

# PHYTOPLANKTON DU LÉMAN

## THE PHYTOPLANKTON OF LAKE GENEVA

Campagne 2005

PAR

Jean-Claude DRUART, Mélanie ROBERT et Rémy TADONLEKE

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

### RÉSUMÉ

Au cours de l'année 2005, 19 campagnes de prélèvements ont été effectuées au centre du Grand Lac, dans la couche 0-20 m.

La richesse taxonomique du phytoplancton a fortement régressé en 2005 (92 taxons contre 122 en 2001 dont 7 nouveaux). La diversité reste toutefois dans le cadre des variations interannuelles observées entre 2000 et 2005, de 82 taxons (2001) à 140 taxons (2003). Pour le Petit Lac, 100 taxons (101 en 2004) ont été rencontrés durant cette même année.

*Mougeotia gracillima* avec 12.3 % de la biomasse carbonée moyenne annuelle, *Planktothrix rubescens* avec 13.5 % et *Ceratium hirundinella* avec 7.5 %, sont les espèces les plus abondantes qui ont dominé le compartiment phytoplanctonique. *Oscillatoria cf. janus*, apparue pour la première fois cette année dans le lac, montre une biomasse carbonée assez forte (4 %). Dans le petit lac, nous retrouvons le même schéma, mais avec des valeurs beaucoup plus fortes (*Oscillatoria cf. janus* : 36.4 %, *Mougeotia gracillima* : 32.7 % et *Planktothrix rubescens* : 5.1 %).

La biomasse annuelle moyenne a diminué de 18 % (293 µgC/L en 2005 contre 359 µgC/L en 2004). Cette même biomasse était de 485 µgC/L dans le Petit Lac

Avec 205 µgC/L, la biomasse printanière a considérablement augmenté (135 %) par rapport à 2004 (87 µgC/L), peut-être du fait de la phase printanière plus longue que les autres années (du 21 mars au 6 juin) mais aussi de développements importants d'espèces filamenteuses. Ce phénomène influence le rapport BP/BE (Biomasse Printanière/Biomasse Estivale), qui est en forte augmentation cette année. Par contre, la biomasse estivale a diminué de 30 % par rapport à 2004 (372 µgC/L contre 540 µgC/L).

Les proportions du nanophytoplancton (12 % de la biomasse carbonée totale) et du microphytoplancton (88 %) en 2005 sont comparables avec celles de 2004 où le nanophytoplancton représentait 9% et le microphytoplancton 91 %. Dans le Petit Lac ces valeurs étaient de 80 % pour le microphytoplancton et 20 % pour le nanophytoplancton.

### ABSTRACT

During 2005, 19 sampling surveys were carried out in the center of the Grand Lac, in the layer at a depth of 0-20m.

The taxonomic diversity of the phytoplankton had markedly increased in 2005 (92 taxa versus 122 in 2001 including 7 new taxa). However, the diversity remained within the range of the interannual variations observed between 2000 and 2005: from 82 taxa (2001) to 140 taxa (2003). In the Petit Lac, 100 taxa (101 in 2004) were found in the same year.

*Mougeotia gracillima*, which accounted for 12.3 % of the mean annual carbon biomass, *Planktothrix rubescens*, which accounted for 13.5 % and *Ceratium hirundinella*, which accounted for 7.5 %, are the most abundant species dominating the phytoplanktonic compartment. *Oscillatoria cf. janus*, which appeared in the lake for the first time this year, displayed a fairly high carbon biomass (4 %). In the Petit Lac, we found the same pattern, but with much higher values: (*Oscillatoria cf. janus*: 36.4 %, *Mougeotia gracillima* : 32.7 % and *Planktothrix rubescens* : 5.1 %).

The mean annual biomass had fallen by 18 % (293 µgC/L in 2005 versus 359 µgC/L in 2004). The corresponding biomass was 485 µgC/L in the Petit Lac.

The Springtime biomass was 205 µgC/L, a considerable increase (135 %) from 2004 (87 µgC/L), perhaps due to the longer springtime phase than in the other years from 21 March to 6 June), but also perhaps to the considerable development of filamentous species. This phenomenon influenced the SprB/SumB (Springtime Biomass/Summer Biomass), which has increased considerably this year. In contrast, the summer biomass had fallen by 30 % from the value in 2004 (372 µgC/L versus 540 µgC/L).

The proportions of nanophytoplankton (12 % of the total carbon biomass) and of microphytoplankton (88 %) in 2005 were similar to those in 2004, when the nanophytoplankton accounted for 9 % and the microphytoplankton for 91 %. In the Petit Lac, these values were 80 % for the microphytoplankton and 20 % for the nanophytoplankton.

## 1. INTRODUCTION

Comme les années précédentes, le phytoplancton a fait l'objet d'un suivi durant l'année 2005 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. La biomasse chlorophyllienne et la production phytoplanctonique font l'objet d'un chapitre séparé (TADONLEKE, 2006).

## 2. MÉTHODES

Le phytoplancton a été récolté de janvier à décembre 2005 dans les 20 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, novembre et décembre et bimensuels pour les autres mois de l'année. Un seul prélèvement a été réalisé pour la campagne du mois de mai en raison de mauvaises conditions météorologiques. Au final, 19 campagnes ont été menées en 2005.

Les échantillons d'eau brute sont fixés au lugol; puis chaque sous-échantillon d'un volume de 50 mL est mis à sédimenter. Les examens qualitatif et quantitatif se font au microscope inversé selon la technique D'UTERMÖHL (1958).

Deux modifications méthodologiques ont été approuvées en 2005. Depuis 1974, la biomasse phytoplanctonique d'un échantillon est calculée par addition des biovolumes cellulaires algaux, et exprimée en poids de matière fraîche par mètre cube d'eau (en considérant que la densité algale d'une cellule est voisine de 1). Depuis 2005, la biomasse nanophytoplanctonique est calculée en considérant les cellules ou les colonies de longueur maximale inférieure à 20 µm et de volume < 10'000 µm<sup>3</sup> (WETZEL, 2001). Les calculs avec les limites de taille fixées à 50 µm sont cependant conservés uniquement cette année, afin de pouvoir réaliser des comparaisons entre la biomasse nanophytoplanctonique à 20 µm et à 50 µm de 2000 à 2005. Les valeurs de biomasse du nanophytoplancton avec limite de taille fixée à 20 µm sont donc recalculées avec un rétroactif de 5 ans.

De même, à partir de cette année, le calcul de la biomasse phytoplanctonique carbonée n'est plus fait à l'aide d'un rapport C/biovolume unique comme précédemment, mais tient compte des spécificités des grands groupes algaux (WETZEL et LIKENS, 2000). Ainsi des rapports C/biovolume différents sont appliqués aux différents groupes phytoplanctoniques (tableau 1) et la biomasse totale est la somme des biomasses des groupes. La comparaison avec les données des années antérieures étant nécessaire, cette modification a été appliquée aux cinq années précédentes.

Tableau 1 : Rapport au carbone organique de chaque groupe taxonomique.

Table 1 : Ratio of organic carbon for each phytoplankton class.

CLASSES	Rapport C
Cyanobactéries	0.22
Dinophycées	0.13
Chlorophycées	0.16
Diatomées	0.11
Autres Classes	0.11

## 3. RÉSULTATS

### 3.1 Richesse taxonomique

92 taxons ont été identifiés en 2005, soit 30 de moins qu'en 2004 (122 taxons) (selon la subdivision des classes de taille à 20µm, il apparaît que 27 taxons appartiennent au nanophytoplancton contre 65 au microphytoplancton). La diminution du nombre total de taxons de 2004 à 2005, concerne donc plus le microphytoplancton (-24 taxons) que le nanophytoplancton (- 6 taxons).

Avec la limite supérieure du nanophytoplancton à 50 µm, la tendance est inversée, 51 taxons appartiennent au nanophytoplancton contre 41 au microphytoplancton.

7 taxons ont été recensés pour la première fois dans le Grand Lac en 2005 :

- 1 cyanobactérie filamenteuse : *Oscillatoria cf. janus*.
- 5 diatomées : *Cyclostephanos dubius*, *Navicula exigua*, *Gomphonema truncatum*, *Navicula pseudoenglica* et *Fragilaria tenera var. lemanensis*, variété nouvelle pour le Léman (description en cours).
- 1 chrysophycée : *Stomatocyste 114*.

L'évolution de la richesse taxonomique entre 2000 et 2005 est présentée à la figure 1. Alors que le nombre de taxons du nanophytoplancton est resté sensiblement constant, celui du microphytoplancton a augmenté de 2000 à 2003, puis diminue depuis cette année là.

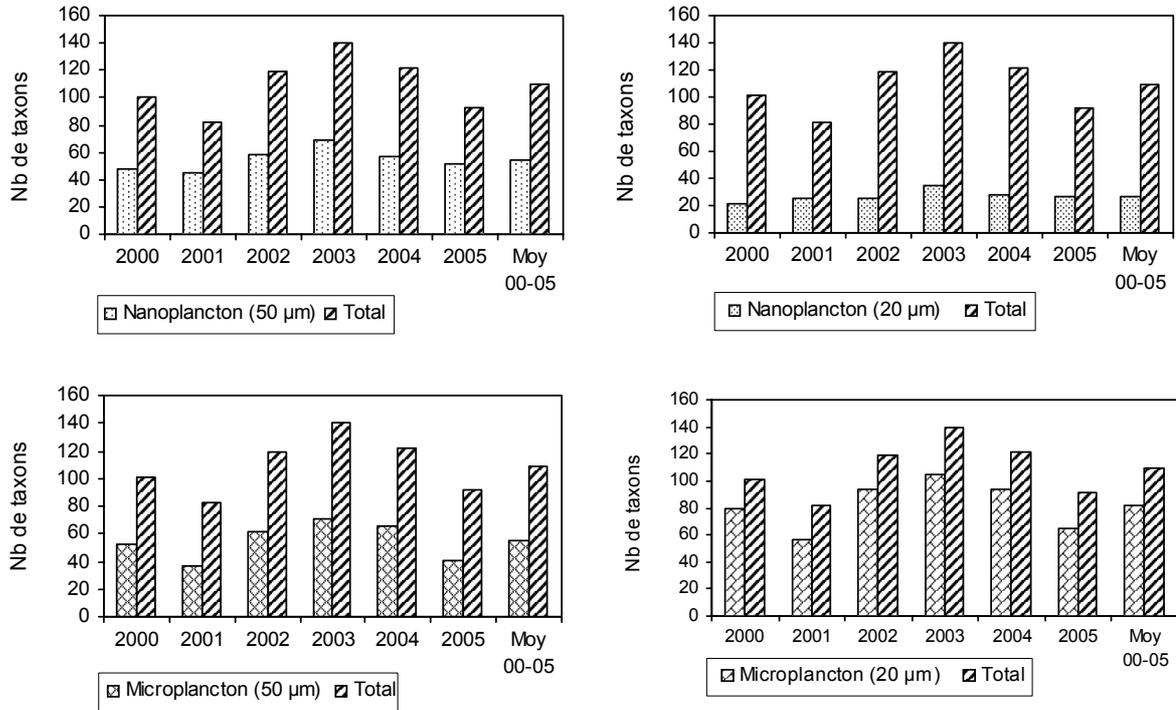


Figure 1 : Nombre de taxons (micro/nanoplankton, total à 50 µm et à 20 µm) observés à la station SHL2 entre 2000 et 2005 et moyennes pour la période.

Figure 1 : Number of taxa (micro/nanoplankton, total at 50 µm and at 20 µm) recorded at the SHL2 station between 2000 and 2005, and the mean for this period.

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

La répartition en 2005 du nombre de taxons entre les différentes classes d'algues ainsi que la part relative du nano et du microphytoplancton dans la communauté phytoplanctonique est donnée dans le tableau 2.

Tableau 2 : Répartition du nombre de taxons des différentes classes d'algues à la station SHL2 en 2005 avec limite entre micro- et nanophytoplancton à 20 µm et 50 µm

Table 2 : Distribution of the various numbers of taxa in the various classes of algae at the SHL2 station in 2005, the limits for micro- and nanophytoplancton being 20 µm and 50 µm respectively.

	Microplankton		Nanoplankton		Total (micro + nano)
	> 20 µm	> 50 µm	< 20 µm	< 50 µm	
Cyanobactéries	11	10	0	1	11
Dinophycées	5	3	2	4	7
Cryptophycées	1	0	2	3	3
Chrysophycées	4	3	3	4	7
Diatomées	22	10	9	21	31
Chlorophycées	15	9	11	17	26
Conjuguées	7	6	0	1	7
Total	65	41	27	51	92
%	88 %	82 %	12 %	18 %	100 %

Les groupes les plus représentés en termes de richesse taxonomique sont les diatomées, les chlorophycées et les cyanobactéries

On constate une diminution importante de la proportion du nanophytoplancton entre 50 µm et 20 µm (écart d'environ 30 %). Cette différence s'observe surtout pour la classe des diatomées.

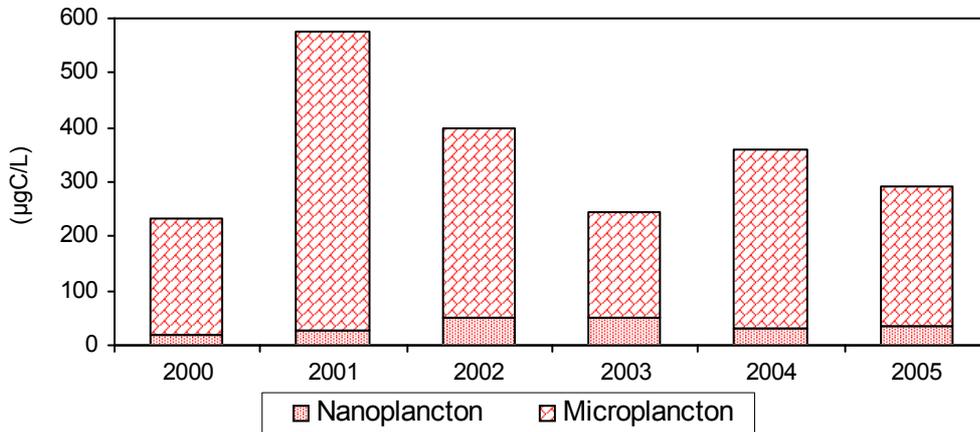


Figure 2 : Biomasses carbonées du nano (20 µm)- et du microplankton de 2000 à 2005 à la station SHL2.  
 Figure 2 : Carbon biomass of the nano- (20 µm) and microplankton from 2000 to 2005 at the SHL2 station.

La figure 2 présente l'évolution, en biomasses carbonées, des deux groupes de taille (nano à 20 µm microphytoplancton) entre 2000 et 2005. La biomasse carbonée nanophytoplanctonique de 2005 est comparable à celle de 2004. Globalement, les valeurs enregistrées depuis 2000, présentent surtout de fortes fluctuations de la biomasse carbonée microphytoplanctonique. Les dynamiques des variations saisonnières calculées avec le nanoplankton à 50 µm sont semblables.

La figure 3 montre qu'en 2005, la répartition des biomasses carbonées des différentes classes d'algues est différente des années précédentes. On observe une proportion importante de conjuguées (27 %) avec principalement *Mougeotia gracillima*.

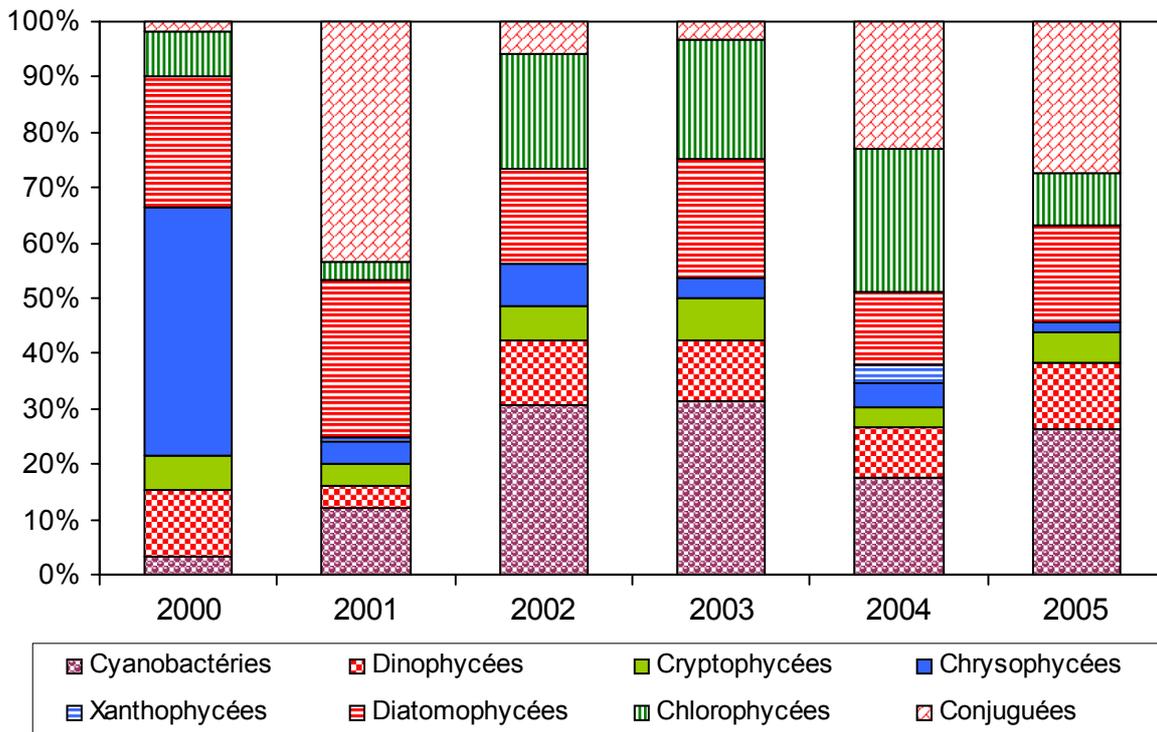


Figure 3 : Biomasses carbonées relatives des différentes classes d'algues de 2000 à 2005 à la station SHL2.  
 Figure 3 : Relative carbon biomass of the various phytoplankton classes from 2000 to 2005 at station SHL2.

En 2005, les conjuguées sont les plus abondantes (27 %). Les cyanobactéries sont les 2<sup>èmes</sup> plus abondantes, (26 %), alors qu'elles étaient majoritaires en 2002 et 2003 et étaient le 3<sup>ème</sup> groupe le plus abondant en 2004. Les chlorophycées sont le 4<sup>ème</sup> groupe dominant alors qu'elles étaient parmi les deux groupes les plus dominants en 2002, 2003 et 2004. Les dinoflagellés sont présents, en proportion sensiblement supérieure à celle de 2004, et relativement identique à 2002 et 2003. Les cryptophycées et les chrysophycées représentent respectivement 5.5 % et 1.7 %. Enfin, les xanthophycées sont absentes en 2005.

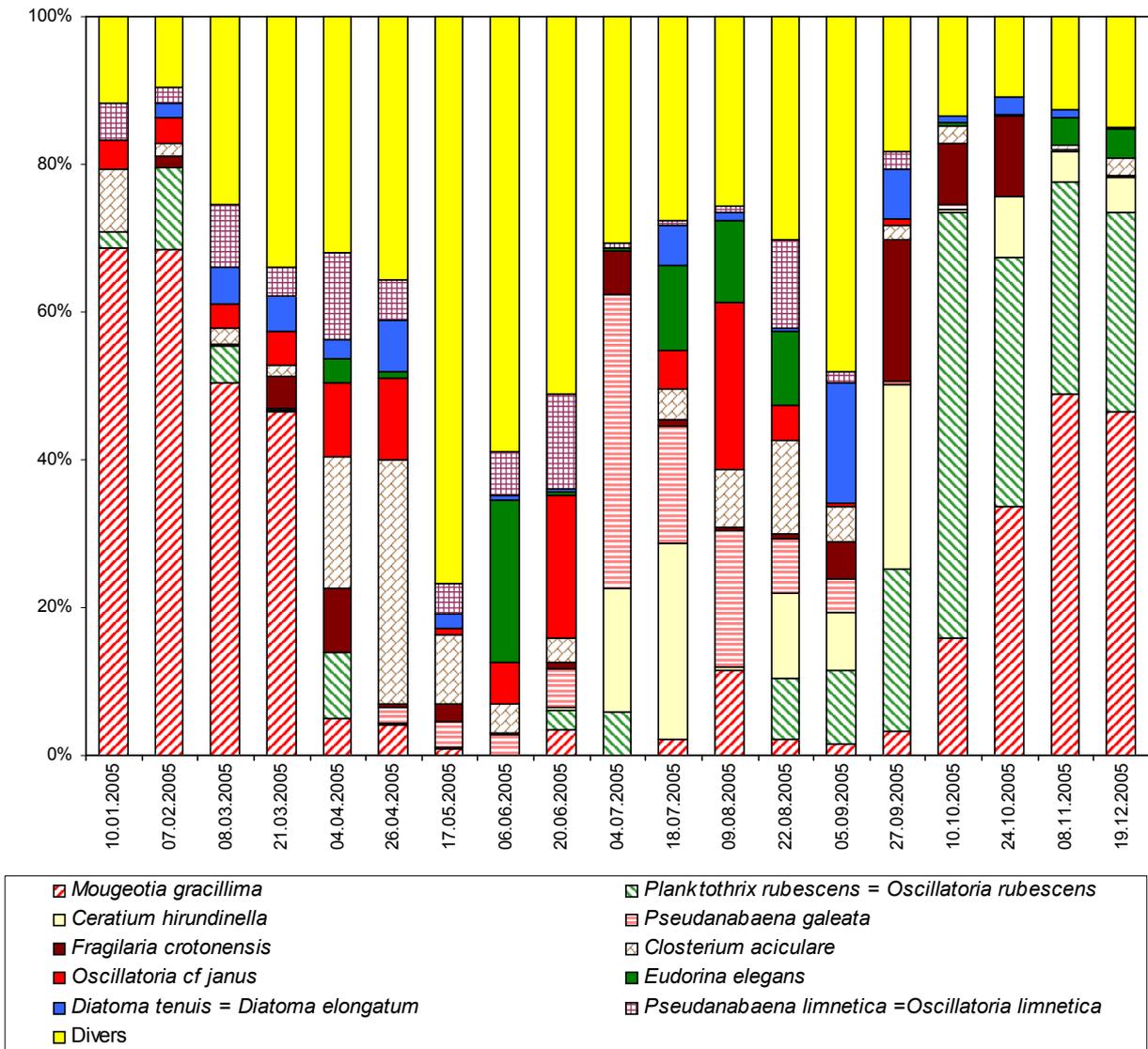


Figure 4 : Biomasses carbonées relatives des taxons dominants à la station SHL2 en 2005.

Figure 4: Monthly relative carbon biomass of the ten dominant taxa at the SHL2 station in 2005.

### 3.3 Développement des principales espèces au cours de l'année

*Mougeotia gracillima* avec 12.3 %, *Planktothrix rubescens* avec 13.5 % et *Ceratium hirundinella* avec 7.5 %, sont les espèces les plus abondantes qui ont dominé le compartiment phytoplanctonique. *Oscillatoria cf janus*, apparue pour la première fois cette année dans le lac, montre une biomasse carbonée assez forte (4%). Dans le petit lac, nous retrouvons le même schéma, mais avec des valeurs beaucoup plus fortes (*Oscillatoria cf janus* : 36.4 %, *Mougeotia gracillima* : 32.7 % et *Planktothrix rubescens* : 5.1 %).

- ▶ *Mougeotia gracillima* (12.3 % de la biomasse carbonée moyenne annuelle), se retrouve essentiellement en hiver et au printemps. Sa biomasse carbonée est très élevée de janvier à mars puisqu'elle représente plus de 50 % de la biomasse totale chaque mois. C'est le 7 février qu'elle atteint son maximum avec 75 %. Puis on constate une chute drastique de sa biomasse au mois d'avril, qui reste faible jusqu'à fin septembre. Une reprise de croissance est observée en octobre jusqu'au mois de décembre.
- ▶ *Planktothrix rubescens* (13.5 % de la biomasse carbonée moyenne annuelle) se rencontre surtout entre août et décembre. Elle domine le peuplement algal le 10 octobre (146.8 µgC/L). Sa biomasse carbonée relative moyenne est en augmentation par rapport à l'année dernière (5.5 % en 2004 contre 13.5 % en 2005). L'évolution interannuelle des biomasses carbonées de cette espèce, montre qu'après une chute en 2004, les valeurs deviennent proches de celles de 2002 (16.6 %).
- ▶ *Ceratium hirundinella* (7.5 % de la biomasse carbonée moyenne annuelle) est un taxon qui se développe quand les eaux sont relativement chaudes, donc en été. Elle présente une biomasse maximale le 18 juillet (78.7 µgC/L). Cependant, on retrouve cette espèce au mois de septembre en quantité importante. Durant la fin de l'hiver et au printemps, *C. hirundinella* est quasiment absent. Sa biomasse carbonée relative moyenne reste stable par rapport aux années précédentes avec 7.5 % (7 % en 2003 et 7.3 % en 2004).

- ▶ *Pseudanabaena galeata* (5.1 % de la biomasse carbonée moyenne annuelle) est une cyanobactérie présente surtout en été. En 2005, sa biomasse relative moyenne est de 5.1 % (1.1 % en 2004 et 2.2 % en 2003) et atteint 40 % le 4 juillet.
- ▶ *Fragilaria crotonensis* (4.5 % de la biomasse carbonée moyenne annuelle) est généralement abondante dans les lacs et les réservoirs eutrophes car elle répond de manière drastique à des concentrations de phosphore élevées (KINGSTON, 2003). On la retrouve également au début de l'été, quand les eaux sont plus pauvres en silice. Dans le Léman qui a un statut mésotrophe, elle montre une forte biomasse le 27 septembre (121.2 µgC/l), puis moyenne les 10 et 24 octobre, ce qui contraste totalement avec sa distribution au cours de l'année 2004 où elle était présente plutôt au mois de mai et juillet. On la retrouve également en quantité moyenne au printemps (4 avril) et en plein été (4 juillet) où elle présente respectivement une biomasse carbonée relative de 8.6 % et 5.8 %.
- ▶ *Closterium aciculare* (4.4 % de la biomasse carbonée moyenne annuelle) est une espèce cosmopolite que l'on retrouve dans la plupart des milieux. Cependant, dans le Léman c'est la première fois qu'elle a une biomasse carbonée relative moyenne atteignant 4.4 % de la biomasse totale. En 2005, elle apparaît tout au long de l'année (17 fois sur 19 campagnes) mais elle est surtout importante au printemps (26 avril) où elle atteint un maximum de 33 %. Le reste de l'année sa biomasse relative est moindre.
- ▶ *Oscillatoria cf janus* (3.9 % de la biomasse carbonée moyenne annuelle) est une cyanobactérie filamenteuse recensée pour la première fois cette année dans les deux bassins du Léman. Elle apparaît de janvier à août et atteint son maximum le 9 août avec 22.6 % de biomasse relative. C'est une espèce qui se développe généralement dans des masses d'eau peu profondes d'Europe centrale ou de Suède (HINDAK, communication personnelle). Sa détermination précise reste à confirmer. Si cette espèce perdure dans le lac, des analyses de toxicité devront être réalisées via des cultures. Une première mise en culture de cette espèce en 2005 a échoué.
- ▶ *Eudorina elegans* (3.8 % de la biomasse carbonée moyenne annuelle) présente principalement en été, atteint une biomasse maximale de 22.1 % le 6 juin. Comme *Pseudanabaena galeata*, sa biomasse carbonée relative moyenne est importante par rapport au reste du phytoplancton puisque en 2005, elle fait partie des 10 taxons les plus abondants (3.8 % en 2005 contre 1.2 % en 2004).
- ▶ *Diatoma tenuis* (3.7 % de la biomasse carbonée moyenne annuelle) est généralement rencontrée en automne (SOMMER, 1986), dans les lacs eutrophes (YANG et PICK, 1996). Sa biomasse relative moyenne est stable comparée aux autres années (3.7 % en 2005, 3.6 % en 2004 et 4.2 % en 2002).
- ▶ *Pseudanabaena limnetica* (3.1 % de la biomasse carbonée moyenne annuelle) est également une cyanobactérie filamenteuse, anciennement appelée *Oscillatoria limnetica*. On l'observe surtout en hiver et au printemps. Elle atteint son maximum (23.3 µgC/L) le 20 juin et représente 12.8 % de la biomasse phytoplanctonique.
- ▶ *Cyclotella* spp./ *Stephanodiscus minutulus* (1.8 % de la biomasse carbonée moyenne annuelle) regroupent des petites diatomées centriques que nous n'avons pas pu déterminer au microscope optique. Une étude plus approfondie en microscopie électronique a été entreprise, mais n'est pas terminée. Il semble que 4 à 5 espèces de petites *Cyclotella* composent ce regroupement *Cyclotella* spp./ *Stephanodiscus minutulus*. Elles apparaissent seulement à la fin de l'hiver et au printemps avec un pic maximal (73,9 µgC/L) observé le 17 mai. Cette nouvelle dénomination "*Cyclotella* spp./ *Stephanodiscus minutulus*" remplace temporairement l'habituel *Stephanodiscus minutulus*.

### 3.4 Variations saisonnières et évolution interannuelle de la biomasse

Comme chaque année, on peut distinguer en 2005 plusieurs phases dans les variations saisonnières de la biomasse phytoplanctonique. La figure 5 illustre ces variations pour les biomasses totales, microphytoplanctonique (longueur > 20 µm et volume > 10'000 µm<sup>3</sup>) et nanophytoplanctonique (longueur < 20 µm et volume < 10'000 µm<sup>3</sup>).

D'une manière générale, la biomasse carbonée totale maximale observée en 2005 est légèrement plus faible (18 %) que celle enregistrée en 2004, (293 µgC/L contre 359 µgC/L), soit une diminution de 18 %.

En 2005, on observe deux pics principaux le 21 mars et le 27 septembre et deux pics secondaires le 6 juin et le 8 novembre. Tous ces pics sont dus à une biomasse importante du microphytoplancton. A noter que la courbe présente aussi un pic plus faible le 17 mai 2005 où la biomasse carbonée du nanophytoplancton domine.

Le 21 mars et le 8 novembre, la communauté est dominée par les conjuguées (48 % et 50 % respectivement) et en particulier par *Mougeotia gracillima* (46 % pour ces deux dates). Le pic du 6 juin est dominé par la classe des chlorophycées (36 %), précisément par *Eudorina elegans* avec 22.1 % de la biomasse carbonée totale. Le 27 septembre, ce sont les diatomées qui représentent 30 % de la biomasse totale phytoplanctonique (principalement par *Fragilaria crotonensis*). Enfin, le pic du 17 mai est dominé par les diatomées (50 %). C'est *Cyclotella* spp./ *Stephanodiscus minutulus*, avec 73.9 µgC/L, qui représente la biomasse carbonée maximale à cette date. Ce groupe est représenté par des espèces nanophytoplanctoniques, ce qui explique le pic du 17 mai 2005 observé sur la figure 5.

La comparaison des biomasses nanophytoplanctoniques à 20 µm et à 50 µm montre un écart d'environ 30 %. Cependant, les pics sont globalement identiques et la courbe générale est sensiblement la même.

Les différentes phases saisonnières suivantes sont décrites avec une limite de taille nanophytoplanctonique de 20 µm (figure 5).

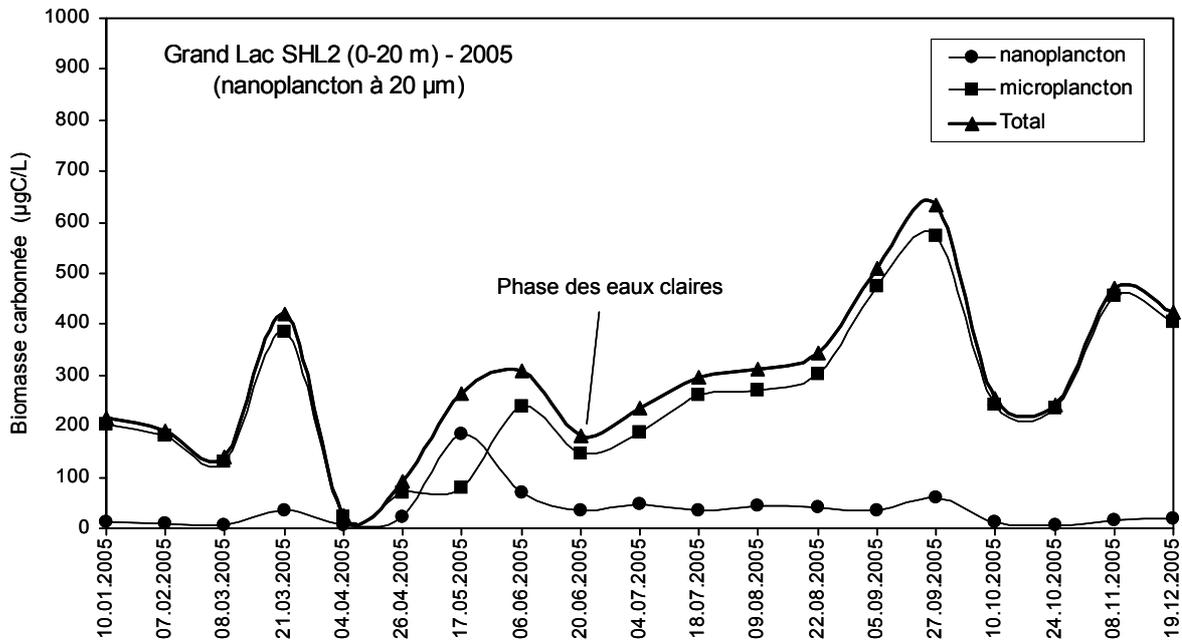


Figure 5 : Variations saisonnières des biomasses carbonées, du microphytoplancton (> 20 µm), du nanophytoplancton (< 20 µm) et totale du phytoplancton dans le Grand Lac, (SHL 2) en 2005.

Figure 5 : Seasonal changes in the carbon biomass of the total phytoplankton, microplankton (> 20 µm) and nanoplankton (< 20 µm) at station SHL 2 in Lake Geneva in 2005.

**La phase hivernale** (de début janvier au 8 mars) se caractérise par un plus fort développement algal que l'année précédente. La biomasse moyenne pour les trois premiers prélèvements est de 182 µgC/L, ce qui est significativement plus élevé que la valeur de 2004 (11 µgC/L). Le stock de phosphore total dans la couche 0-20 m a encore diminué en 2005 (LAZZAROTTO et al., 2006), limitant à nouveau le développement du nanophytoplancton et favorisant le développement d'algues filamenteuses moins exigeantes. En effet, le début de la phase hivernale est essentiellement dominé par la classe des conjuguées, en particulier l'espèce *Mougeotia gracillima* (plus de 50 % de la biomasse carbonée totale pour ces trois dates). L'importance de ces filamenteuses durant cette période, empêche le dénombrement du zooplancton qui se trouve "noyé" dans ce magma filamenteux. Ce même phénomène se retrouve en automne et jusqu'à la fin de l'année.

**La phase printanière** observée du 21 mars au 6 juin, est différente de celle de 2004 puisque, après le pic du 21 mars à 420 µgC/L dû à *Mougeotia gracillima*, on observe une chute drastique de la biomasse carbonée totale (26 µgC/L le 4 avril).

Le 26 avril, on observe une brusque augmentation du nanophytoplancton jusqu'à fin mai. Cette augmentation est causée par le développement des petites centrées *Cyclotella* spp./ *Stephanodiscus minutulus*. Puis la biomasse de celles-ci diminue brusquement pour être remplacée par des espèces microphytoplanctoniques (*Eudorina elegans*, *Oscillatoria* cf. *janus*, *Gymnodinium helveticum*). Cette transition du nano au microphytoplancton est probablement induite par un broutage sélectif du zooplancton et une diminution du phosphore et de la silice pour les diatomées.

Après **la phase des eaux claires**, observée le 20 juin (transparence de 8.2 m et biomasse de 182.3 µgC/L), **la phase estivale** est observée du 4 juillet au 27 septembre. La biomasse carbonée atteint son maximum le 27 septembre (633.3 µgC/L). 25 % de la biomasse carbonée totale à cette date est due à *Ceratium hirundinella*, 22 % à *Planktothrix rubescens*, et 19 % à *Fragilaria crotonensis*. Il est intéressant de noter également que depuis le début de la phase estivale, le microphytoplancton est dominant sur le nanophytoplancton, et cela jusqu'à la fin de la phase hivernale (début mars).

La transition entre la phase estivale et **la phase automnale** (10 octobre au 19 décembre) est marquée par une chute importante de la biomasse de *Ceratium hirundinella*, qui passe de 157 µgC/L le 27 septembre à 1 µgC/L le 10 octobre et de celle de *Fragilaria crotonensis*, qui passe de 122 µgC/L le 27 septembre à 21 µgC/L le 10 octobre. Entre le 24 octobre et le 8 novembre, la biomasse carbonée totale augmente significativement, due essentiellement au développement de *Mougeotia gracillima* (81 µgC/L le 24 octobre à 230 µgC/L le 8 novembre) et de *Planktothrix rubescens* (81 µgC/L le 24 octobre et 135 µgC/L le 8 novembre).

Globalement, la courbe de variation de la biomasse carbonée de 2005 est différente de celle de 2004 (nouveau calcul). La phase printanière commence plus tôt en 2005 (21 mars en 2005 contre le 14 avril en 2004) et se termine plus tard dans l'année (6 juin en 2005 contre 10 mai en 2004). Par conséquent, les phases suivantes apparaissent plus tardivement dans l'année. Par exemple, la phase des eaux claires en 2005 est observée le 20 juin alors qu'en 2004 elle était observée entre le 25 mai et le 7 juin.

Le tableau 3 et la figure 6 présentent l'évolution interannuelle des biomasses carbonées printanière, estivale et annuelle moyennes.

En 2005, la biomasse carbonée printanière moyenne a plus que doublé par rapport à 2004. Elle est plus forte d'environ 135%. Par contre, la biomasse carbonée estivale moyenne diminue pratiquement de 30 % par rapport à l'année 2004.

La biomasse carbonée moyenne annuelle nano et microplanctonique est sensiblement stable entre 2004 et 2005.

Tableau 3 : Biomasses carbonées phytoplanctoniques ( $\mu\text{gC/L}$ ) de 2000 à 2005 (SHL2, 0-20 m)

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

Table 3: Phytoplankton carbon biomass ( $\mu\text{gC/L}$ ) from 2000 to 2005 (SHL2, 0-20 m)

BP = from January to the clear water phase; BE = from the clear water phase to December.

Année	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Biomasse carbonée annuelle moyenne	233	575	397	246	359	293
Biomasse carbonée printanière moyenne (BP)	116	127	138	150	87	205
Biomasse carbonée estivale moyenne (BE)	340	860	527	298	540	372
Rapport BP/BE	0.34	0.15	0.26	0.50	0.16	0.55
Biomasse carbonée printanière maximale (mois)	488 (6)	260 (4)	646 (3)	260 (4)	197 (5)	420 (3)
Biomasse carbonée estivale maximale (mois)	2'342 (8)	2'889 (8)	1'763 (8)	593 (6)	1'100 (10)	633 (9)
Biomasse carbonée annuelle moyenne du microphytoplancton ( $L > 20 \mu\text{m}$ )	212	548	347	196	327	256
Biomasse carbonée annuelle moyenne du nanophytoplancton ( $L < 20 \mu\text{m}$ )	21	27	50	50	32	37

En 2005, la biomasse annuelle moyenne de 293  $\mu\text{gC/L}$  reste comparable à celle des années précédentes (exception faite pour 2001).

La valeur du rapport BP/BE, qui avait chuté pour atteindre une valeur de 0.16 en 2004, retrouve une valeur (0.55) comparable à 2003. Cette forte valeur de 2005 peut s'expliquer par une phase printanière plus longue (figure 5) et donc une biomasse carbonée printanière moyenne plus importante, due au développement d'espèces microplanctoniques de grande taille.

Enfin, on constate que la biomasse carbonée printanière maximale se retrouve plus tôt et la biomasse carbonée estivale maximale plus tard qu'en 2004.

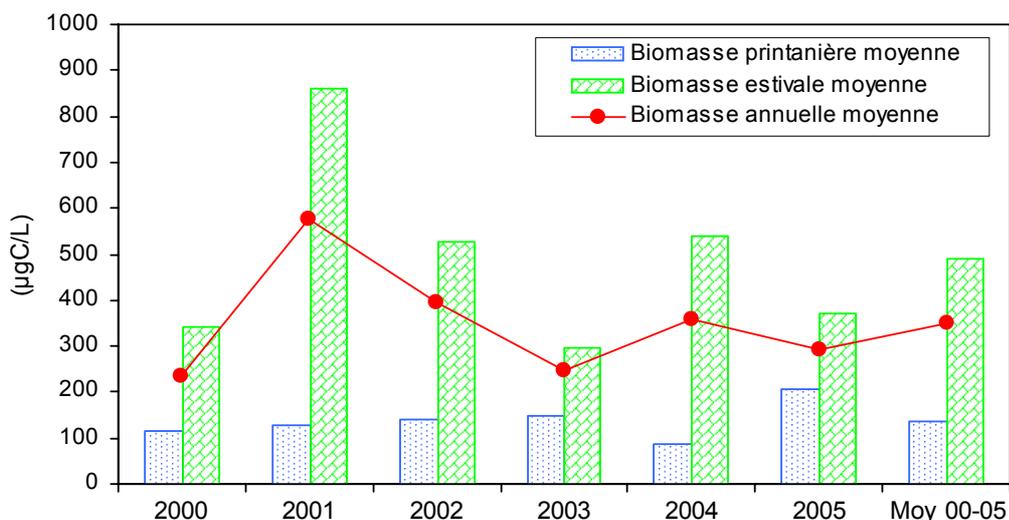


Figure 6 : Evolution des biomasses carbonées printanière, estivale et annuelle moyenne dans le Léman (SHL2) de 2000 à 2005.

Figure 6 : Change in the Spring, Summer and Mean Annual Carbon Biomass in Lake Geneva (SHL 2) from 2000 to 2005.

### 3.5 Contribution des principales espèces au sein de la biomasse totale

L'évolution des espèces dominantes depuis 2000 est présentée au tableau 4.

En 2005, sur 92 espèces inventoriées, *Planktothrix* + *Ceratium* + *Mougeotia* sont considérées comme "très abondantes" (> 6 % de la biomasse totale annuelle) et constituent 42 % de la biomasse totale.

18 autres espèces sont abondantes (entre 1 % et 6 % de la biomasse annuelle totale), trois d'entre elles ont une biomasse se situant entre 4 % et 6 %. En tout, dix taxons représentent 71 % de la biomasse totale annuelle alors qu'en 2004 seulement neuf taxons constituaient 71 %.

*Oscillatoria* cf. *janus*, *Pseudanabaena limnetica*, *Pseudanabaena galeata* et *Closterium aciculare* sont pour la première fois en 2005 dans les 10 premières espèces dominantes. La proportion d'algues filamenteuses reste identique entre 2004 et 2005.

Alors qu'elle avait chuté ces deux dernières années, la biomasse carbonée de *Planktothrix rubescens* double cette année.

Comme *Oedogonium* sp., *Aphanocapsa delicatissima* et *Tribonema* sp., qui avaient une biomasse importante en 2004, n'ont pas été retrouvés en 2005.

### 3.6 Biomasse carbonée vs. Biovolume

La figure 7 représente la comparaison des biovolumes cellulaires (BV) en mg/m<sup>3</sup> (dans l'eau la biomasse est égale au biovolume cellulaire soit 1) et des biomasses carbonées (BC) en µgC/L de 2000 à 2005 pour chaque classe. Leurs dynamiques sont sensiblement les mêmes, mais leur biomasse carbonée obtenue est très inférieure (4 à 10 fois) aux valeurs enregistrées précédemment.

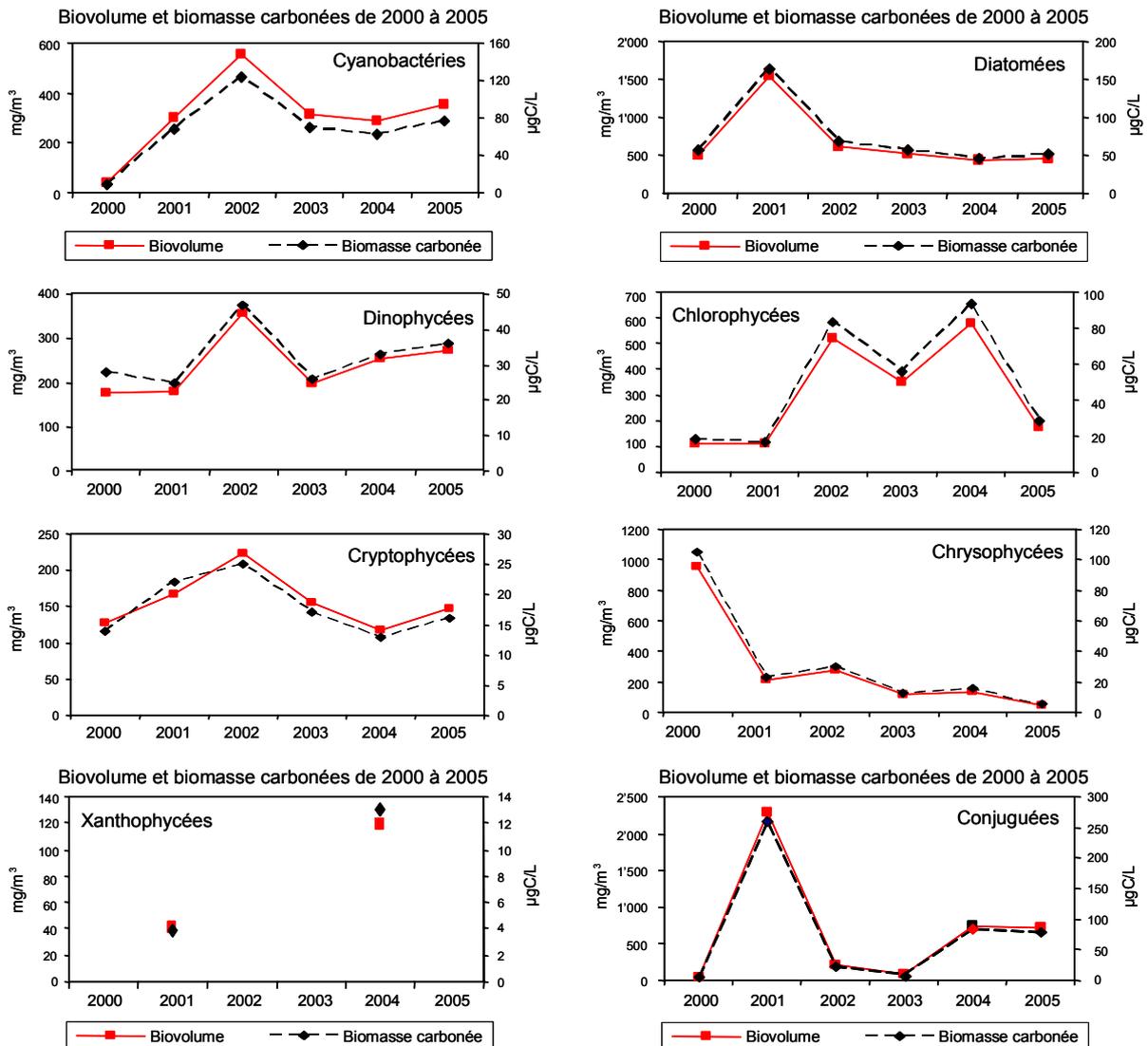


Figure 7 : Biomasse carbonée annuelle moyenne en µgC/L et biovolume annuel moyen en mg/m<sup>3</sup> des différentes classes d'algues de 2000 à 2005 à la station SHL2.

Figure 7: Annual Carbon Biomass in µgC/L and annual Biovolume, in mg/m<sup>3</sup>, of the various phytoplankton classes from 2000 to 2005 at the SHL2 station.

#### 4. CONCLUSIONS

La biomasse annuelle moyenne de 2005 est de 18 % plus faible que celle de 2004 (293 µgC/L en 2005 contre 359 µgC/L en 2004). Cependant, cette valeur reste proche de celle des années précédentes, à l'exception de 2001. La biomasse estivale moyenne a diminué de 30 % (372 µgC/L contre 540 µgC/L en 2004), contrairement à la biomasse printanière qui augmente de près de 135 % (205 µgC/L contre 87 µgC/L en 2004). La biomasse nanophytoplanctonique est similaire à 2004. Les algues filamenteuses restent en proportion identiques à 2004, mais sont représentées par des taxons différents. Toutefois, le rapport BP/BE augmente considérablement (0.55) du fait de la phase printanière plus longue en 2005 et du développement important des filamenteuses durant cette période. Globalement, de la mi-octobre à fin mars, la communauté phytoplanctonique est dominée par deux algues filamenteuses, *Mougeotia gracillima* et *Planktothrix rubescens*, qui se succèdent ou sont en co-dominance. Le nombre de taxons a diminué, passant de 122 à 92 en 2005. Sept espèces non rencontrées auparavant ont été observées en 2005.

#### BIBLIOGRAPHIE

- KINGSTON, J. C. (2003) : Araphid and Monoraphid Diatoms. In : Freshwater Algae of North America. Ecology and Classification. Wehr, J. D. and Sheath, R. G. (Eds) Academic Press, Paris.
- SOMMER, U. (1986) : The periodicity of phytoplankton in Lake Constance (Bodensee) in comparison to other deep lakes of central Europe. Hydrobiologia, 138, 1-7.
- TADONLEKE, R. (2005) : Dynamique de la production phytoplanctonique et de la biomasse chlorophyllienne dans le Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2004, 91-99.
- UTERMÖHL, H. (1958) : Toward the improvement of the quantitative phytoplankton method. Mitteilungen-Internationale Vereinigung für Limnologie, 9, 1-38 (In German).
- WETZEL, R. G. and LICKENS, G.L. (2000) : Limnological Analyses, Third edition. Springer-Verlag New York.
- WETZEL, R. G. (2001) : Limnology. Lake and River Ecosystems. Third edition. Academic Press, San Diego.
- YANG, J. R. et PICK, F. R. (1996) : Changes in the phytoplankton diatom flora of a large mountain lake in response to fertilization. Journal of Phycology, 32, 232-243.

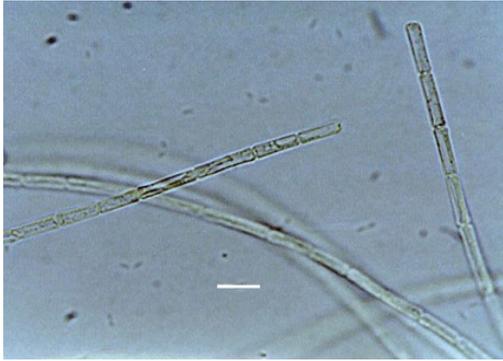
Tableau 4 : Biomasse carbonée relative des espèces les plus abondantes (Léman SHL2, 2000 à 2005).

Table 4 : Relative carbon biomass of the most abundant species (Lake Geneva SHL2, 2000 to 2005).

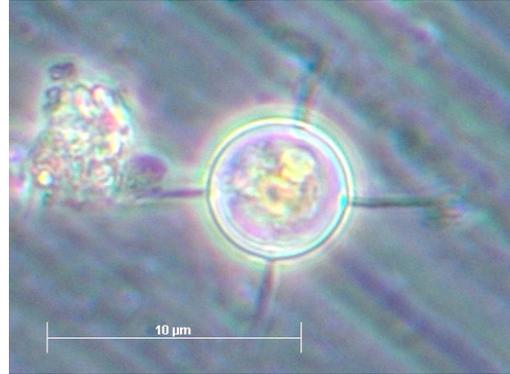
	2000	2001	2002	2003	2004	2005
<b>CYANOBACTÉRIES</b>						
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	* 1,3	* 5,75	* 3,5	* 4,4	0,8	0,3
<i>Aphanocapsa delicatissima</i>					** 8,1	
<i>Aphanothece clathrata</i> var. <i>rosea</i>			0,5			0,0
<i>Microcystis aeruginosa</i>				* 1,7	0,0	
<i>Microcystis delicatissima</i>			** 6,4			
<i>Planktothrix rubescens</i>	0,0	* 2,7	** 16,6		* 5,5	** 13,5
<i>Oscillatoria</i> cf. <i>janus</i>						* 3,87
<i>Pseudanabaena limnetica</i>	0,5	* 1,4	* 2,5	0,4	* 1,6	* 3,13
<i>Pseudanabaena galeata</i>	0,2	* 1,2	0,4	* 2,2	* 1,1	* 5,1
<b>DINOPHYCÉES</b>						
<i>Gymnodinium helveticum</i>	0,1	0,5	0,3	0,9	0,8	* 1,82
<i>Peridinium inconspicuum</i>	0,0			0,0	0,1	
<i>Peridinium willei</i>	* 2,5	0,0	0,4	* 2,3	0,2	* 2,5
<i>Ceratium hirundinella</i>	** 9,2	* 3,8	** 9,5	** 7,3	** 7,3	** 7,5
<i>Woloszynskia pseudopalustre</i>			* 1,1			
<b>CRYPTOPHYCÉES</b>						
<i>Cryptomonas</i> sp.	* 2,1	0,9	* 1,45	* 1,8	* 1,0	* 2,2
<i>Rhodomonas minuta</i>	* 3,2	* 2,6	* 3,6	* 4,7	* 1,7	* 2,48
<i>Rhodomonas minuta</i> var. <i>nannoplanctonica</i>	0,7	0,2	* 1,19	0,4	0,9	0,9
<b>CHRYSOPHYCÉES</b>						
<i>Dinobryon sociale</i>	** 43,5	* 1,0	* 6,0	0,9	0,0	0,5
<i>Dinobryon sociale</i> var. <i>stipitatum</i>	0,0	0,8	0,7	* 3,5	* 1,1	0,3
<i>Dinobryon divergens</i>	0,8	* 2,1		0,2	* 1,9	0,7
<b>XANTHOPHYCÉES</b>						
<i>Tribonema</i> sp.		0,8			* 3,6	
<b>DIATOMÉES</b>						
<i>Aulacoseira islandica</i> subsp. <i>helvetica</i>	0,7	0,0	0,0	0,4	* 1,3	* 2,1
<i>Stephanodiscus neoastraea</i>	* 1,3	0,2	0,3	0,4	0,2	0,2
<i>Stephanodiscus alpinus</i>	* 1,4	0,2	* 1,4	0,0		0,4
<i>Stephanodiscus minutulus</i>	* 1,5	0,0	0,9	0,0	0,3	0,2
<i>Diatoma tenuis</i>	* 2,5	** 22,8	* 4,23	** 6,29	* 3,6	* 3,7
<i>Fragilaria crotonensis</i>	* 5,4	0,4	* 6,1	** 10,2	* 2,9	* 4,5
<i>Fragilaria ulna</i> var. <i>angustissima</i>	0,7	0,2	* 1,7	0,3		0,2
<i>Asterionella formosa</i>	* 1,0	0,2	0,6	0,4	* 1,7	* 1,1
<i>Cymatopleura solea</i>	0,4	0,1	0,0	0,6	0,1	
<i>Cyclotella</i> spp./ <i>Stephanodiscus minutulus</i>						* 1,8
<i>Cyclotella radiosa</i>	0,0	0,1	0,0	0,2		0,0
<i>Cyclotella cyclopuncta</i>	* 1,0	0,7	* 1,5	* 3,8	* 1,9	* 3,0
<i>Tabellaria flocculosa</i>	** 7,7	* 3,7	0,0			
<b>CHLOROPHYCÉES</b>						
<i>Chlamydomonadaceae</i> sp.		0,0		* 4,7		
<i>Chlamydomonas conica</i>		0,1		0,2		* 1,5
<i>Chlamydomonas</i> sp.	0,1	0,4	* 1,9	* 3,4	0,8	* 1,5
Chlorophycées indéterminées	0,2	0,2	0,9	* 1,4	0,1	0,1
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	0,0	0,0	0,4	* 1,6	0,6	
<i>Eudorina elegans</i>	0,2		0,0	0,3	* 1,2	* 3,8
<i>Oedogonium</i> sp.				** 8,1	** 15,6	
<i>Pseudosphaerocystis lundii</i>	0,1	0,4	** 14,6	0,1	0,1	* 1,1
<i>Ulothrix</i> sp.			* 1,7	0,1	0,3	0,0
<b>CONJUGUÉES</b>						
<i>Closterium aciculare</i>	0,0	0,1	0,6	0,1	0,0	* 4,4
<i>Mougeotia gracillima</i>	0,2	** 42,3	* 4,5	* 2,3	** 22,6	** 21,3
<i>Staurastrum cingulum</i>	0,6	0,2	0,5		0,2	0,7

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

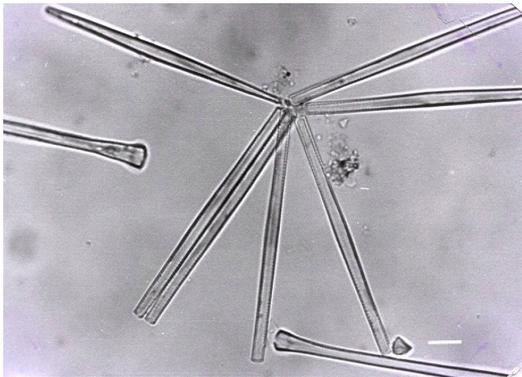
\* : espèces abondantes (entre 1 et 6 % de la biomasse totale).



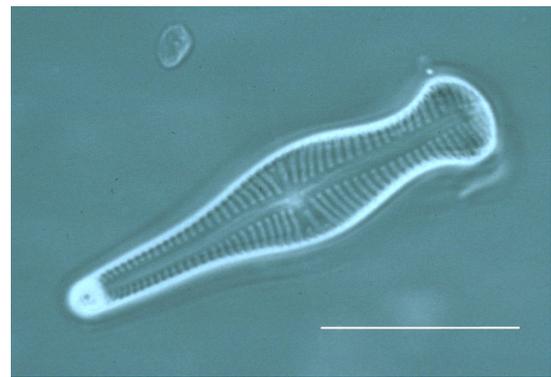
*Oscillatoria cf. janus* (Photo : J.-C. DRUART)



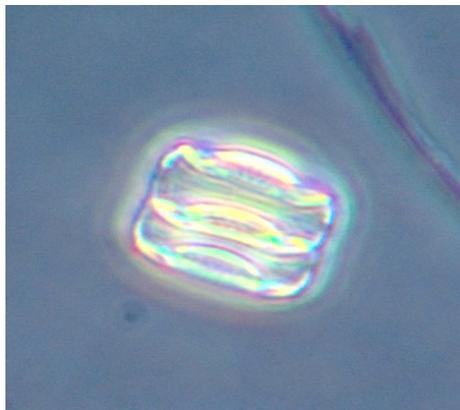
*Stomatocyste 114* (Photo : J.-C. DRUART)



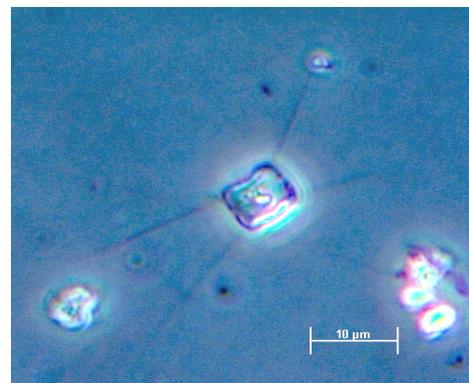
*Fragilaria tenera* nov.var. (Photo : JC Druart)



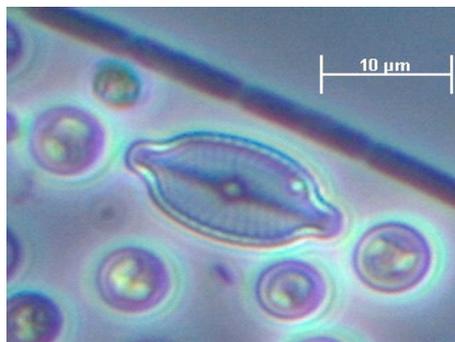
*Gomphonema truncatum* (Photo : J.-C. DRUART)



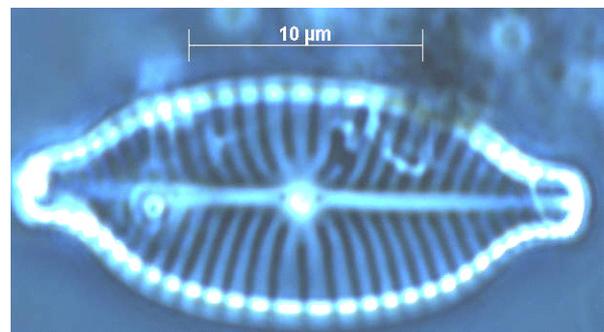
*Cyclostephanos dubius* (Photo : J.-C. DRUART)



*Cyclostephanos dubius* avec soies (Photo : J.-C. DRUART)



*Navicula exigua* (Photo : J.-C. DRUART)



*Navicula pseudoenglica* (Photo : A. KRYVENDA)

CONSEIL SCIENTIFIQUE

DE LA COMMISSION INTERNATIONALE  
POUR LA PROTECTION DES EAUX DU LÉMAN  
CONTRE LA POLLUTION

# RAPPORTS

SUR LES ÉTUDES  
ET RECHERCHES ENTREPRISES  
DANS LE BASSIN LÉMANIQUE

PROGRAMME QUINQUENNAL 2001-2005  
**CAMPAGNE 2005**

*Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut.,  
Campagne 2005, 2006*