasse du groupe algal riche en Chlorophylle a, c, phycoérythrine (Cryptophycées et Cyanobactéries rouges).

Figure 6 : Distribution of the biomass of the group of algae containing high levels of chlorophyll a, c, and phycoerythrin (Cryptophyceae and red Cyanobacteria).

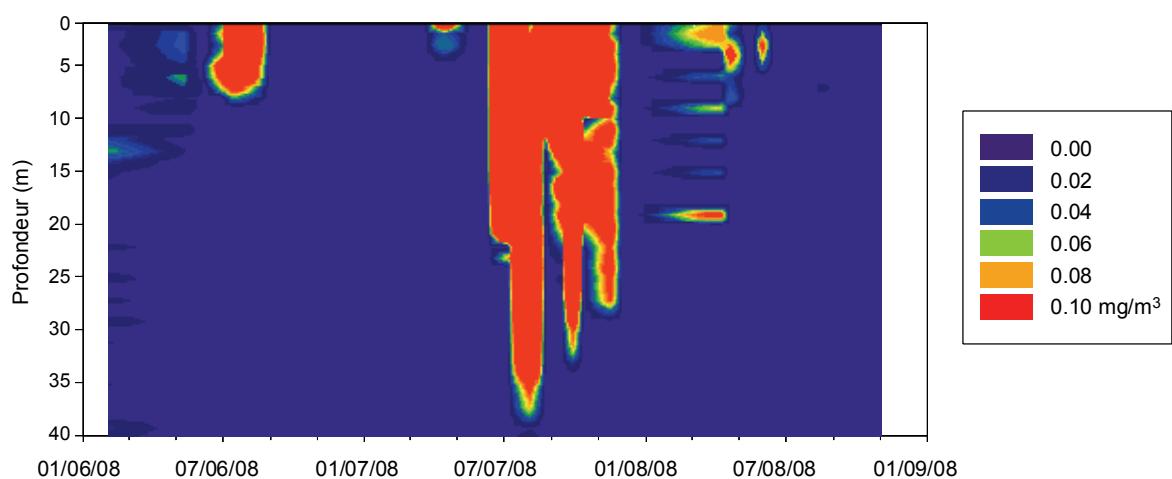


Figure 7 : Distribution de la biomasse du groupe algal riche en Chlorophylle a, b et caroténoïde (Chlorophycées, Conjuguées).

Figure 7 : Distribution of the biomass of the group of algae containing high levels of chlorophyll a, b, and carotenoid (Chlorophyceae, Conjugates).

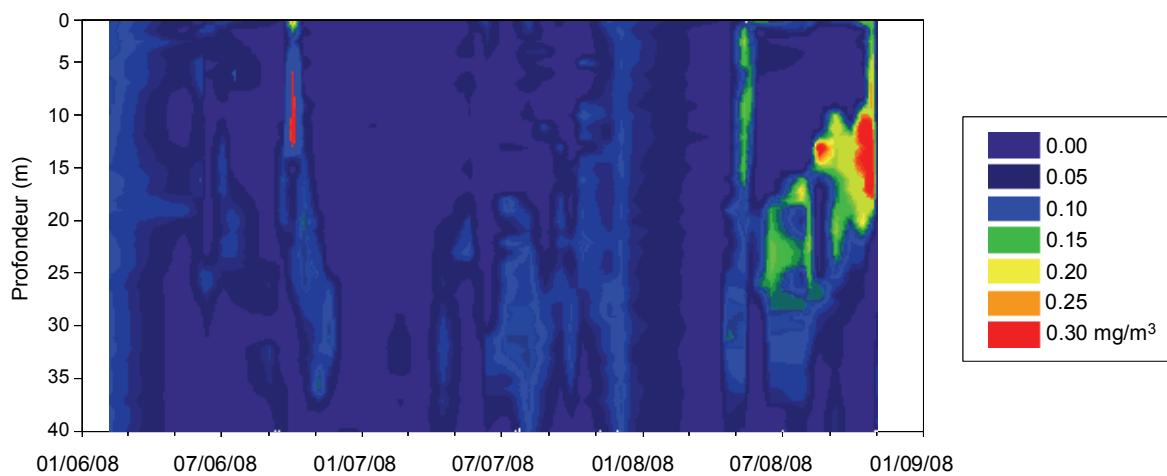


Figure 8 : Distribution de la biomasse du groupe algal riche en Chlorophylle a et en phycocyanine : Cyanobactéries non rouges.

Figure 8 : Distribution of the biomass of the group of algae containing high levels of chlorophyll a, and in phycocyanin (non-red Cyanobacteria).

3.2 Évolution interannuelle

3.2.1 Evolution des classes d'algues

La figure 9 présente l'évolution interannuelle des principales classes d'algues (sensu BOURELLY, 1972, 1981 et 1985).

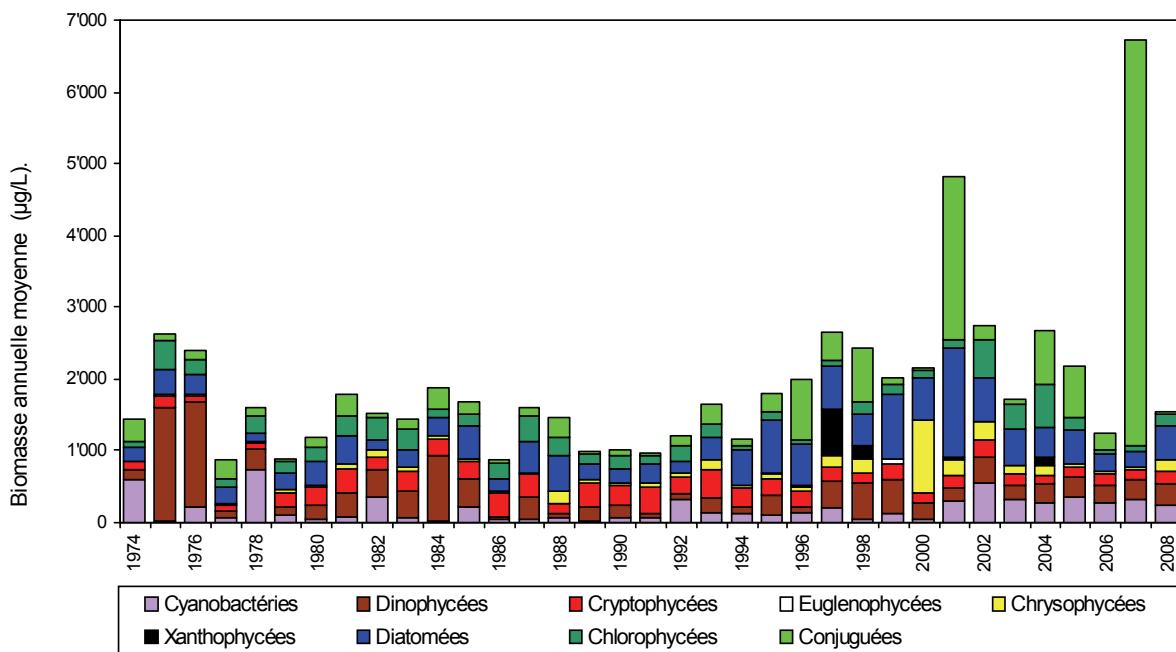


Figure 9 : Evolution interannuelle des principaux groupes pigmentaires (biomasse annuelle moyenne).

Figure 9 : Interannual differences in the main pigmentary groups (mean annual biomass).

En 2008, la biomasse phytoplanctonique est comparable à celle de 2006 (1'548 µg/L contre 1'240 µg/L en 2006). L'année 2007 est exceptionnelle, mais reste comparable à 2001.

La proportion des différentes classes d'algues est assez différente depuis 2000 puisque l'abondance relative des Chlorophycées et Conjuguées est nettement plus faible. Elle est cependant comparable à celle de 1999.

3.2.2 Evolution de la diversité

Un indice de diversité annuel a été calculé sur la chronique 1974-2008. Pour chaque prélèvement, l'indice de Shannon (WEAVER & SHANNON, 1949) est calculé, puis la moyenne annuelle de ces indices est mesurée pour chacune des années de 1974 à 2008. Cet indice moyen est reporté à la figure 10 pour chaque année.

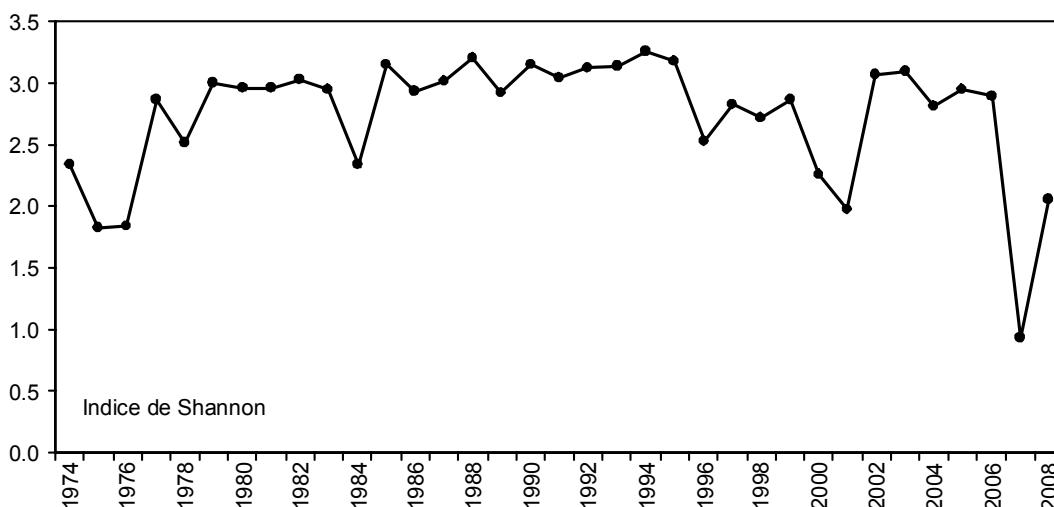


Figure 10 : Evolution interannuelle de l'indice de diversité de Shannon.

Figure 10 : Interannual differences in the Shannon diversity index.

Après l'année 2007, pour laquelle la diversité était très faible (due à la très forte abondance de *Mougeotia gracillima*), l'année 2008 retrouve une diversité proche des années précédentes. Elle reste cependant faible (seules les années 2007, 1975, 1976 et 2001 ont des diversités plus faibles).

3.2.3 Evolution des groupes fonctionnels

La dynamique interannuelle des groupes fonctionnels de Reynolds et al. (2002) est donnée à la figure 11.

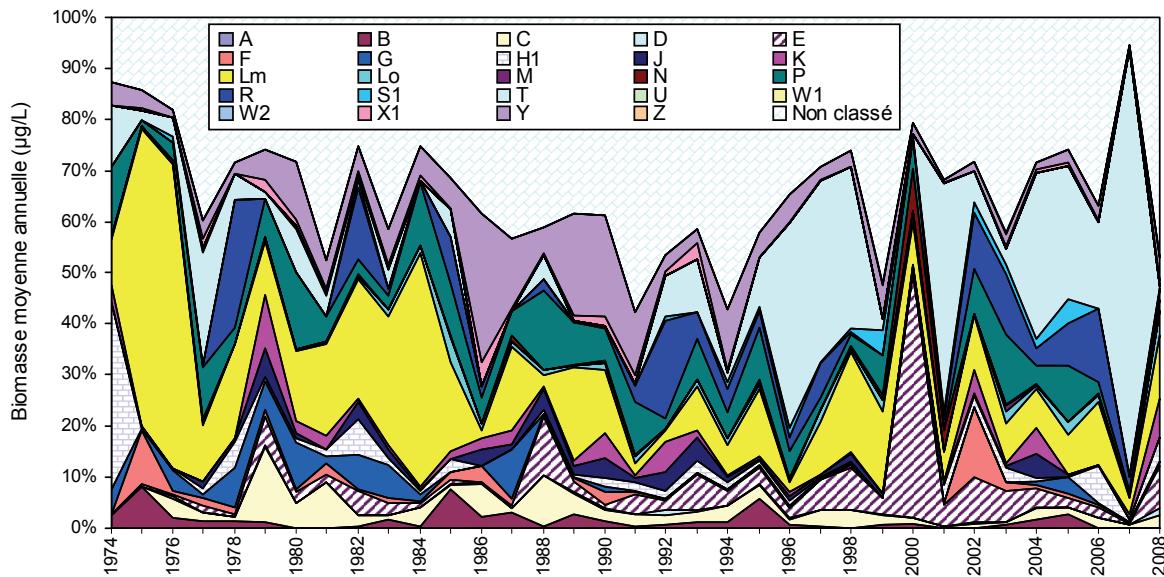


Figure 11 : Evolution de la dynamique interannuelle des groupes fonctionnels de REYNOLDS et al., (2002).

Figure 11 : Interannual differences in the functional groups of REYNOLDS et al., (2002).

Globalement, parmi les groupes fonctionnels les plus abondants, on observe une réduction du groupe Lm qui était abondant de 1974 à 1985 et qui caractérise l'épilimnion bien stratifié des lacs eutrophes (*Ceratium hirundinella*). Il a été remplacé successivement par le groupe Y de 1985 à 2000 regroupant des taxons phagotrophes³ (*Cryptomonas* sp.) caractérisant les lacs riches en nutriments, puis par le groupe T de 2001 à 2007 rassemblant des taxons préférant les couches profondes de l'épilimnion bien brassé mais sensible à une déplétion en nutriments.

Plusieurs groupes fonctionnels indiquent une amélioration progressive de la qualité des eaux du lac. Le groupe E, rare voire absent dans les années 1974 à 1988, devient de plus en plus fréquent, notamment dans les années 1997 à 2004, et également en 2008. Ce groupe rassemble des taxons (ex : *Dinobryon* spp., *Mallomonas* spp.) caractéristiques de lacs oligotrophes.

D'autre part, le groupe Lo (ex. *Peridinium* spp., *Merismopedia* spp.), composé de taxons caractéristiques dans l'épilimnion des lacs mésotrophes, même s'il est rare, devient de plus en plus fréquent, notamment en 2008.

3.2.4 Evolution de l'indice de qualité phytoplancton Brettum

Plusieurs indices basés sur la composition phytoplanctonique ont été développés par différents auteurs pour évaluer le niveau trophique des lacs. Ces différents indices ont fait l'objet de tests sur les trois lacs alpins (Léman, Annecy et Bourget) suivis par l'INRA (KAIBLINGER, 2008 ; ANNEVILLE & KAIBLINGER, 2009) et c'est l'indice de BRETTUM (1989) modifié par WOLFRAM ET al. (2007), WOLFRAM & DOKULIL (2007) qui a présenté les meilleurs résultats (meilleure discrimination du niveau trophique des différents lacs testés).

Cet indice donne pour 133 taxons leur préférence par rapport à une concentration en phosphore. Plus cet indice est élevé, plus le niveau trophique sera faible.

³ Phagotrophe : Se dit d'un organisme qui se nourrit de particules (qui peuvent être d'autres organismes) absorbées par phagocytose (processus d'ingestion par une cellule eucaryote de particules (par ex. bactéries), par invagination de la membrane plasmique.

Les valeurs suivantes sont données par les auteurs :

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

La figure 12 présente l'évolution de cet indice.

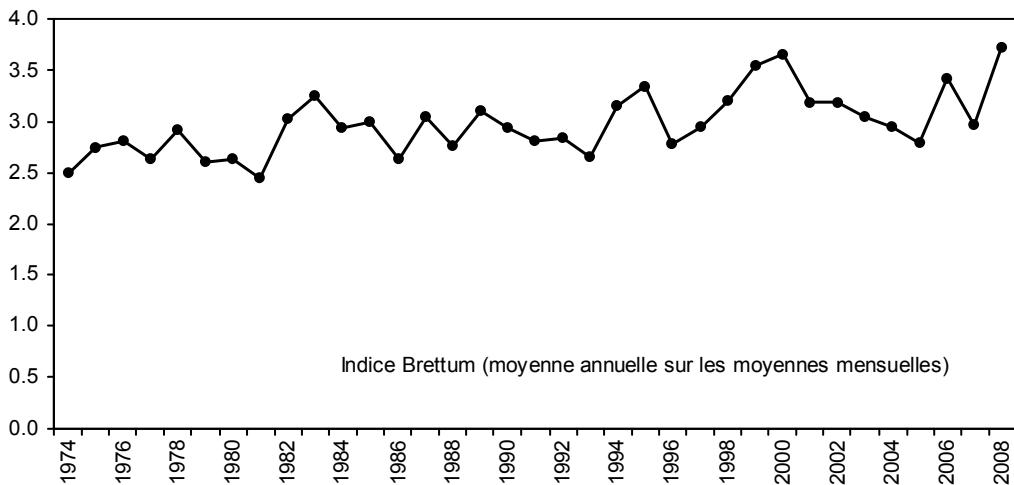


Figure 12 : Evolution de l'indice de qualité phytoplancton BRETTUM (1989).

Figure 12 : Change in Brettum's phytoplankton quality index (1989).

Globalement, une amélioration de la qualité des eaux du Léman est observable depuis 1974 (entre 1974 et 1980, le lac est eutrophe selon l'indice de Brettum) ; le niveau trophique du lac estimé avec l'indice Brettum, diminue. La valeur pour l'année 2008 est de 3.71 (classe méso / faiblement eutrophe).

4. CONCLUSIONS

L'évolution saisonnière du phytoplancton pour l'année 2008 montre que la rapide augmentation de la biomasse algale printanière est liée pour l'essentiel aux diatomées centriques comme *Cyclotella costei*, indicateur de la ré-oligotrophisation du Léman (RIMET et al., 2009).

On note également pendant la phase estivale une dominance de taxons tolérant les faibles concentrations en nutriments et habituellement observés dans les lacs oligotropes. Leur présence signe une baisse en nutriments dans l'épilimnion.

L'évolution interannuelle du phytoplancton met en évidence que les biomasses enregistrées en 2008 reviennent vers des valeurs comparables à celles des années 2002 à 2006, après une année 2007 ayant battu des records. L'analyse des groupes fonctionnels a permis d'observer l'apparition de plus en plus fréquente de taxons caractéristiques de lacs mésotropes et oligotropes. L'année 2008 confirme cette tendance avec la présence de taxons tels que *Dinobryon* spp. et *Peridinium* spp..

L'évolution de l'indice de qualité BRETTUM (1989) confirme cette tendance. Globalement, depuis 1974, les eaux du lac voient leur niveau trophique diminuer.

BIBLIOGRAPHIE

- AFNOR (2006) : NF EN 15204. Qualité de l'eau - Norme guide pour le dénombrement du phytoplancton par microscopie inversée (méthode UTERMÖHL). Afnor, 41 p.
- ANNEVILLE, O. et KAIBLINGER, K. (2009) : Proposal for a phytoplankton lake index applicable to lakes of the Rhône-Alpes basin for the implementation of the European Water Framework Directive. Final report. Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, INRA Thonon, France, 54 p.
- BOURELLY, P. (1972) : Les Algues d'eau douce. Tome I : Les Algues vertes. Boubée Ed., 1-572 p.

- BOURELLY, P. (1981) : Les Algues d'eau douce. Tome II : Les Algues jaunes et brunes. Boubée Ed., 1-517 p.
- BOURELLY, P. (1985) : Les Algues d'eau douce. Tome III : Les Algues bleues et rouges. Boubée Ed., 1-606 p.
- BRETTUM, P. (1989) : Algen als Indikatoren für die Gewässerqualität in norwegischen Binnenseen. Norsk Institutt for vannforskning NIVA, Norway, 102 p.
- 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.
- MOLDAENKE (2002) : The bbe Fluoroprobe. Software manual. Kiel-Kronshagen, Germany, 41 p.
- PELLETIER, J.-P. et ORAND, A. (1978a) : Appareil de prélèvement d'un échantillon dans un fluide. Brevet d'invention 76.08579.
- PELLETIER, J.-P. et ORAND, A. (1978b) : Bouteille à prélèvement intégré - Mode d'emploi. INRA Thonon, France, 9 p.
- REYNOLDS, C.S., HUSZAR, V., KRUK, C., NASELLI-FLORES, L. et MELO, S. (2002) : Toward a functional classification of the freshwater phytoplankton. J. Plankton Res., 24, 417-428.
- RIMET, F., DRUART, J.C. et ANNEVILLE, O. (2009) : Exploring the dynamics of plankton diatom communities in Lake Geneva using emergent self-organizing maps (1974-2007). Ecological Informatics, 4, 99-110.
- UTERMÖHL, H. (1958) : Zur Vervollkommung der quantitative Phytoplankton Methodik. Mitt. Internat. Ver. Theor. Anqew. Limnol., 9, 1-38.
- WEAVER, W. et SHANNON, C.E. (1949) : The Mathematical Theory of Communication. Urbana, Illinois University of Illinois Press.
- WOLFRAM, G. et DOKULIL, M. (2007) : Leitfaden zur erhebung der biologischen qualitatselemente. Teil B2 - Phytoplankton. Lebensministerium, Austria, 50 p.
- 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., MARCETTO, A., REMEC-REKAR, S. et URBANIC, G. (2007) : Intercalibration Exercise. Technical Report + Annexes, Alpine GIG (Lakes), Vienna - Ispra.

Définition des groupes fonctionnels selon REYNOLDS et al., (2002).

Definition of the functional groups according to REYNOLDS et al., (2002).

ANNEXE 1

JOURNAL OF PLANKTON RESEARCH VOLUME 24 NUMBER 5 PAGES 417-428 2002

Table I: Trait-separated functional groups of phytoplankton (updated from Reynolds, 1997)

Codon	Habitat	Typical representatives	Tolerances	Sensitivities
A	Clear, often well-mixed, base poor, lakes	<i>Urosolenia</i> , <i>Cyclotella comensis</i>	Nutrient deficiency	pH rise
B	Vertically mixed, mesotrophic small-medium lakes	<i>Aulacoseira subarctica</i> <i>Aulacoseira islandica</i>	Light deficiency	pH rise, Si depletion stratification
C	Mixed, eutrophic small-medium lakes	<i>Asterionella formosa</i> <i>Aulacoseira ambigua</i> <i>Stephanodiscus rotula</i>	Light, C deficiencies	Si exhaustion stratification
D	Shallow, enriched turbid waters, including rivers	<i>Synedra acus</i> <i>Nitzschia spp</i> <i>Stephanodiscus hantzschii</i>	Flushing	nutrient depletion
N	mesotrophic epilimnia	<i>Tabellaria</i> <i>Cosmarium</i> <i>Staurodesmus</i>	Nutrient deficiency	stratification pH rise
P	eutrophic epilimnia	<i>Fragilaria crotonensis</i> <i>Aulacoseira granulata</i> <i>Closterium aciculare</i> <i>Staurastrum pingue</i>	Mild light and C deficiency	stratification Si depletion
T	deep, well-mixed epilimnia	<i>Geminella</i> <i>Mougeotia</i> <i>Tribonema</i>	Light deficiency	Nutrient deficiency
S1	turbid mixed layers	<i>Planktothrix agardhii</i> <i>Limnothrix redekei</i> <i>Pseudanabaena</i>	highly light deficient conditions	flushing
S2	shallow, turbid mixed layers	<i>Spirulina</i> <i>Arthrosphaera</i> <i>Raphidiopsis</i>	light deficient conditions	flushing
S _N	warm mixed layers	<i>Cylindrospermopsis</i> <i>Anabaena minutissima</i>	light-,nitrogen-deficient conditions	flushing
Z	clear, mixed layers	<i>Synechococcus</i> prokaryote picoplankton	low nutrient	light deficiency grazing
X3	shallow, clear, mixed layers	<i>Koliella</i> Chrysococcus eukaryote picoplankton	low base status	mixing, grazing
X2	shallow, clear mixed layers in meso-eutrophic lakes	<i>Plagioselmis</i> <i>Chrysochromulina</i>	stratification	mixing, filter feeding
X1	shallow mixed layers in enriched conditions	<i>Chlorella</i> , <i>Ankyra</i> <i>Monoraphidium</i>	stratification	nutrient deficiency filter feeding
Y	usually, small, enriched lakes	<i>Cryptomonas</i>	low light	phagotrophs!
E	usually small, oligotrophic, base poor lakes or heterotrophic ponds	<i>Dinobryon</i> <i>Mallomonas</i> (<i>Synura</i>)	low nutrients (resort to mixotrophy)	CO ₂ deficiency
F	Clear epilimnia	colonial Chlorophytes e.g. <i>Botryococcus</i> <i>Pseudosphaerocystis</i> <i>Coenochloris</i> <i>Oocystis lacustris</i>	low nutrients high turbidity	?CO ₂ deficiency

Table I: continued

Codon	Habitat	Typical representatives	Tolerances	Sensitivities
G	Short, nutrient-rich water columns	Eudorina Volvox	high light	nutrient deficiency
J	shallow, enriched lakes ponds and rivers	Pediastrum , Coelastrum Scenedesmus Golenkinia		settling into low light
K	short, nutrient-rich columns	Aphanothecae Aphanocapsa		deep mixing
H1	dinitrogen-fixing Nostocaleans	Anabaena flos-aquae Aphanizomenon	low nitrogen low carbon,	mixing, poor light, low phosphorus
H2	dinitrogen-fixing Nostocaleans of larger mesotrophic lakes	Anabaena lemmermanni Gloeotrichia echinulata	low nitrogen	mixing, poor light,
U	summer epilimnia	Uroglena	low nutrients	CO ₂ deficiency
L _O	summer epilimnia in mesotrophic lakes	Peridinium Woronichinia Merismopedia	segregated nutrients	prolonged or deep mixing
L _M	summer epilimnia in eutrophic lakes	Ceratium Microcystis	very low C,	mixing, poor stratification light
M	dielly mixed layers of small eutrophic, low latitude lakes	Microcystis Sphaerocavum	high insolation	flushing, low total light
R	metalimnia of mesotrophic stratified lakes	P. rubescens P. mougeotii	low light, strong segregation	instability
V	metalimnia of eutrophic stratified lakes	Chromatium, Chlorobium	very low light, strong segregation	instability
W1	small organic ponds	Euglenoids, Synura Gonium	high BOD	grazing
W2	shallow mesotrophic lakes	bottom-dwelling Trachelomonas	?	?
Q	small humic lakes	Gonyostomum	high colour	?