

PHYTOPLANCTON DU LÉMAN

THE PHYTOPLANKTON OF LAKE GENEVA

Campagne 2009

PAR

Frédéric RIMET

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

RÉSUMÉ

Au cours de l'année 2009, 19 campagnes de prélèvement ont été effectuées au centre du Grand Lac (SHL2) dans la couche 0-18 m.

*Pendant la période hivernale et printanière (du 21 janvier au 12 mai), le phytoplancton présente une biomasse qui augmente graduellement, les diatomées centriques dominant le peuplement. Suit une phase des eaux claires bien marquée, observée du 25 mai au 18 juin. La phase estivale est caractérisée par une augmentation de la biomasse essentiellement de Chlorophycées puis de Chrysophycées et de Diatomées. La phase automnale (du 31 août au 6 octobre) voit une très forte augmentation de la biomasse algale, avec une omniprésence (jusqu'à 94% de la biomasse) de *Mougeotia gracillima*. Ce bloom va disparaître après la mi-novembre.*

L'année 2009 est à rapprocher des années 2001 et 2007, qui avaient connu elles aussi des biomasses du même ordre de grandeur, mais néanmoins supérieures. L'évolution des groupes fonctionnels de REYNOLDS et al. (2002) sur la chronique 1974-2009 montre une augmentation de la fréquence de taxons caractéristiques de lacs oligotrophes. Ceci est également confirmé par l'évolution de l'indice de qualité de Brettum (BRETTUM, 1989) qui montre globalement une réduction du niveau trophique du lac.

ABSTRACT

1. INTRODUCTION

Le compartiment phytoplanctonique a fait l'objet d'un suivi durant l'année 2009 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.

Différentes métriques, tels que les groupes fonctionnels de REYNOLDS et al. (2002), la diversité (indice de Shannon, Weaver et Shannon 1949), ainsi que l'indice de trophie de Brettum (BRETTUM, 1989), modifié par KAIBLINGER et al. (2009), ainsi que les profils d'une sonde spectrofluorimétrique utilisée depuis 2006 sont présentés.

2. MÉTHODES

Le phytoplancton a été récolté de janvier à décembre 2009 dans les 18 premiers mètres de la colonne d'eau à l'aide d'une cloche intégratrice d'eau brute (PELLETIER et ORAND, 1978a et b). Ces prélèvements ont été effectués une fois par mois en janvier, février, octobre, novembre et décembre et sont bimensuels pour les autres mois de l'année. Au final, 19 campagnes ont été menées en 2009.

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 qualitatifs et quantitatifs 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 $\mu\text{g/L}$. Le détail des protocoles est donné dans DRUART et RIMET (2008) et 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 nanoplancton), les groupes fonctionnels (ou guildes écologiques) selon REYNOLDS et al. (2002), la diversité phytoplanctonique (indice de Shannon) et un indice de qualité trophique (Indice de Brettum).

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 $a\text{-L}^{-1}$ 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 Evolution saisonnière de l'année 2009

3.1.1 Evolution des classes d'algues et des taxons dominants

La figure 1 présente la dynamique saisonnière des principales classes d'algues (sensu BOURELLY, 1972, 1981 et 1985) pour l'année 2009.

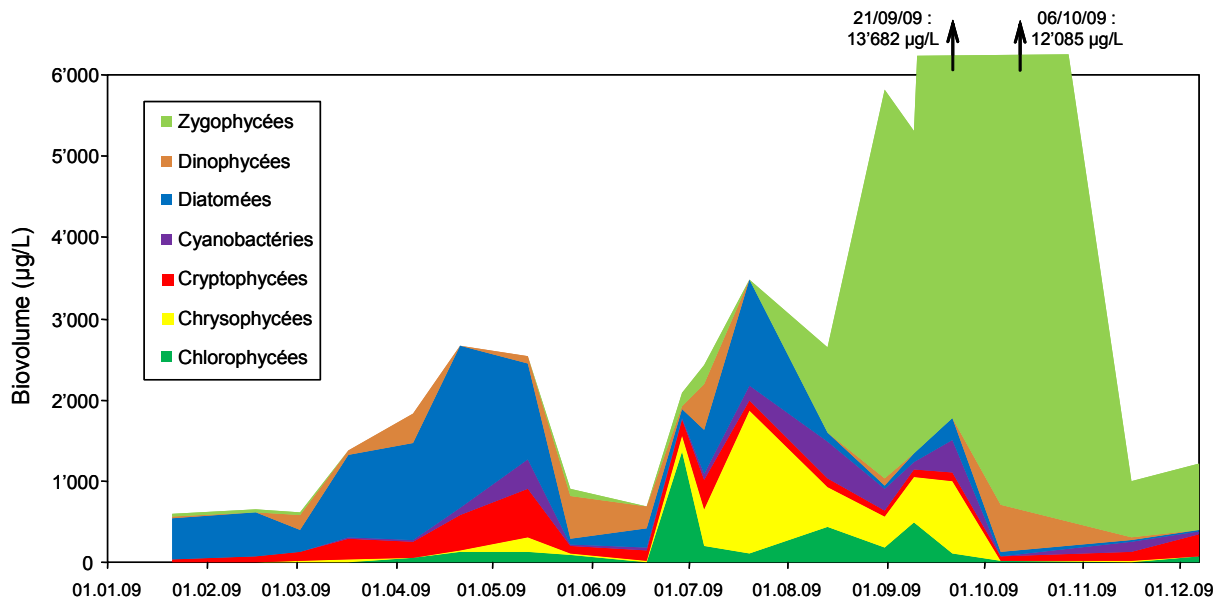


Figure 1 : Variations saisonnières de la biomasse du phytoplancton par groupe pigmentaire dans le Grand Lac, (SHL 2) en 2009. Les lignes en pointillé délimitent les phases décrites ci-dessous.

Figure 1 : Seasonal variations in the biomass of phytoplankton by pigmentary group in Grand Lac, (SHL 2) in 2009. The dotted lines delineate the phases described below.

La figure 2 présente la dynamique des taxons dominant la biomasse du phytoplancton pour l'année 2009 (les 10 taxons présentant la biomasse annuelle la plus élevée ont été sélectionnés).

Zygomycées et Conjuguées sont synonymes. Cependant, le terme Zygomycées est largement reconnu (cf. Algaebase), nous avons donc choisi d'utiliser le terme de Zygomycées.

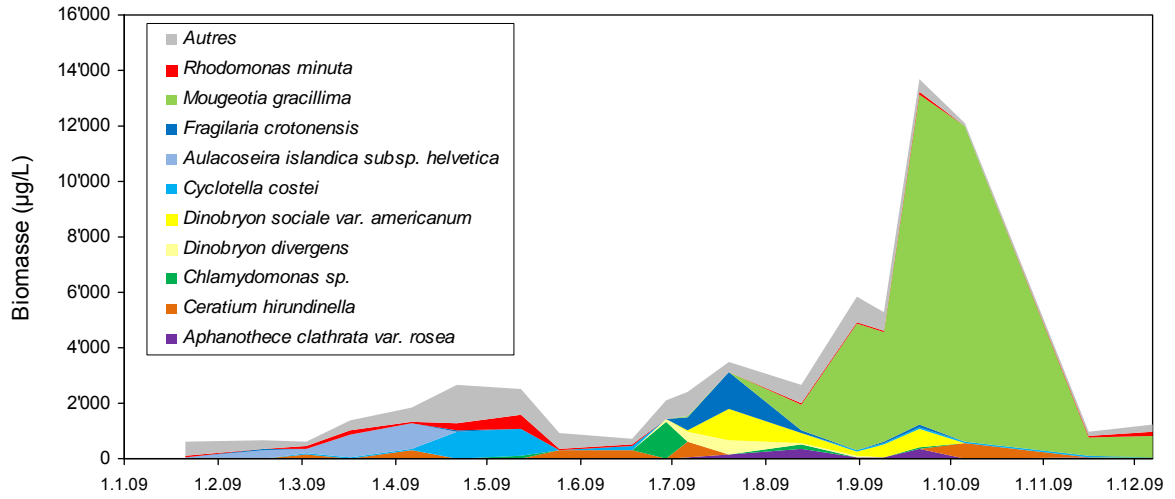


Figure 2 : Variations saisonnières de la biomasse des principaux taxons du phytoplancton dans le Grand Lac (SHL 2) en 2009.

Figure 2 : Seasonal variations in the biomass of the main taxa of phytoplankton in Grand Lac (SHL 2) in 2009.

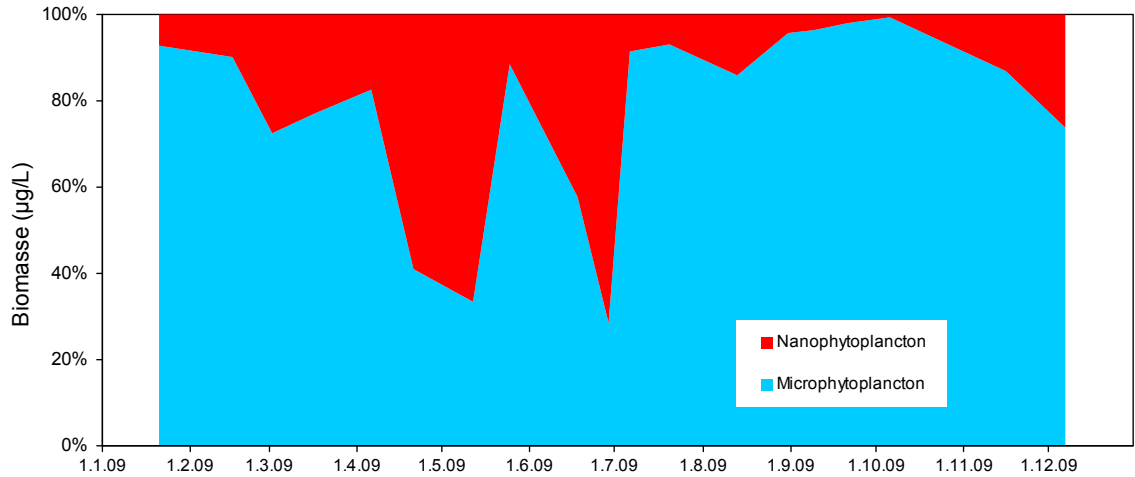


Figure 3 : Variations saisonnières de la biomasse par classes de taille dans le Grand Lac (SHL 2) en 2009.

Figure 3 : Seasonal variations in the biomass per size class in Grand Lac (SHL 2) in 2009.

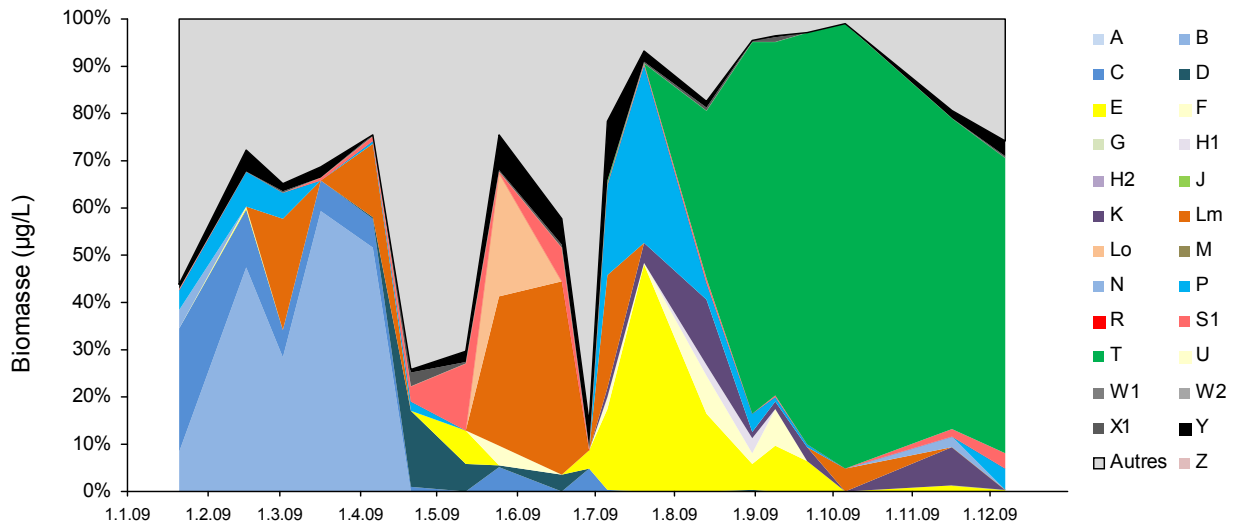


Figure 4 : Variations saisonnières de la biomasse par groupes fonctionnels dans le Grand Lac (SHL 2) en 2009.

Figure 4 : Seasonal variations in the biomass by functional group in Grand Lac (SHL 2) in 2009.

Plusieurs phases peuvent être distinguées au cours de l'année 2009 en considérant les classes d'algues :

- S une phase hivernale et printanière (du 21 janvier au 12 mai) : la biomasse augmente graduellement pendant cette phase. Les diatomées sont dominantes et représentent entre 86 % et 43 % de la biomasse phytoplanctonique totale (figure 1). Il s'agit soit de diatomées centriques isolées telles que *Cyclotella costei*, mais également de *Stephanodiscus neoastraea*; soit des centriques filamenteuses telles que *Aulacoseira islandica* subsp. *helvetica* et dans une moindre mesure les diatomées pennées *Asterionella formosa* et *Fragilaria crotonensis* (figure 2).
Pendant cette période de l'année, les Cryptophycées représentent également une part importante de la biomasse.
- S une phase des eaux claires (du 25 mai au 18 juin) : la biomasse est environ divisée par 3 par rapport à la phase précédente. La classe dominante est les Dinophycées (58 % de la biomasse le 25 mai et 41 % le 18 juin), principalement représentées par *Ceratium hirundinella*, mais également *Peridinium willei* et *Gymnodinium helveticum* (figure 2). Les diatomées représentent également une part importante pendant cette période (figure 1).
- S une phase estivale (du 29 juin au 13 août) : cette phase voit la biomasse phytoplanctonique croître. Les Chlorophycées (*Chlamydomonas* sp.) vont dominer la biomasse en juin (29 juin), puis vont laisser la place aux Chrysophycées (entre 18 et 50 % de la biomasse) représentées par *Dinobryon* spp., et également aux Diatomées *Fragilaria crotonensis*. La biomasse de cette période est comparable à celle de la période hivernale et printanière de début d'année.
- S une phase automnale (du 31 août au 6 octobre) : pendant cette phase, la biomasse algale augmente fortement. Les Zygothécées, essentiellement représentées par *Mougeotia gracillima*, dominent très largement le peuplement (entre 75 % et 94 % de la biomasse), et les biomasses atteintes sont très importantes. Le 21 septembre, la biomasse atteint 13'682 µg/L, et le 6 octobre 12'085 µg/L. Ces biomasses sont 4 fois plus élevées que les plus fortes biomasses des autres phases.
- S une phase hivernale (16 novembre et 7 décembre) : la biomasse algale décroît très fortement, elle est divisée par 12 environ. La proportion en Zygothécées reste cependant élevée (environ 67 % de la biomasse).

3.1.2 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 pour l'année 2009.

Pour l'année 2009, le nanophytoplancton est abondant surtout en début d'année (jusqu'au 29 juin). Il est dominant le 21 avril (59 % de la biomasse) le 12 mai (67 %) et le 29 juin (71 %). Son abondance est excessivement réduite pendant la phase automnale.

3.1.3 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).

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

- S Pendant la phase hivernale et printanière, l'essentiel de la biomasse est représenté par les groupes fonctionnels B et C (diatomées). Ces groupes rassemblent des taxons sensibles à la stratification et sensibles à un déficit en silice. Ils caractérisent des lacs mésotrophes à eutrophes.
- S Le groupe fonctionnel dominant pendant la phase des eaux claires est le groupe Lm, qui rassemble les taxons tolérants aux faibles concentrations en carbone (CO₂) et sensibles au brassage des eaux.
- S La phase estivale se caractérise par une biomasse importante du groupe E. Il s'agit de taxons mixotrophes tolérant les faibles concentrations en nutriments. Il est accompagné par une biomasse également importante de taxons du groupe P caractérisant les épilimnions eutrophes des lacs bien stratifiés.
- S Les phases automnale et hivernale sont largement dominées par le groupe T, avec principalement *Mougeotia gracillima*, taxon tolérant les faibles luminosités et sensible à un déficit en nutriments.

3.1.4 Profils de la sonde spectrofluorimétrique

Ces profils sont obtenus grâce à la sonde BBE. Il s'agit d'une sonde immergeable qui permet d'obtenir la concentration en μg équivalent de chl $a\text{-L}^{-1}$ 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 figure 5 montre la dynamique des diatomées ; on observe bien leur augmentation de biomasse en début de chaque année (entre 0 et 25-30 mètres), puis leur disparition sur toute la colonne d'eau avec 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 représentées par *Mougeotia gracillima*) (figure 6), on retrouve des biomasses proches de celles de l'année 2007. Les biomasses sont importantes de la surface jusqu'à des profondeurs de 35 mètres. Cependant, à de telles profondeurs et à ces dates, nous nous trouvons en dessous de la zone euphotique et les algues ne sont pas actives (cf. courbes de production primaire).

Les autres groupes pigmentaires (algues rouges et cyanobactéries) ne sont pas représentés car leurs biomasses sont nettement plus réduites.

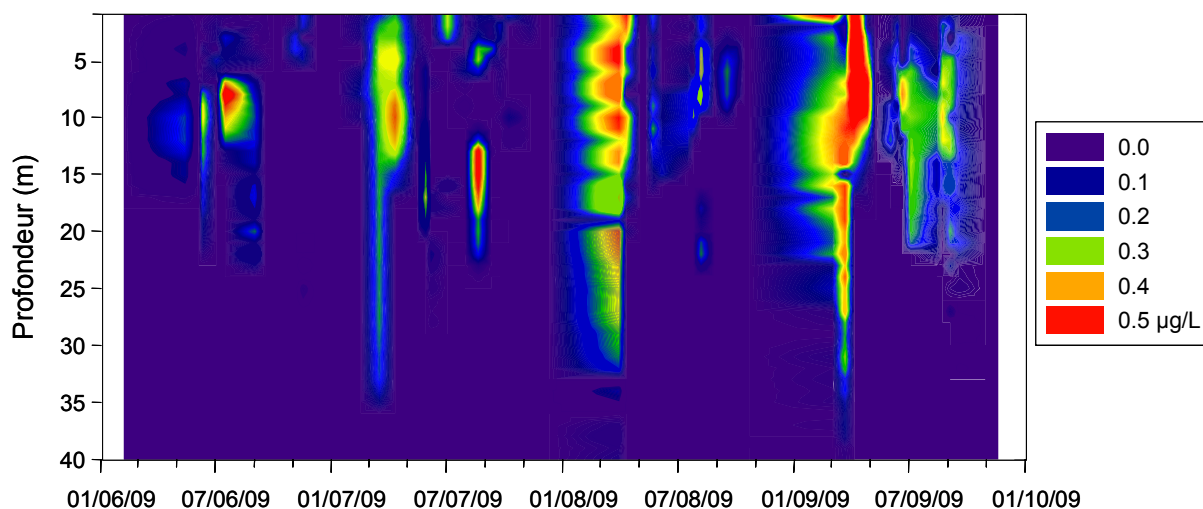


Figure 5 : Distribution de la biomasse (exprimée en μg de chlorophylle par litre) du groupe algal riche en chlorophylle a, c, xanthophylle, fucoxanthéperidine (Diatomées).

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

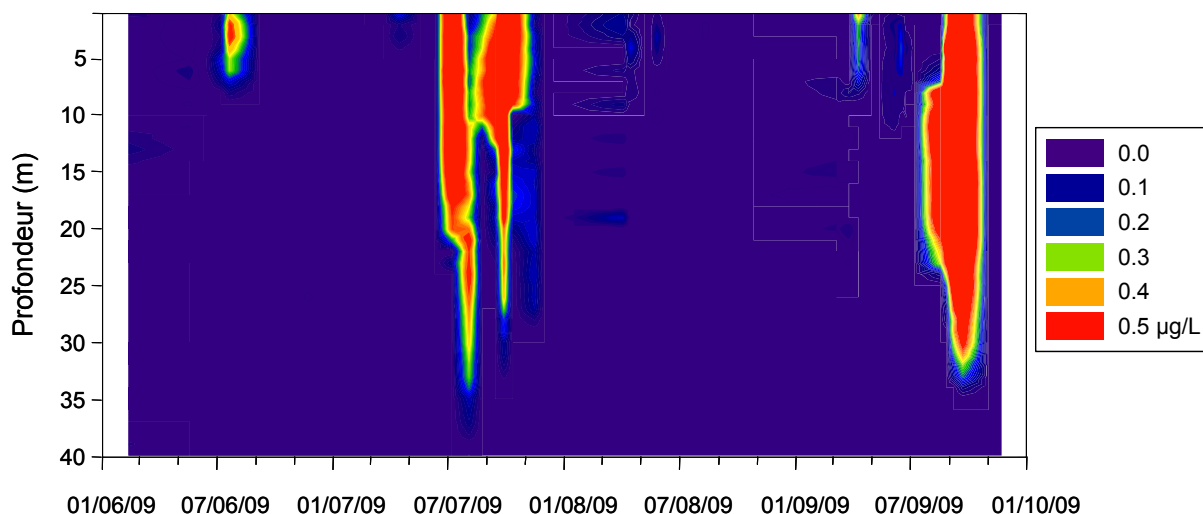


Figure 6 : Distribution de la biomasse (exprimée en μg de chlorophylle par litre) du groupe algal riche en chlorophylle a, b et caroténoïde (Chlorophycées, Conjuguées).

Figure 6 : Distribution of the biomass of the group of algae containing high levels of chlorophyll a, b, and carotenoid (Chlorophyceae, Conjugates).

3.2 Évolution interannuelle

3.2.1 Evolution des classes d'algues

La figure 7 présente l'évolution interannuelle des principales classes d'algues (sensu BOURELLY, 1972, 1981 et 1985).

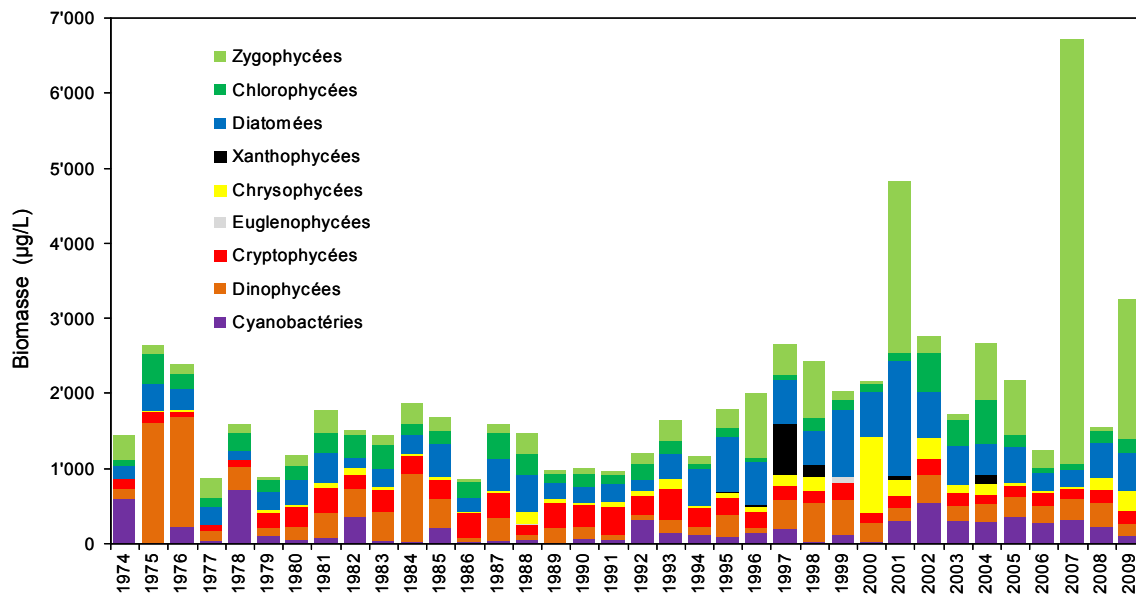


Figure 7 : Evolution interannuelle des principaux groupes pigmentaires (biomasse annuelle moyenne).
 Figure 7 : Interannual differences in the main pigmentary groups (mean annual biomass).

La biomasse phytoplanctonique de 2009 (3'243 µg/L) est la 3^e plus élevée de la chronique 1974-2009. Elle se place après celle de 2007 (6'724 µg/L) et de 2001 (4'826 µg/L).

La proportion des différentes classes d'algues est comparable à celle des années 2007 et 2001, c'est-à-dire avec une prédominance de la Zygothycée *Mougeotia gracillima*.

3.2.2 Evolution de la diversité

Un indice de diversité annuelle a été calculé sur la chronique 1974-2009. 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 2009. Cet indice moyen est reporté à la figure 8 pour chaque année.

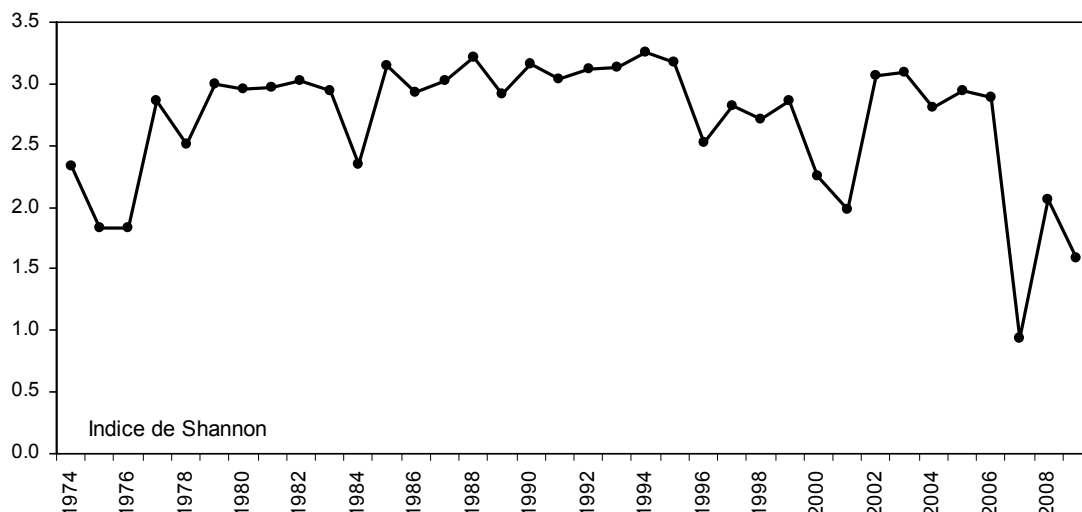


Figure 8 : Evolution interannuelle de l'indice de diversité de Shannon.
 Figure 8 : Interannual differences in the Shannon diversity index.

Après 2007, 2009 est l'année qui présente la plus faible diversité de la chronique 1974-2009. Ceci est principalement causé par la très forte abondance de *Mougeotia gracillima*. L'année 2001, qui avait également connu un bloom de *Mougeotia gracillima* présente aussi une diversité faible mais cependant supérieure à 2007 et 2009.

3.2.3 Evolution des groupes fonctionnels

La dynamique interannuelle des groupes fonctionnels de REYNOLDS et al. (2002) est donnée à la figure 9a. et spécifiquement pour le groupe Z à la figure 9b.

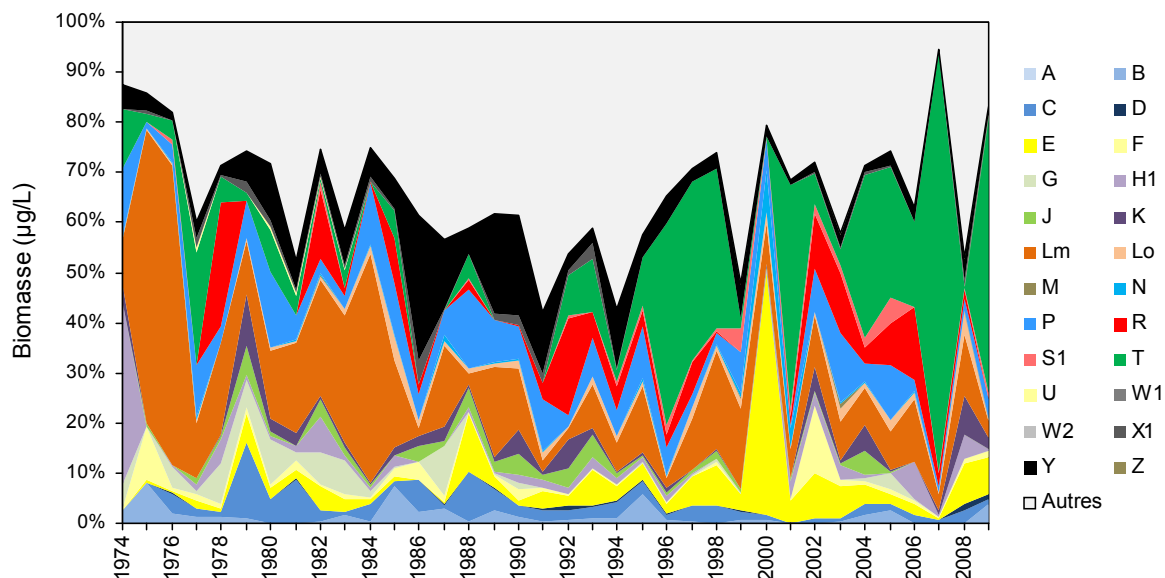


Figure 9a : Evolution de la dynamique interannuelle des groupes fonctionnels de REYNOLDS et al., (2002).
 Figure 9a : Interannual differences in the functional groups of REYNOLDS et al., (2002).

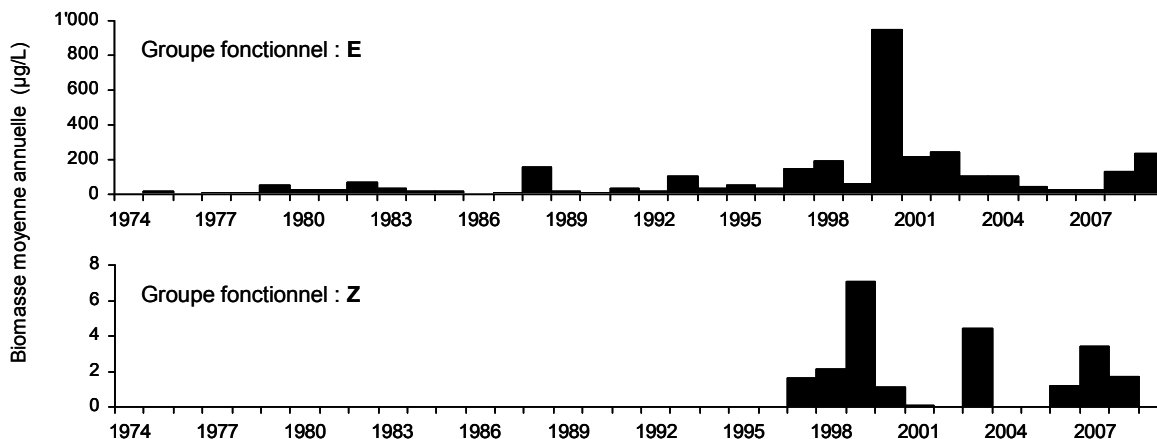


Figure 9b : Evolution de la dynamique interannuelle des groupes fonctionnels E et Z de REYNOLDS et al., (2002).
 Figure 9b : Interannual differences in the functional groups E and Z of REYNOLDS et al., (2002).

L'année 2009 confirme les tendances énoncées dans le précédent rapport pour 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 phagotrophes¹ (*Cryptomonas* sp.) caractérisant les lacs riches en nutriments, puis par le groupe T de 2001 à 2009 rassemblant des taxons préférant les couches profondes de l'épilimnion bien brassé mais sensibles à un déficit en nutriments.

Plusieurs autres groupes absents dans les années 1974-1988 deviennent de plus en plus fréquents depuis 1997. C'est le cas du groupe E rassemblant des taxons mixotrophes (ex : *Dinobryon* spp., *Mallomonas* spp.) et du groupe Z (même s'il présente une biomasse faible) avec les taxons picoplanctoniques (ex : *Synechococcus*) : tous ces taxons de ces deux groupes fonctionnels tolèrent les eaux pauvres en nutriments (cf. figure 9b).

¹ 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.

3.2.4 Evolution de l'indice de qualité phytoplancton Brettum

Le niveau trophique des lacs peut ainsi être évalué à partir d'indices basés sur la composition taxonomique et la biomasse phytoplanctonique. Une étude a montré que c'est l'indice de Brettum (modifié par WOLFRAM et al. (2007); WOLFRAM et DOKULIL (2007)) qui était le plus adapté à évaluer le niveau trophique des grands lacs alpins mais nécessitait une correction (KAIBLINGER, 2008; KAIBLINGER et al., 2009). 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	Concentrations en phosphore total	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 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	mésotrophe / 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 10 présente l'évolution de cet indice.

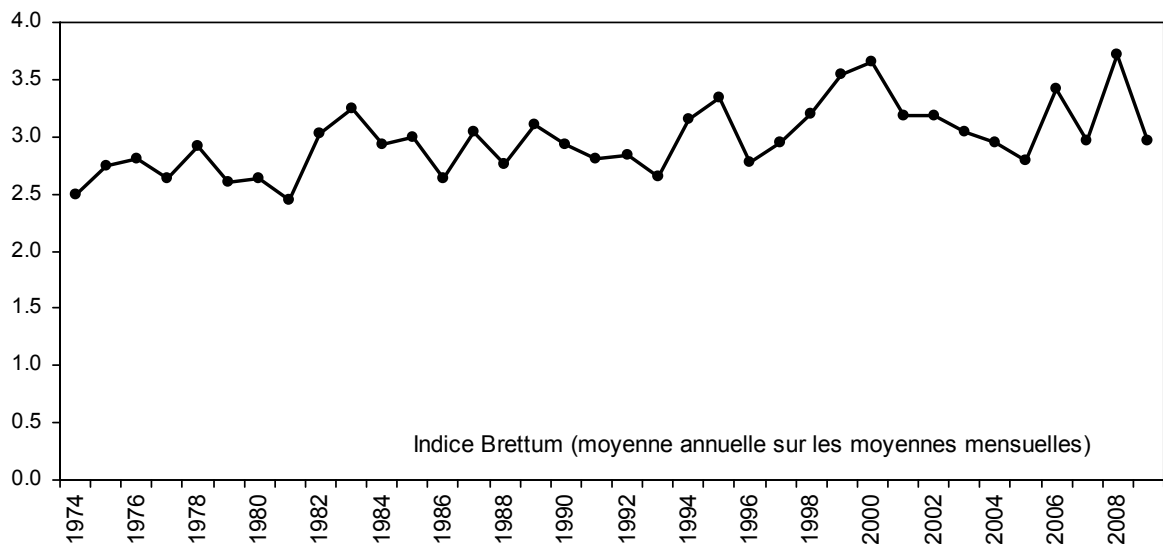


Figure 10 : Evolution de l'indice de qualité phytoplancton de Brettum (BRETTUM, 1989).

Figure 10 : Change in Brettum's phytoplankton quality index (BRETTUM, 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 2009 est de 2.94, c'est-à-dire 0.77 point de moins que l'année 2008. Cette chute s'explique principalement par les fortes biomasses de *Mougeotia gracillima* observées pendant la phase automnale.

4. CONCLUSIONS

L'évolution saisonnière du phytoplancton pour l'année 2009 montre une augmentation graduelle de la biomasse algale printanière principalement liée aux diatomées centriques comme *Cyclotella costei* (indicatrice de ré-oligotrophisation, RIMET et al., 2009) et *Stephanodiscus neoastrea*. Leurs biomasses sont importantes de la surface jusqu'à des profondeurs de l'ordre de 15 mètres. La phase des eaux claires est bien marquée (autour du 25 mai au 18 juin). La biomasse va à nouveau augmenter pour atteindre des niveaux très élevés en automne (21 septembre et 6 octobre). Ces niveaux sont liés à l'omniprésence de *Mougeotia gracillima*, Zygothécée filamenteuse qui est abondante de la surface jusqu'à des profondeurs de 35 mètres. La biomasse algale va ensuite diminuer fortement à partir de la mi-novembre.

L'analyse interannuelle du phytoplancton depuis 1974 permet de montrer que les biomasses atteintes en 2009 sont les 3^{èmes} plus élevées, après celles de 2007 et de 2001. L'origine de ces fortes biomasses pour ces trois années est la même, il s'agit de blooms liés à *Mougeotia gracillima*.

L'évolution des groupes fonctionnels met en évidence la même tendance que les années précédentes : une réduction des taxons caractéristiques des épilimnions bien stratifiés des lacs eutrophes. Ces taxons sont remplacés par des taxons tolérant les faibles luminosités et présents dans les couches profondes d'épilimnion bien brassés. D'autre part, certains taxons, présentant des biomasses faibles, montrent cependant une augmentation de leurs fréquences d'apparition ; il s'agit de taxons mixotrophes et picoplanctoniques, tous tolérant les eaux pauvres en nutriments. Les tendances mises en évidence dans ANNEVILLE (2001) se poursuivent.

L'évolution de l'indice de qualité Brettum (BRETTUM, 1989) montre globalement que 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 Rhone 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.
- DRUART, J.C. et RIMET, F. (2008) . Protocoles d'analyse du phytoplancton de l'INRA : prélèvement, dénombrement et biovolumes. INRA Thonon, Rapport SHL 283 - 2008, 96 p.
- KAIBLINGER, C. (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. et 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 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) : Zür 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., MARCHETTO, 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).

ANNEXE 1

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