

PHYTOPLANCTON DU LÉMAN

THE PHYTOPLANKTON OF LAKE GENEVA

Campagne 2007

PAR

Frédéric RIMET, Jean-Claude DRUART et Laura MOREAU

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

RÉSUMÉ

Au cours de l'année 2007, 18 campagnes de prélèvements ont été effectuées au centre du Grand Lac (SHL2), dans la couche 0-18 m.

La richesse taxonomique du phytoplancton a fortement diminué en 2007 ; seuls 89 taxons ont été observés contre 113 en 2006. Par ailleurs, cette diversité, estimée au moyen de l'indice de Shannon est la plus faible depuis 1974. Ceci est principalement causé par la prépondérance d'une espèce, *Mougeotia gracillima*, qui représente 79 % de la biomasse carbonée annuelle. *Planktothrix rubescens* est la seule autre espèce abondante du compartiment phytoplanctonique (5.4 % de la biomasse carbonée annuelle). La répartition de ces deux taxons est bien marquée dans le temps ; *P. rubescens* domine le compartiment de janvier à avril, puis *Mougeotia gracillima* la remplace jusqu'à la fin de l'année.

Entre 2006 et 2007, la biomasse annuelle carbonée augmente de 451 % (174 µgC/L en 2006 et 784 en 2007) ; 2007 est assez exceptionnelle car il s'agit de la biomasse la plus élevée depuis le début des études du phytoplancton effectuées sur eau brute en 1974. Elle est principalement le fait de *Mougeotia gracillima* et de son très fort développement qui a d'ailleurs causé de nombreux inconvénients dans les activités de pêche professionnelle de juillet à septembre. Les conditions qui ont favorisé le développement de *M. gracillima* sont les faibles intensités lumineuses de cet été qui a été couvert.

Par rapport aux années précédentes, la biomasse représentée par *Planktothrix rubescens* reste stable mais correspond à des niveaux relativement élevés pour le Léman depuis 2001.

La biomasse printanière moyenne de 2007 (BP : 169 µgC/L) est relativement élevée; il s'agit de la 2^e valeur la plus élevée depuis 2001. Cependant le rapport BP/BE est faible, à cause de la valeur élevée de la biomasse estivale moyenne (BE : 1'176 µgC/L).

Il faut souligner la valeur record de la biomasse du prélèvement du 25 juillet qui atteint 4'363 µgC/L, elle est représentée à 99 % par *Mougeotia gracillima*.

Les proportions du nanophytoplancton (25 % de la biomasse carbonée totale) et du microphytoplancton (75 %) en 2007 sont proches de celles enregistrées en 2006 (22 % pour le nanophytoplancton et 78 % microphytoplancton).

ABSTRACT

In the course of the year 2007, 18 sampling campaigns were carried out in the middle of Grand Lac (SHL2), in the 0-18 meter layer.

The taxonomic diversity of the phytoplankton declined sharply in 2007; only 89 taxa were observed versus 113 in 2006. Furthermore, this diversity, which is estimated by means of the Shannon Index, was at its lowest since 1974. This was mainly caused by the preponderance of one species, *Mougeotia gracillima*, which accounted for 79% of the annual carbon biomass. *Planktothrix rubescens* was the only other abundant species in the phytoplankton compartment (5.4% of the annual carbon biomass). The distribution pattern of these two taxa was clearly different over time; *P. rubescens* dominated the compartment from January to April, and then *Mougeotia gracillima* replaced it up to the end of the year.

Between 2006 and 2007, the annual carbon biomass increased by 451 % (174 µgC/L in 2006 versus 784 in 2007); 2007 was fairly unusual, because this was the highest biomass recorded since determinations of phytoplankton were first carried out on unprocessed water in 1974. The biomass was mainly attributable to *Mougeotia gracillima* and to its very marked development, which also caused numerous problems for commercial fishing from July to September. The conditions that promoted the development of *M. gracillima* were the low light intensity during the summer, which was overcast.

The biomass corresponding to *Planktothrix rubescens* was the same as in the preceding years, but this corresponded to fairly high levels for Lake Geneva since 2001.

The mean springtime biomass in 2007 (SprB : 169 µgC/L) was relatively high; this was the second highest value recorded since 2001. Nevertheless, the SprB/SumB ratio was low, due to the high value of the mean summer biomass (SumB : 1'176 µgC/L). The record value of the biomass in the sample of 25 July (4'363 µgC/L) should be mentioned; 99 % of this consisted of *Mougeotia gracillima*.

The proportions of nanophytoplankton (25 % of the total carbon biomass) and of microphytoplankton (75 %) in 2007 were similar to those recorded in 2006 (22 % nanophytoplankton and 78 % microphytoplankton).

1. INTRODUCTION

Comme les années précédentes, le phytoplancton a fait l'objet d'un suivi durant l'année 2007 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.

2. MÉTHODES

Le phytoplancton a été récolté de janvier à décembre 2007 dans les 18 premiers mètres de la colonne d'eau à l'aide d'une cloche intégratrice d'eau brute. Ces prélèvements ont été effectués une fois par mois en janvier, février, mai, septembre, novembre et décembre et sont bimensuels pour les autres mois de l'année. Un seul prélèvement a été réalisé pour les campagnes des mois de mai et septembre en raison de mauvaises conditions météorologiques. Au final, 18 campagnes ont été menées en 2007.

Les échantillons d'eau brute sont fixés au lugol ; puis chaque sous-échantillon d'un volume variant de 25 ml à 50 ml selon la densité en algues, est mis à sédimenter. Les examens qualitatif et quantitatif se font au microscope inversé selon la technique d'UTERMÖHL (1958), méthode maintenant normalisée au niveau français et européen (Norme NF EN 15204, AFNOR, 2006).

Les taxons nanophytoplanctoniques ont une longueur < 20 µm et un biovolume < 10'000 µm³, ceux du microphytoplancton une longueur ≥ 20 µm et un biovolume ≥ 10'000 µm³.

Les biomasses phytoplanctoniques carbonées sont dorénavant calculées selon les modifications apportées au protocole de 2005 (DRUART et al., 2006) et exprimées en µgC/L.

3. RÉSULTATS

3.1 Richesse taxonomique

89 taxons ont été identifiés en 2007, soit 24 de moins qu'en 2006 (113 taxons). 26 taxons appartiennent au nanophytoplancton contre 63 au microphytoplancton. En 2007, la majorité des taxons sont, cette année encore, des espèces microphytoplanctoniques, mais leur nombre chute de façon importante (84 taxons en 2006).

Tableau 1 : Richesse spécifique dans le Léman entre 2002 et 2007.

Table 1 : Species richness in Lake Geneva between 2002 and 2007.

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Nombre de taxons microplanctoniques	73	61	71	65	65	84	63
Nombre de taxons nanoplanctoniques	30	58	69	57	27	29	26

La richesse spécifique (estimée par le nombre de taxons) au cours des années est assez irrégulière (tableau 1, figure 1), mais elle a toujours été comprise entre 92 et 151 taxons entre 1981 et 2006. 2007 présente le plus faible nombre de taxons depuis 1981 ; la baisse par rapport à 2006 est relativement forte. Les nombres de taxons avant 1981 sont plus faibles mais l'effort d'échantillonnage était plus faible : 12 prélèvements au lieu de 21 étaient réalisés au cours de l'année. Par conséquent, les données sont difficilement comparables (effort d'échantillonnage différent).

L'indice de diversité de Shannon (SHANNON & WEAVER, 1949) a été calculé sur la chronique 1974-2007 (figure 1) à partir des biomasses annuelles totales. Les valeurs de cet indice, plus robuste à l'effort d'échantillonnage, peuvent être comparées sur toute la chronique. Après une période relativement stable entre 1977 et 1995, la diversité devient plus chaotique, avec des chutes relativement fortes : 2000, 2001 et 2007. Il s'agit du plus faible indice de diversité de Shannon enregistré depuis 1974.

En 2007, sur 89 taxons inventoriés, seuls deux taxons, *Mougeotia gracillima* et *Planktothrix rubescens* présentent des biomasses carbonées élevées (supérieures à 5 %), ils constituent d'ailleurs 84.4 % de la biomasse totale. Ceci explique ces très faibles valeurs de diversité de Shannon.

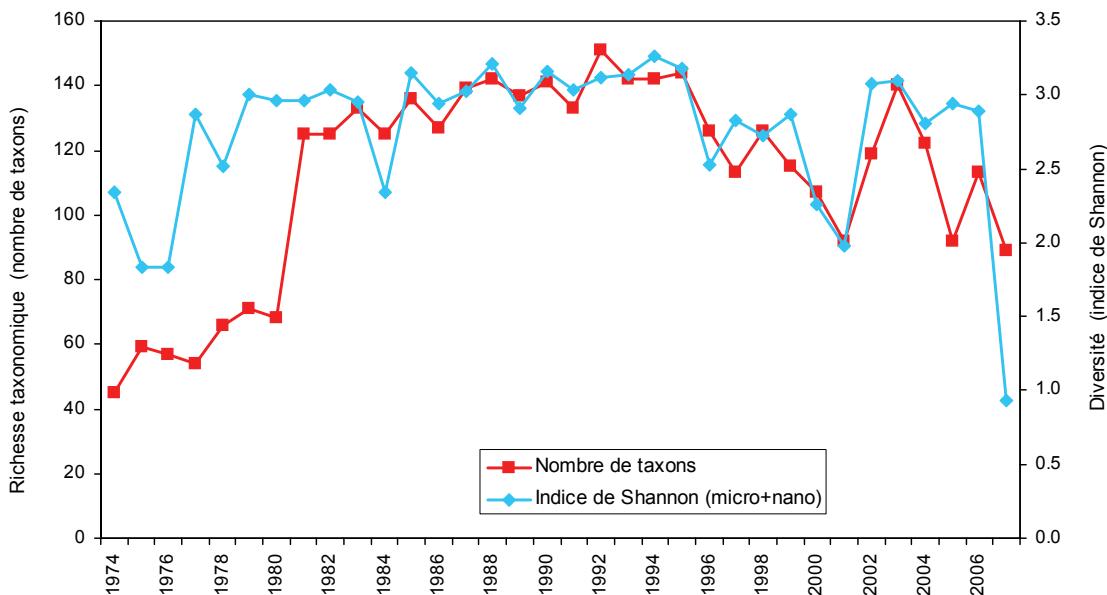


Figure 1 : Evolution de la richesse spécifique et de la diversité du phytoplancton dans le Grand Lac depuis 1974.
Figure 1 : Change in the species richness and diversity of phytoplankton since 1974 in Grand Lac (at Station SHL2).

L'évolution des espèces dominantes depuis 2001 est présentée en annexe 1.

2 taxons ont été recensés pour la première fois dans le Grand Lac en 2007 :

- 1 cyanobactéries coloniale : *Lemmermanniella parva* Hindák, observée le 17/09/2007 (photo 1).
- 1 chlorophycée coloniale : *Coelastrum morus* W. & G.S. West (photos 2, 3), observée dans trois prélèvements ponctuels à 50 m de profondeur (prélèvement effectué avec une bouteille de Van Dorn), les 20.09.2007, 03.10.2007 et 07.11.2007 (Moreau, 2007).

Plusieurs formes indéterminées ont été recensées dans le Grand Lac en 2007 :

- 1 chlorophycée coloniale (photos 4, 5).
- 1 chrysophycée : Stomatocyste (photo 6).

On note la présence de plusieurs espèces du genre *Mallomonas* (chrysophycée) le 05.12.2007, genre non recensé en 2006 et rarement observées et photographiées dans le Léman :

- *Mallomonas acaroides* Perty (photos 9, 10)
- *Mallomonas elongata* Reverdin (photos 11, 12)

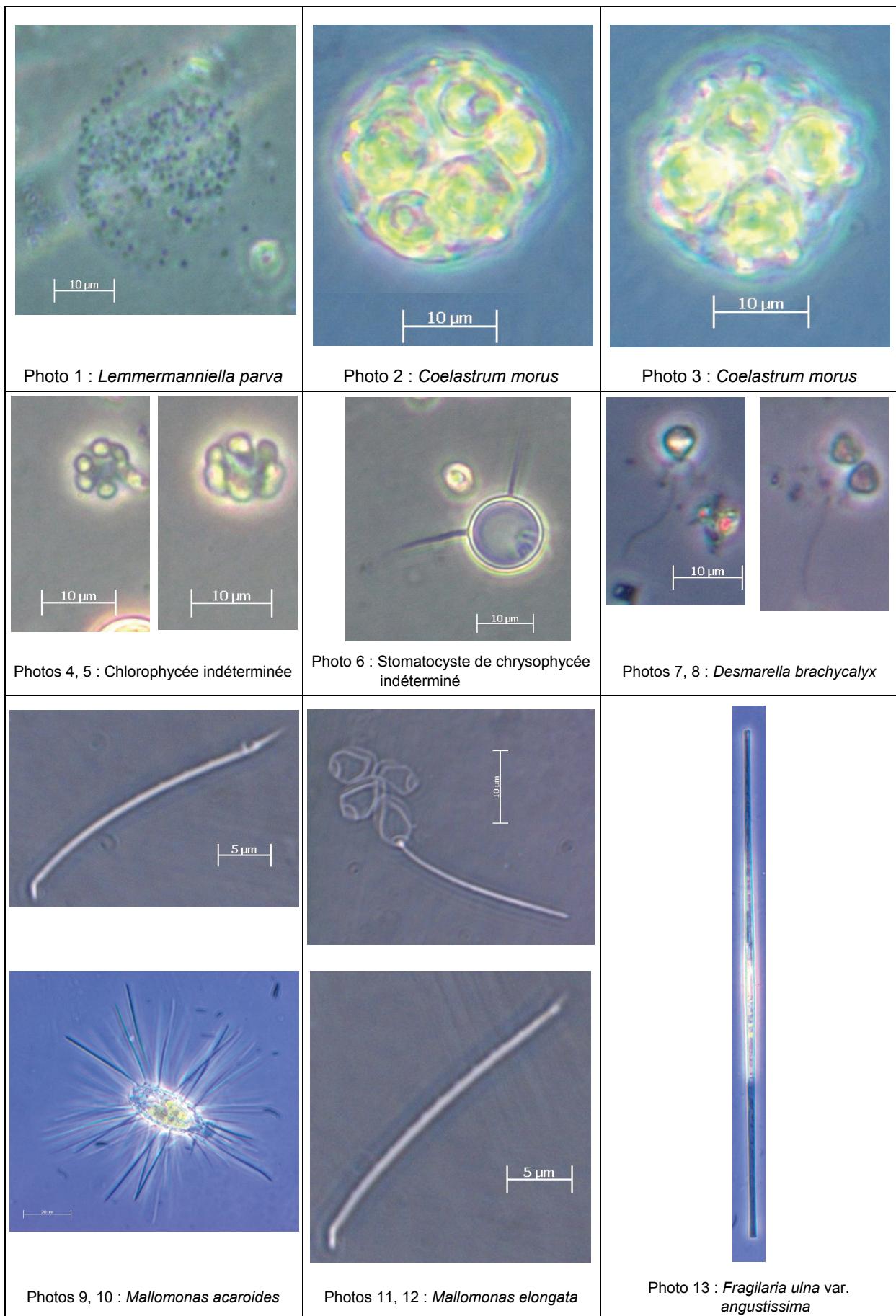
Les photos 7 et 8 présentent une petite Chrysophycée, *Desmarella brachycalyx*, non observée en 2006 et également rarement photographiée dans le Léman. La photo 13 présente une diatomée commune dans le Léman (*Fragilaria ulna* var. *angustissima*).

3.2 Répartition par classe d'algues et par classe de taille

La répartition en 2007 du nombre de taxons entre les différentes classes d'algues ainsi que la part relative du nano et du microphytoplancton dans la communauté phytoplanctonique sont données dans le tableau 2.

Tableau 2 : Répartition du nombre de taxons des différentes classes d'algues à la station SHL2 en 2007.
Table 2 : Relative numbers of micro- and nanoplankton in the various phytoplankton categories at the SHL2 station in 2007.

	Microplancton		Total (micro + nano)
	> 20 µm	≤ 20 µm	
Chlorophycées	17	12	29
Diatomées	13	3	16
Cyanobactéries	12	3	15
Chrysophycées	7	4	11
Conjuguées	8	0	8
Dinophycées	4	2	6
Cryptophycées	2	2	4
Total	63	26	89
%	70.8 %	29.2 %	100 %



Globalement en 2007, le phytoplancton est essentiellement représenté par des espèces microplanctoniques (71 % contre 29 %). Les groupes pigmentaires les plus représentés sont les chlorophycées, comme en 2006 (DRUART, 2007). Les diatomées, les cyanobactéries, sont les deux autres groupes présentant des richesses taxonomiques également importantes.

3.3 Développement des principales espèces au cours de l'année

La succession des principaux taxons (taxons représentant plus de 0.5 % de la biomasse carbonée annuelle) pour l'année 2007 est illustrée à la figure 2.

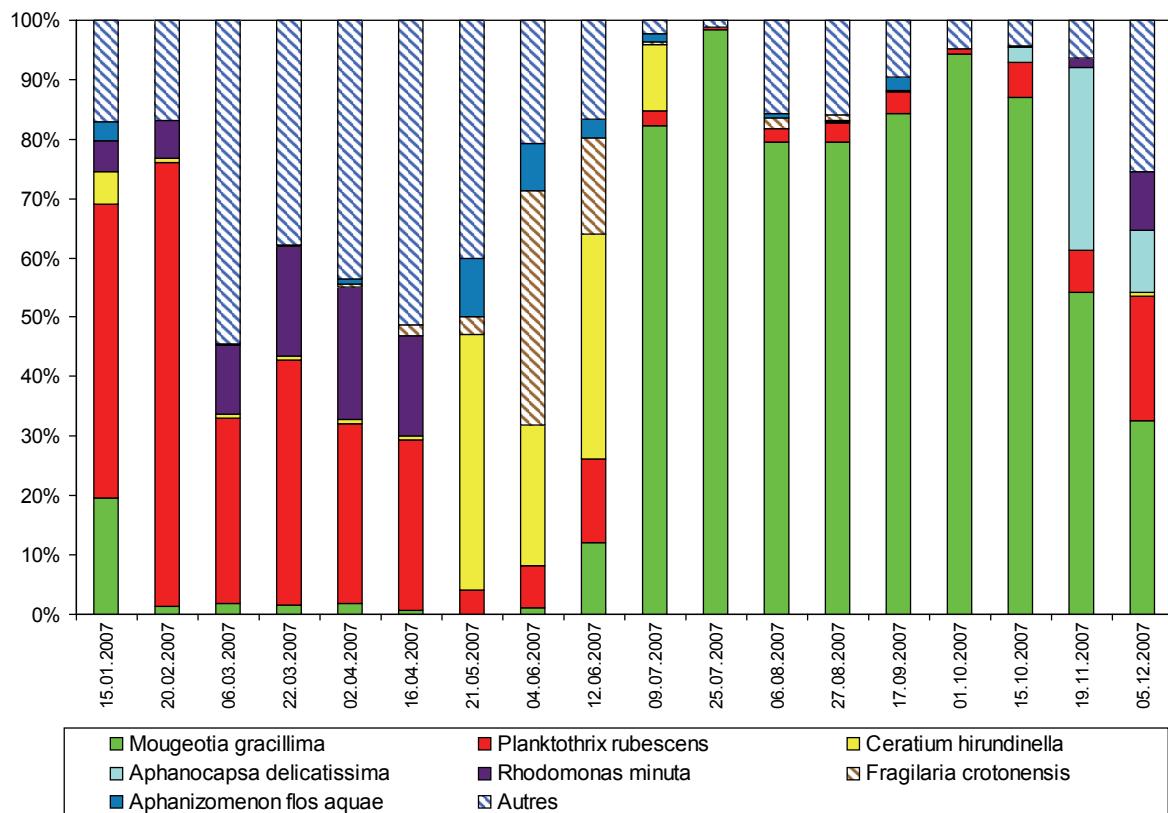


Figure 2 : Importance relative des principaux taxons à la station SHL2 en 2007 (> 1 % de la biomasse carbonée totale).

Figure 2: Relative number of the main taxa at the SHL2 station in 2007 (> 1 % of total carbon biomass).

Seules 5 espèces dominent le compartiment phytoplanctonique pour l'année 2007 avec des biomasses carbonées supérieures à 1 %. Cette faible richesse est également bien soulignée par les faibles valeurs de l'indice de diversité de Shannon (cf. figure 1). Les deux espèces dominantes en 2007 sont des algues filamenteuses appartenant au microphytoplancton, *Mougeotia gracillima* et *Planktothrix rubescens*, la première étant une conjuguée et la seconde une cyanobactéries.

L'évolution annuelle de ces 7 taxons est décrite ci-dessous :

- ▶ *Mougeotia gracillima* est une conjuguée filamenteuse, qui représente 79 % de la biomasse carbonée annuelle pour l'année 2007. Présente toute l'année, elle montre des biomasses réellement importantes à partir de juillet, et va composer l'essentiel de la biomasse du compartiment phytoplanctonique jusqu'à la fin de l'année. Son développement est lié à des eaux encore relativement chaudes (températures de début d'automne) et des intensités lumineuses correspondant à celles rencontrées en automne (DRUART et BALVAY, 2007 ; REYNOLDS et al., 2002). L'année 2007 présente les plus faibles valeurs d'ensoleillement pour les mois de juin à août depuis 1999 (com.pers. QUETIN). Cette algue filamenteuse a provoqué pendant la période estivale et automnale d'importants inconvénients pour les activités de la pêche professionnelle du Léman (Dauphiné Libéré du 19.07.07, Le régional n°394 du 02.11.2007). Les niveaux de biomasses pour cette espèce sont les plus hauts relevés depuis 1974, et font de 2007 une année qui sort du commun.
- ▶ *Planktothrix rubescens* représente seulement 5.4 % de la biomasse carbonée annuelle. Sa biomasse s'élève à 42 µgC/L en moyenne annuelle, avec des maxima de 91 et 110 µgC/L respectivement pour les mois de janvier et février 2007. Ce taxon est cependant observé tout au long de l'année. Les biomasses de *P. rubescens* restent élevées et comparables à celles mesurées depuis 2002. En effet, depuis 6 ans, *P. rubescens* est abondant, ses biomasses moyennes annuelles peuvent atteindre 66 µgC/L (2002) et ne descendent pas en dessous de 39 µgC/L (2006). Avant 2000, les biomasses de *P. rubescens* ne dépassaient cette valeur de 39 µgC/L que lors d'années exceptionnelles (par exemple 1978 : 83 µgC/L).

- ▶ *Ceratium hirundinella* est une dinophycée de grande taille qui représente un faible nombre d'individus dans les dénombremens, mais de par sa grande taille, elle représente 3.6 % de la biomasse carbonée annuelle. En 2007, ce taxon apparaît à la fin du printemps et au début de l'été, observation conforme à son écologie déjà décrite par DRUART et BALVAY (2007), comme une algue caractérisant les eaux chaudes et fortement éclairées.
- ▶ *Aphanocapsa delicatissima* est une cyanobactérie coloniale qui apparaît en fin d'année. Sa participation à la biomasse carbonée annuelle est modeste (1.3 %). Ce taxon, apparu dans le Léman en 2002 et 2004 avec des biomasses 10 fois supérieures, a été principalement observé à partir de l'automne jusqu'à la fin de l'année. Il est généralement considéré comme caractéristique de milieux riches en nutriments (Reynolds et al., 2002).
- ▶ *Rhodomonas minuta*, est une petite cryptophycée qui représente seulement 1.1 % de la biomasse carbonée annuelle. En 2007, elle est observée principalement en début et en fin d'année, et disparaît rapidement au moment de la stratification du lac. Ce taxon est connu pour caractériser les eaux froides (Skuja, 1948, le qualifie de sténotherme d'eau froide). Le broutage par le zooplancton est également à prendre en considération dans sa disparition à la fin du printemps.
- ▶ *Fragilaria crotonensis*, diatomée pennée et rubanée, apparaît à la même période que *Ceratium hirundinella*, c'est-à-dire entre fin mai et début septembre. Elle représente 0.9 % de la biomasse carbonée annuelle. Il faut souligner que ce taxon qui se développait en été dans les années 1990, apparaît maintenant beaucoup plus précocement (DRUART et al., 2005).
- ▶ *Aphanizomenon flos-aquae* est une cyanobactérie filamentuse qui représente 0.8 % de la biomasse carbonée. Elle se développe principalement entre les mois de mai et août.

3.4 Évolution interannuelle de la biomasse carbonée

Par rapport à l'année 2006, on observe en 2007 une très forte augmentation de la biomasse moyenne annuelle (1'240 mg·m⁻³ en 2006 et 6'724 mg·m⁻³ en 2007), soit une augmentation de 542 %. Il s'agit d'ailleurs de la valeur de biomasse la plus élevée depuis 1974 (figure 3). Cette valeur est proche de celle de 2001 (4'826 mg·m⁻³), mais reste supérieure.

L'espèce dominante est *Mougeotia gracillima*. Les niveaux de biomasses pour cette espèce sont les plus hauts relevés depuis 1974, et font de 2007 une année qui sort du commun. L'année 2001 avait également vu des développements importants de cette algue (biomasses annuelles moyennes de 243 µgC/L), l'année 2007 compte une biomasse cependant trois fois supérieure pour cette même espèce (619 µgC/L).

Depuis 1974, les biomasses moyennes annuelles du phytoplancton montrent deux phases distinctes (figure 3). La première (1974 à 1996), avec des biomasses annuelles moyennes allant de 950 à 2'700 mg·m⁻³, et la seconde (1997 à 2007) avec des biomasses de 1300 à 6'700 mg·m⁻³. C'est dans cette deuxième période que nous enregistrons les plus forts développements de *Mougeotia gracillima*.

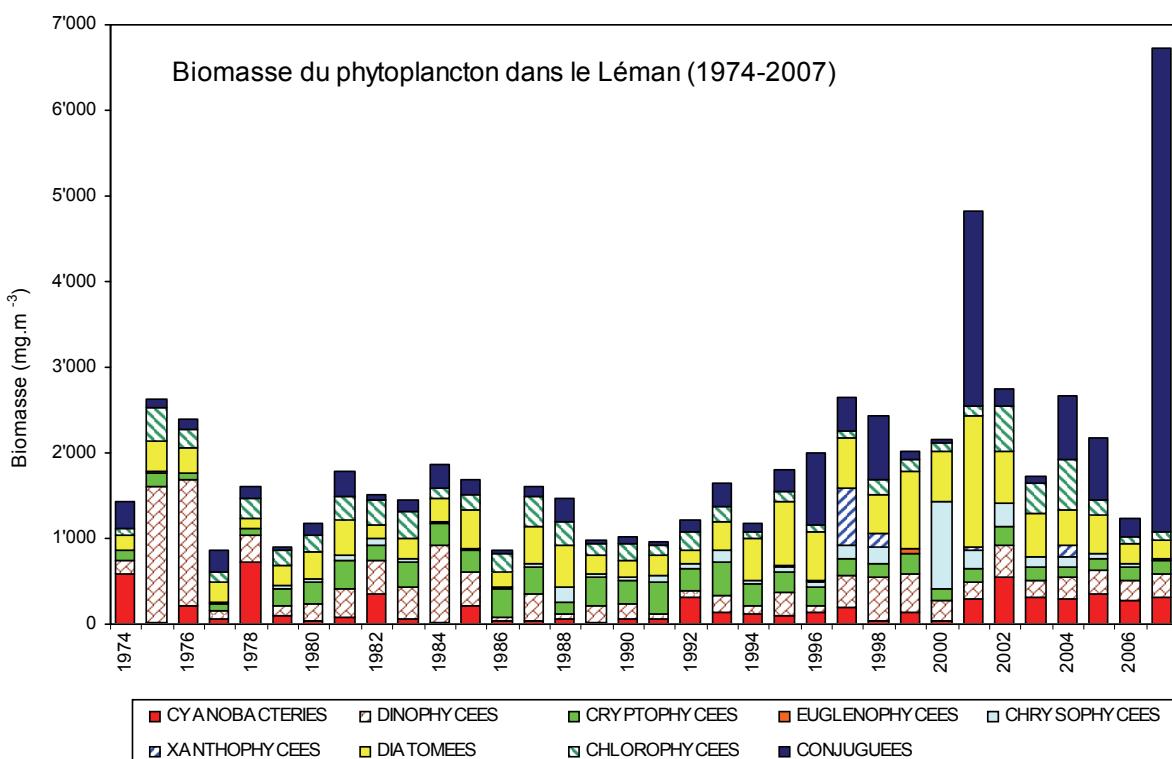


Figure 3 : Evolution de la biomasse phytoplanctonique de 1974 à 2007.

Figure 3 : Long-term changes in phytoplankton biomass for 1974 to 2007.

3.5 Variations saisonnières de la biomasse carbonée en 2006 et 2007

La figure 4 représente les variations de la biomasse phytoplanctonique pour les années 2006 et 2007 ; l'année 2006 a été reprise dans cette figure pour deux raisons :

- ▶ une comparaison des biomasses de ces deux années apparaissait comme nécessaire étant donné leurs différences significatives,
- ▶ une erreur d'échelle de la figure 8 (p. 88) du rapport CIPEL 2007 a été détectée, il apparaissait nécessaire de donner à nouveau un graphique avec une échelle correcte (figure 4).

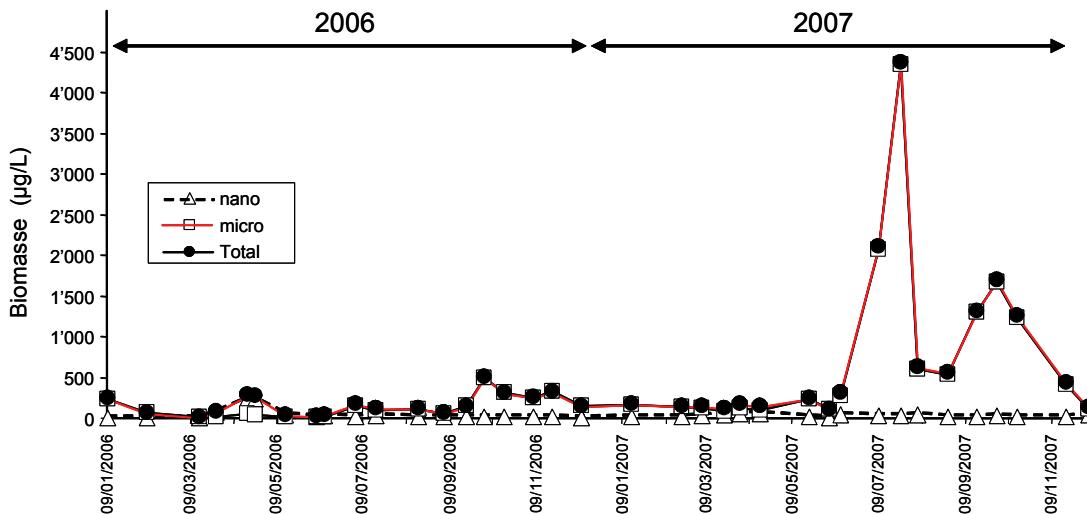


Figure 4 : Variations saisonnières des biomasses carbonées, du microphytoplancton, du nanophytoplancton et du phytoplancton total dans le Grand Lac, (SHL2) en 2006 et 2007.

Figure 4 : Seasonal changes in the carbon biomasses of total phytoplankton, microplankton and nanoplankton at Station SHL2 in Lake Geneva in 2006 and 2007.

On constate (figure 4) une nette différence de biomasse entre les deux années 2006 et 2007, cette différence est principalement le fait des mois d'été et d'automne. La figure 5 illustre les variations pour les biomasses totales, microphytoplanctonique et nanophytoplanctonique pour l'année 2007 seule ; les valeurs les plus extrêmes des 25 juillet et 1^{er} octobre sont tronquées pour permettre de mieux voir l'évolution des autres mois présentant des biomasses plus faibles.

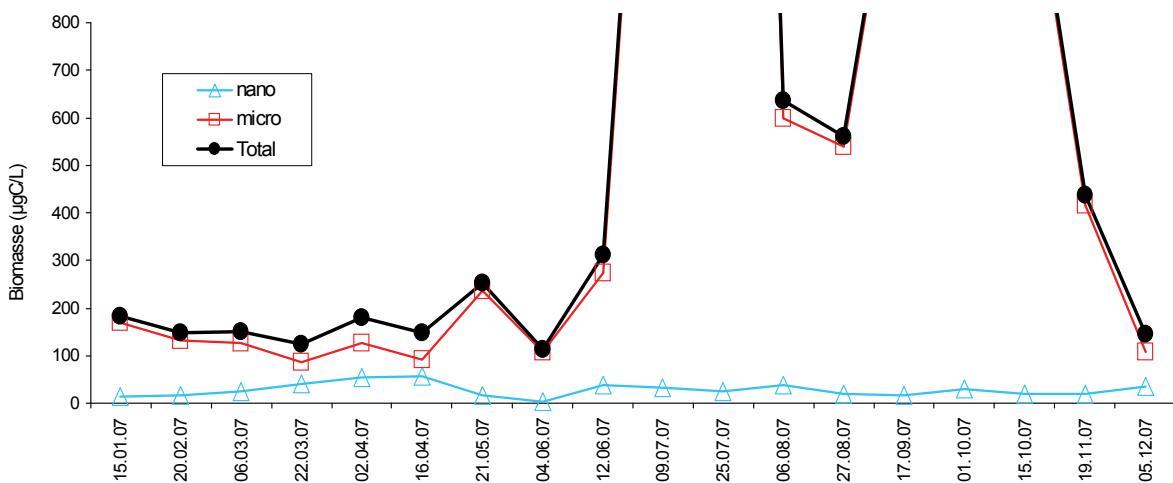


Figure 5 : Evolution des biomasses carbonées, du microphytoplancton, du nanophytoplancton et totale du phytoplancton dans le Grand Lac, (SHL 2) en 2007. Les valeurs extrêmes ne sont pas représentées, les valeurs sont reprises ci-après ($\mu\text{gC/L}$) : Microphytoplancton : 09/07 : 2'072, 25/07 : 4'340, 17/09 : 1'298, 1/10 : 1'667, 15/10 : 1'239 ; Total : 09/07 : 2'103, 25/07 : 4'363, 17/09 : 1'315, 1/10 : 1'698, 15/10 : 1'258.

Figure 5: Seasonal changes in the carbon biomasses of the total phytoplankton microplankton and nanoplankton at the Station SHL2 in Lake Geneva in 2007. The outlier values are not shown; the values are shown again below ($\mu\text{gC/L}$): Microphytoplankton: 09/July : 2'072, 25/July : 4'340, 17/Sept.: 1'298, 1/Oct.: 667, 15/Oct.: 1'239 ; Total : 09/July: 2'103, 25/July: 4'363, 17/Sept.: 1'315, 1/Oct.: 1'698, 15/Oct: 1'258.

L'évolution de la biomasse carbonée de *Mougeotia gracillima* est donnée sur la figure 6. Cette espèce représente plus de 79 % de la biomasse carbonée annuelle. Une photographie des 18 prélèvements récoltés au cours de l'année 2007 (figure 7) donne une idée de la densité algale des prélèvements.

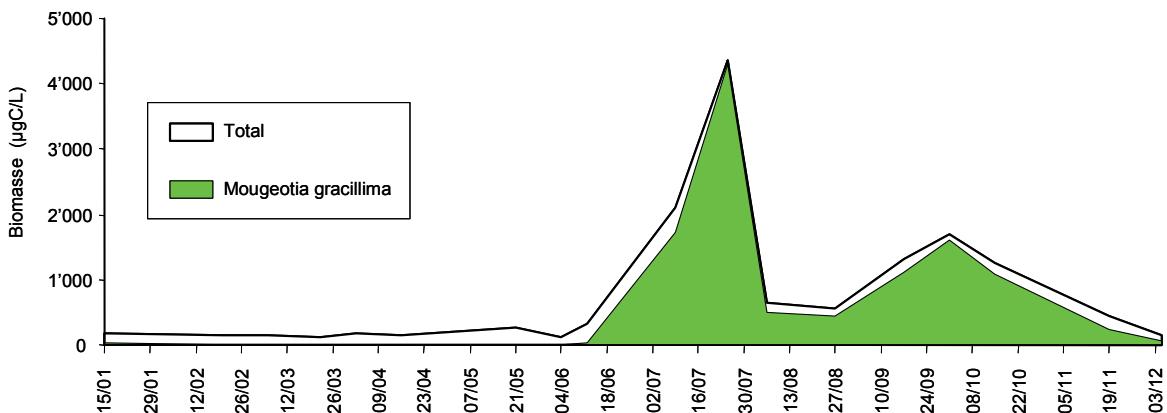


Figure 6 : Evolution de la biomasse carbonée totale, et de la part représentée par *Mougeotia gracillima* dans le Grand Lac (SHL 2) en 2007.

Figure 6 : Changes in the total carbon biomass, and the proportion consisting of *Mougeotia gracillima* in the Grand Lac (SHL2) in 2007.



Figure 7 : Prélèvements de phytoplancton de l'année 2007 (filet, maille de 64 µm). Le dépôt vert est constitué quasi exclusivement de *Mougeotia gracillima*.

Figure 7 : Phytoplankton samples for the year 2007 (64 µm mesh nets). The green deposit consists virtually entirely of *Mougeotia gracillima*.

4 périodes peuvent être identifiées sur la base de la composition taxonomique et des biomasses algales (figures 4 à 6) :

Période hivernale du 15 janvier au 16 avril inclus :

Cette période est caractérisée par une biomasse proche de celle rencontrée en 2006. Au cours de cette période, la biomasse de *M. gracillima* est assez faible, le compartiment phytoplanctonique est dominé par *Planktothrix rubescens* : ce taxon est bien adapté à ce type de période puisqu'il est considéré comme tolérant aux faibles intensités lumineuses (REYNOLDS et al., 2002) qui caractérisent cette période de l'année. D'autre part, selon DOKULIL et al., (2005), ce taxon est électif d'eaux ayant des concentrations entre 15 et 30 µg/L de phosphore total.

C'est pendant la période hivernale que ces niveaux de phosphore sont atteints (ils sont régulièrement inférieurs à 10 µg/L les autres mois de l'année). *P. rubescens* trouve donc à cette période des conditions favorables à son développement.

Les plus fortes biomasses de diatomées centriques (*Stephanodiscus neoastrea*, *S. minutulus*, *Cyclotella cyclopuncta* ...) sont rencontrées pendant l'hiver ; leurs biomasses sont ensuite très faibles pendant tout le restant de l'année.

La biomasse du nanophytoplancton, représenté essentiellement par *Rhodomonas minuta*, *R. minuta* var. *nanoplanktonica* et par des petites diatomées centriques pendant cette période est assez importante (22 % de biomasse carbonée en moyenne sur cette période).

Période transitoire du 21 mai au 4 juin, avec la phase des eaux claires le 4 juin :

Cette période est caractérisée par *Ceratium hirundinella*, taxon de grande taille, caractéristique de la saison estivale et des lacs eutrophes (Anneville 2001, Druart & Balvay 2007). C'est le 4 juin que la plus faible biomasse algale est observée pour l'année 2007, ce prélèvement correspond à une transparence de 7.5 m ; on peut donc considérer cette date comme correspondant à la phase des eaux claires (le 21 mai présente une transparence de 9.1 m, mais une biomasse algale supérieure).

Période estivale et automnale du 12 juin au 15 octobre inclus :

A partir du 12 juin, la biomasse algale va augmenter très fortement. Le microphytoplancton est largement dominant avec 95 % de la biomasse carbonée en moyenne pendant cette période.

C'est principalement *Mougeotia gracillima* qui constitue l'essentiel de la biomasse du microphytoplancton pendant la période estivale et automnale. Cette espèce est connue pour apparaître à l'automne. Pendant l'été 2007, ce taxon va profiter d'un été couvert et donc d'intensités lumineuses plus basses qu'à la normale pour se développer et dominer de manière exclusive le compartiment phytoplanctonique. Il représente alors plus de 88 % de la biomasse carbonée; la figure 6 illustre sa profusion. Les très faibles valeurs de diversités observées pour 2007 sont expliquées par cette surreprésentation de *M. gracillima*.

C'est pendant cette période que des problèmes rencontrés par les pêcheurs sont survenus : colmatage et difficultés pour relever les filets.

Période hivernale du 19 novembre au 5 décembre inclus :

Pour les deux derniers prélèvements de 2007, la biomasse algale régresse nettement ; on retrouve des seuils proches des années précédentes. La proportion de *M. gracillima* baisse par rapport aux autres taxons mais elle reste toujours dominante en termes des biomasses.

Pendant cette période, les cyanobactéries *Planktothrix rubescens* et *Aphanocapsa delicatissima* voient leur biomasse augmenter. *Rhodomonas minuta*, espèce élective d'eaux froides apparaît à nouveau en décembre et représente 10 % de la biomasse.

Tableau 3 : Biomasses carbonées phytoplanctoniques ($\mu\text{gC/L}$) de 2001 à 2007 (SHL2, 0-18 m)

BP = de janvier à la phase des eaux claires exclue; BE = de la phase des eaux claires à décembre.

Table 3: Phytoplankton carbon biomass ($\mu\text{gC/L}$) from 2001 to 2007 (SHL2, 0-18 m)

SprB = from January to the clear water phase, excluding it; BE = from the clear water phase to December.

Année	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Biomasse carbonée annuelle moyenne	575	397	246	359	293	174	784
Biomasse carbonée printanière moyenne (BP)	127	138	150	87	205	126	169
Biomasse carbonée estivale moyenne (BE)	860	527	298	540	372	206	1176
Rapport BP/BE	0.15	0.26	0.50	0.16	0.55	0.61	0.14
Biomasse carbonée printanière maximale (mois)	260 (4)	646 (3)	260 (4)	197 (5)	420 (3)	283 (4)	251 (5)
Biomasse carbonée estivale maximale (mois)	2'889 (8)	1'763 (8)	593 (6)	1'100 (10)	633 (9)	506 (10)	4363 (7)
Biomasse carbonée annuelle moyenne du microphytoplancton (L > 20 μm)	548	347	196	327	256	135	756
Biomasse carbonée annuelle moyenne du nanophytoplancton (L < 20 μm)	27	50	50	32	37	38	27

La valeur du rapport BP/BE (tableau 4) est faible, sa valeur de 0.14 est inférieure à celle de 2001 et ceci malgré une biomasse printanière relativement élevée (2^e valeur la plus élevée depuis 2001). Ceci s'explique par la biomasse moyenne estivale très élevée qui entraîne une forte baisse du rapport BP/BE. Il faut remarquer que la biomasse estivale en 2007 atteint une valeur maximale de 4'363 $\mu\text{gC/L}$ le 25 juillet. Cette valeur est supérieure à celle qui avait été observée en août 2001 (2'889 $\mu\text{gC/L}$) et qui avait été enregistrée comme un record 6 années plus tôt (figure 10).

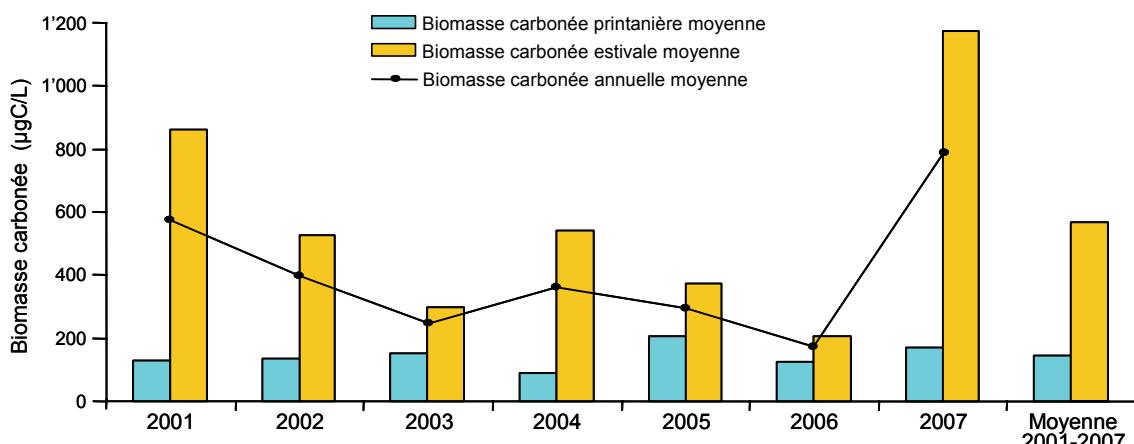


Figure 8 : Evolution des biomasses carbonées printanière, estivale et annuelle moyenne dans le Léman (SHL 2) de 2001 à 2007.

Figure 8 : Change in the spring, summer and mean annual carbon biomass in Lake Geneva (SHL2 from 2001 to 2007).

4. CONCLUSIONS

Deux points sont à souligner pour l'année 2007 et son compartiment phytoplanctonique. Il s'agit tout d'abord de la présence récurrente de *Planktothrix rubescens* pendant la période hivernale de début et de fin d'année, à des biomasses relativement importantes pour le Léman. Ses biomasses se maintiennent à des niveaux élevés depuis 2001.

Le deuxième événement marquant de l'année 2007 est la présence des biomasses algales record atteinte aux mois de juillet, septembre et octobre. Ces fortes biomasses sont le fait de *Mougeotia gracillima* qui a représenté plus de 79 % de la biomasse carbonée annuelle, et plus de 83 % de la biomasse annuelle. Cette algue a présenté une biomasse carbonée maximale lors du prélèvement du 25 juillet (4'363 µgC/L). Elle représentait alors 99 % de la biomasse totale de ce prélèvement. La conséquence de l'abondance de ce taxon est la chute de la diversité (mesuré par l'indice de Shannon) qui est la plus faible diversité enregistrée depuis 1974.

Cette algue, connue pour avoir une préférence écologique pour des eaux relativement chaudes d'arrière saison et des intensités lumineuses assez faibles, a probablement profité des conditions quasi automnales de l'été 2007 pour se développer.

BIBLIOGRAPHIE

- AFNOR (2006) : NF EN 15204. Qualité de l'eau. Norme guide pour le dénombrement du phytoplancton par microscopie inversée (méthode Utermöhl). 39 pp.
- ANNEVILLE O. (2001) : Diagnostic sur l'évolution de l'état de santé écologique du Léman par l'analyse des séries chronologiques du phytoplancton. Thèse INRA., 307 pp.
- DOKULIL, M.T., TEUBNER, K. et GREISBERGER, S. (2005) : Typenspezifische Referenzbedingungen für die integrierende Bewertung des ökologischen Zustandes stehender Gewässer Österreichs gemäß der EU-Wasserrahmenrichtlinie. Modul 1: Die Bewertung der Phytoplanktonstruktur nach dem Brettum-Index. Projektstudie Phase 3, Abschlussbericht. Im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- DRUARD, J.C., ROBERT, M. et TADONLEKE, R. (2006) : Phytoplancton du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2005, 89-100.
- DRUARD, J.C. et BALVAY, G. (2007) : Le Léman et sa vie microscopique. Editions Quae, 192 p.
- MOREAU, L. (2007) : Etude du phytoplancton du Léman à différentes profondeurs de mai 2005 à mai 2007. Rapport de stage Master EA, Metz, INRA Thonon, 31 p.
- REYNOLDS, C.S., HUSZAR, V.L.M., KRUK, J., NASELLI-FLORES, L. et MELO, S. (2002) : Towards a functional classification on the freshwater phytoplankton. Journal of Plankton Research, 24, 417-428.
- SHANNON, C. et WEAVER, W. (1949) : The mathematical theory of communication. Urbana University of Illinois Press.
- SKUJA, H. (1948) : Taxonomie des phytoplanktons einigerseen in Uppland, Schweden. Symbolae Botanicae Upsalienses IX: 3. Uppsala, A.B. Lundquistska Bokhandeln, 399 p., 39 plates.
- UTERMÖHL, H. (1958) : Toward the improvement of the quantitative phytoplankton method. Metteilungen-Internationale Vereinigung fur Limnologie, 9: 1-38 (In German).
- WETZEL, R. G. et LICKENS, G.L. (2000) : Limnological Analyses, Third edition. Springer-Verlag New York.

Tableau 4 : Biomasse carbonée relative (%) des espèces les plus abondantes (Léman SHL2, 2001 à 2007).
 Table 4 : Relative carbon biomass (%) of the most abundant species (Lake Geneva SHL2, 2001 to 2007).

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
CYANOBACTÉRIES							
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	*5.75	*3.5	*4.4	0.8	0.3	**11.3	0.8
<i>Aphanocapsa delicatissima</i>		**6.4		**8.1			*1.3
<i>Aphanothecia clathrata</i> var. <i>rosea</i>		0.5			0.0	0.0	0.4
<i>Microcystis aeruginosa</i>			*1.7	0.0		0.0	0.0
<i>Planktothrix rubescens</i>	*2.7	**16.6		*5.5	**13.5	**22.3	*5.4
<i>Oscillatoria cf janus</i>					*3.87		0.0
<i>Pseudanabaena limnetica</i>	*1.4	*2.5	0.4	*1.6	*3.13	0.2	0.2
<i>Pseudanabaena galeata</i>	*1.2	0.4	*2.2	*1.1	*5.1	0.0	0.0
DINOPHYCÉES							
<i>Gymnodinium helveticum</i>	0.5	0.3	0.9	0.8	*1.82	*3.8	0.5
<i>Goniaulax apiculata</i>						*1.2	0.0
<i>Peridinium inconspicuum</i>			0.0	0.1		0.1	0.0
<i>Peridinium willei</i>	0.0	0.4	*2.3	0.2	*2.5	*1.3	0.5
<i>Ceratium hirundinella</i>	*3.8	**9.5	**7.3	**7.3	**7.5	**11.5	*3.6
<i>Woloszynskia pseudopalustre</i>		*1.1					0.0
CRYPTOPHYCÉES							
<i>Cryptomonas</i> sp	0.9	*1.45	*1.8	*1.0	*2.2	*1.9	0.5
<i>Rhodomonas minuta</i>	*2.6	*3.6	*4.7	*1.7	*2.48	**6.1	*1.1
<i>Rhodomonas minuta</i> var. <i>nannoplanctonica</i>	0.2	*1.19	0.4	0.9	0.9	*1.4	0.4
CHRYSTOPHYCÉES							
<i>Dinobryon sociale</i> var. <i>americanum</i>	*1.0	*6.0	0.9	0.0	0.5	0.1	0.2
<i>Dinobryon sociale</i> var. <i>stipitatum</i>	0.8	0.7	*3.5	*1.1	0.3	*1.0	0.1
<i>Dinobryon divergens</i>	*2.1		0.2	*1.9	0.7	0.5	0.0
XANTHOPHYCÉES							
<i>Tribonema</i> sp	0.8			*3.6			0.0
DIATOMÉES							
<i>Aulacoseira islandica</i> subsp. <i>helvetica</i>	0.0	0.0	0.4	*1.3	*2.1	0.1	0.1
<i>Stephanodiscus neoastraea</i>	0.2	0.3	0.4	0.2	0.2	0.5	0.5
<i>Stephanodiscus alpinus</i>	0.2	*1.4	0.0		0.4	*2.6	0.1
<i>Stephanodiscus minutulus</i>	0.0	0.9	0.0	0.3	0.2		0.0
<i>Diatoma tenuis</i>	**22.8	*4.23	**6.29	*3.6	*3.7	*1.4	0.3
<i>Fragilaria crotonensis</i>	0.4	*6.1	**10.2	*2.9	*4.5	*1.6	0.9
<i>Fragilaria ulna</i> var. <i>angustissima</i>	0.2	*1.7	0.3		0.2	0.6	0.1
<i>Asterionella formosa</i>	0.2	0.6	0.4	*1.7	*1.1	*1.3	0.5
<i>Cymatopleura solea</i>	0.1	0.0	0.6	0.1			0.0
<i>Cyclotella</i> spp / <i>Stephanodiscus minutulus</i>					*1.8	*5.9	0.1
<i>Cyclotella radiosa</i>	0.1	0.0	0.2		0.0	0.2	0.1
<i>Cyclotella cyclopncta</i>	0.7	*1.5	*3.8	*1.9	*3.0	0.8	0.4
<i>Tabellaria flocculosa</i>	*3.7	0.0					0.0
CHLOROPHYCÉES							
<i>Chlamydomonadaceae</i> sp	0.0		*4.7				0.0
<i>Chlamydomonas conica</i>	0.1		0.2		*1.5	0.1	0.3
<i>Chlamydomonas</i> sp	0.4	*1.9	*3.4	0.8	*1.5	*2.0	0.5
<i>Chlorophycées indéterminées</i>	0.2	0.9	*1.4	0.1	0.1	0.5	0.1
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	0.0	0.4	*1.6	0.6		0.0	0.3
<i>Eudorina elegans</i>		0.0	0.3	*1.2	*3.8	0.8	0.0
<i>Flagellés</i> sp						*1.3	0.4
<i>Oedogonium</i> sp			**8.1	**15.6		0.0	0.0
<i>Pseudosphaerocystis lundii</i>	0.4	**14.6	0.1	0.1	*1.1	0.1	0.0
<i>Ulothrix</i> sp		*1.7	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0
CONJUGUÉES							
<i>Closterium aciculare</i>	0.1	0.6	0.1	0.0	*4.4	0.0	0.0
<i>Mougeotia gracillima</i>	**42.3	*4.5	*2.3	**22.6	**21.3	**12.2	***79.0
<i>Staurastrum cingulum</i>	0.2	0.5		0.2	0.7	0.1	0.0

** : espèces très abondantes (plus de 6 % de la biomasse totale)

* : espèces abondantes (entre 1 et 6 % de la biomasse totale).