

ÉVOLUTION DU PHYTOPLANCTON DU PETIT LAC

CHANGES IN THE PHYTOPLANKTON OF THE PETIT LAC OF LAKE GENEVA

Campagnes 2001 - 2005

PAR

Sophie LAVIGNE, Arielle CORDONIER, Nicole GALLINA et Jean PERFETTA

SERVICE DE L'ÉCOLOGIE DE L'EAU, DÉPARTEMENT DU TERRITOIRE, CP 78, CH - 1211 GENÈVE 8

RÉSUMÉ

Ce rapport présente les résultats de l'étude du phytoplancton et de la chlorophylle a du Petit Lac (station GE 3) pour les années 2001 à 2005.

Le Petit Lac présente des différences avec le Grand Lac (volume, profondeur, fréquence des brassages complets, temps de renouvellement des eaux), qui se répercutent sur les caractéristiques phytoplanctoniques.

Dans le Petit Lac, durant la période quinquennale une augmentation de la richesse taxonomique globale a été observée de 2001 à 2003, suivie d'une stagnation jusqu'en 2005.

Les classes les plus diversifiées sont dans l'ordre les chlorophycées, les diatomées et les cyanobactéries. Quatre nouveaux taxons ont été observés.

Les biomasses totales ont fortement fluctué, mais le microplancton reste largement dominant, sauf en période printanière.

L'analyse des cycles saisonniers montre des phases printanières à biomasse élevée en 2003 et 2005, une phase des eaux-claires tardive en juillet 2004, des biomasses particulièrement élevées en été 2001 et 2005 ainsi qu'un décalage de la période estivale vers l'automne en 2002 et 2004. Enfin, 2004 et 2005 se distinguent par de fortes biomasses hivernales.

Pour l'ensemble de la période quinquennale, les groupes pigmentaires sont dominés par les conjuguées et les cyanobactéries avec respectivement 28 et 25 % de la biomasse totale.

En août 2001, une biomasse exceptionnellement élevée (3'270 µgC/L) de l'algue filamenteuse Mougeotia gracillima a été mesurée dans le Petit Lac.

Cyclotella bodanica var. lemanensis, espèce indicatrice de conditions oligotrophes, figure parmi les espèces dominantes en 2003, 2004 et 2005.

Comme dans le Grand Lac, l'été 2005 a été marqué par la prolifération d'une cyanobactérie jamais observée auparavant dans le Léman : Oscillatoria cf. janus.

L'objectif de 1500 mg/m³, limite à partir de laquelle la biomasse estivale moyenne des algues filamenteuses comporterait un risque de nuisances, a été dépassé en 2001 et 2005.

Les concentrations en phosphore se sont maintenues autour de 20 µgP/L.

Paradoxalement, les biomasses annuelles moyennes restent élevées; la même tendance est observée pour la chlorophylle a.

Globalement, les tendances décrites pour la période 1996-2000 se sont confirmées, en particulier la persistance de biomasses estivales et automnales élevées et la colonisation de couches plus profondes par les algues filamenteuses.

ABSTRACT

This report presents the findings of the investigation of phytoplankton and chlorophyll in the Petit Lac section of Lake Geneva (station GE 3) for the years 2001 to 2005.

The Petit Lac section differs in some ways from the main Grand Lac (volume, depth, frequency of complete overturning, water turnover time), and these have an impact on the characteristics of the phytoplankton.

Over the 5-year period, an increase was observed in the Petit Lac in the overall taxonomic diversity from 2001 to 2003, followed by its stagnation up to 2005.

The most diverse classes were, in the order listed, the Chlorophyceae, the diatoms, and the cyanobacteria. Four new taxa were recorded.

The total biomasses fluctuated considerably, but the microplankton remained markedly dominant, except during the springtime.

An analysis of the seasonal cycles reveals that there were springtime phases with a high biomass in 2003 and 2005, a late clear-water phase in July 2004, particularly high biomasses in the summers of 2001 and 2005, and a shift of the summer period towards the autumn in 2002 and 2004. Finally, 2004 and 2005 stood out as having high winter biomasses.

Over the five-year period as a whole, the pigmented groups were dominated by the conjugates and the Cyanobacteria, which accounted for 28 and 25 % respectively of the total biomass.

In August 2001, an exceptionally high biomass (3'270 µgC/L) of the filamentous alga *Mougeotia gracillima* was found in the Petit Lac.

Cyclotella bodanica var. *lemanensis*, a species indicative of oligotrophic conditions, was one of the dominant species in 2003, 2004, and 2005.

As in the Grand Lac, the summer of 2005 was marked by the proliferation of a species of cyanobacterium never previously observed in Lake Geneva : *Oscillatoria* cf. *janus*.

The target mean summer biomass of filamentous algae of 1500 mg/m³, a threshold above which there is a risk that these algae could produce harmful effects, was exceeded in 2001 and 2005.

Phosphorus concentrations were maintained at about 20 µgP/L.

Paradoxically, the mean annual biomasses remained high; the same trend was observed for chlorophyll a.

Overall, the trends reported for the period 1996-2000 were confirmed, in particular the persistence of high summer and autumn biomasses and the colonization of the deeper layers by filamentous algae.

1. INTRODUCTION

Comme dans le Grand Lac, l'étude du phytoplancton du Petit Lac se poursuit depuis plusieurs décennies, plus particulièrement depuis 1977 par l'analyse d'échantillons d'eau brute intégrés et la mesure de la chlorophylle a sur la colonne d'eau 0-10 m.

Les résultats antérieurs ont fait l'objet de plusieurs rapports, notamment REVACLIER (1996) pour la période 1986 - 1995, REVACLIER (2001) pour l'évolution de 1996 à 2000 et LAVIGNE (2005) pour les années 1993 à 2003.

Les résultats de l'étude du phytoplancton et de la chlorophylle a dans le Petit Lac (station GE3) pour la période 2001 à 2005 sont présentés ci-dessous.

2. MÉTHODES

Le phytoplancton est prélevé mensuellement au large d'Hermance (Station GE3), au-dessus d'une fosse lacustre de 72 m de profondeur. Les échantillons d'eau brute sont récoltés à l'aide d'un tuyau intégrateur lesté entre 0 et 20 m. Le choix de la couche 0-20 m est le résultat des études comparatives menées en 2000 et 2001 sur un double échantillonnage 0-10 m et 0-20 m (LAVIGNE et DRUART, 2002).

L'examen qualitatif et quantitatif est effectué au microscope inversé, après fixation au lugol et concentration des organismes par sédimentation en chambre d'UTERMÖHL pendant 24 heures. Le volume sédimenté est de 50 mL, ou le cas échéant un volume supérieur (100 mL) ou inférieur (10 mL) en cas d'abondance trop faible ou trop importante.

La biomasse est calculée par addition des biovolumes cellulaires et exprimée en poids de matière fraîche par mètre cube d'eau (UTERMÖHL, 1958). Le biovolume unitaire (cellule, colonie ou filament de 100 µm) varie en fonction de la morphologie des algues. Les biovolumes utilisés (PELLETIER et DRUART, non publié) sont les mêmes que ceux servant à l'étude du Grand Lac.

Comme mentionné à propos du Grand Lac (DRUART et al., ce volume), les biomasses sont désormais présentées en valeurs carbonées (µgC/L) et les limites entre nano et microplankton sont fixées à 20 µm pour la longueur et 10'000 µm³ pour le volume cellulaire.

La concentration en chlorophylle a est mesurée au spectrophotomètre après filtration des échantillons d'eau brute (sur filtre en nitrate de cellulose, 0.6 µm de porosité) et extraction des pigments cellulaires dans un mélange hydro-acétone (10/90) selon la méthode décrite par STRICKLAND et PARSONS (1968).

Les données de mars et avril 2002, ainsi que celles de janvier 2004 ne sont pas prises en considération suite à des problèmes d'analyses en laboratoire.

La transparence est mesurée avec le disque de Secchi.

Les échantillons d'eau pour les analyses physico-chimiques sont prélevés à 0, 2.5, 5, 7.5, 10, 15, 20, 30, 50 et 70 m de profondeur.

3. RÉSULTATS

Les résultats détaillés concernant le phytoplancton du Petit Lac peuvent être obtenus auprès des auteurs.

3.1 Transparence, température et phosphore

Pour la période étudiée, la transparence du Petit Lac (figure 1) évolue de manière assez classique sauf pour 2004, qui se caractérise par une phase des eaux claires tardive (transparence maximale en juillet) et des minimaux en avril et octobre.

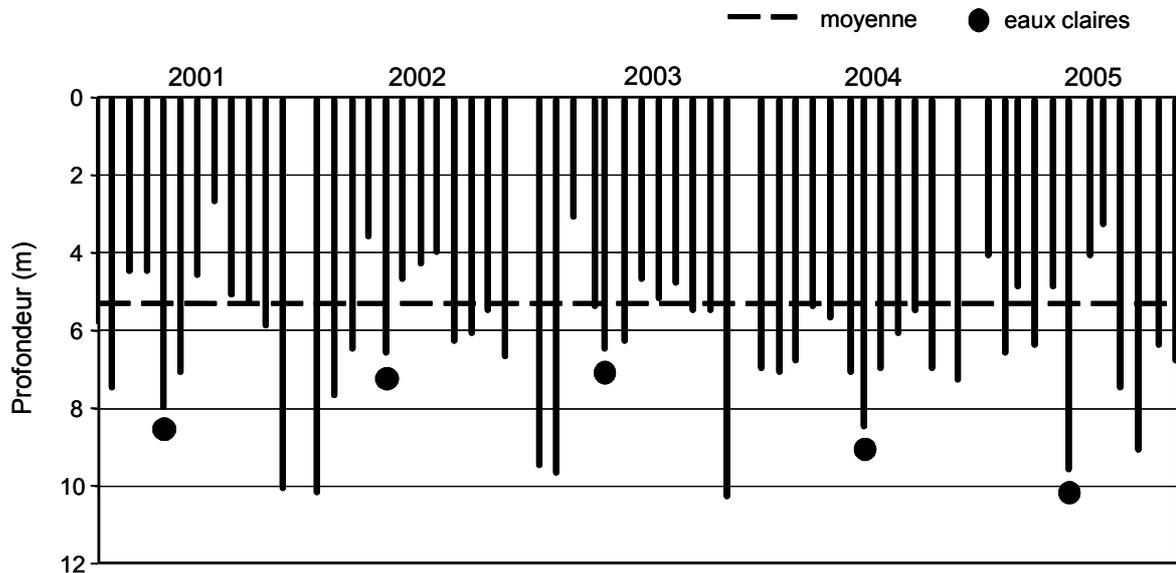


Figure 1 : Transparence mesurée avec le disque de Secchi à la station GE3 de 2001 à 2005.

Figure 1 : Secchi disk water transparency values at station GE3 from 2001 to 2005.

La comparaison avec les biomasses mensuelles (tableau 4) confirme que les transparences minimales ne correspondent pas toujours à une biomasse élevée. En effet, la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau est plus forte avec des cellules de grande taille (microplancton) qu'en présence de nanoplancton.

Ainsi, en avril 2002 la transparence est de 3.5 m avec une biomasse de 58 µgC/L en majorité nanoplanctonique alors qu'en août de la même année, la transparence est semblable (3.9 m) avec une biomasse neuf fois plus importante (512 µgC/L) mais en majorité microplanctonique.

La figure 2 montre que l'évolution des températures pendant la période d'étude est caractérisée par deux années relativement fraîches suivies de trois étés plus chauds, avec notamment une valeur maximale de 26.5 °C en août 2003.

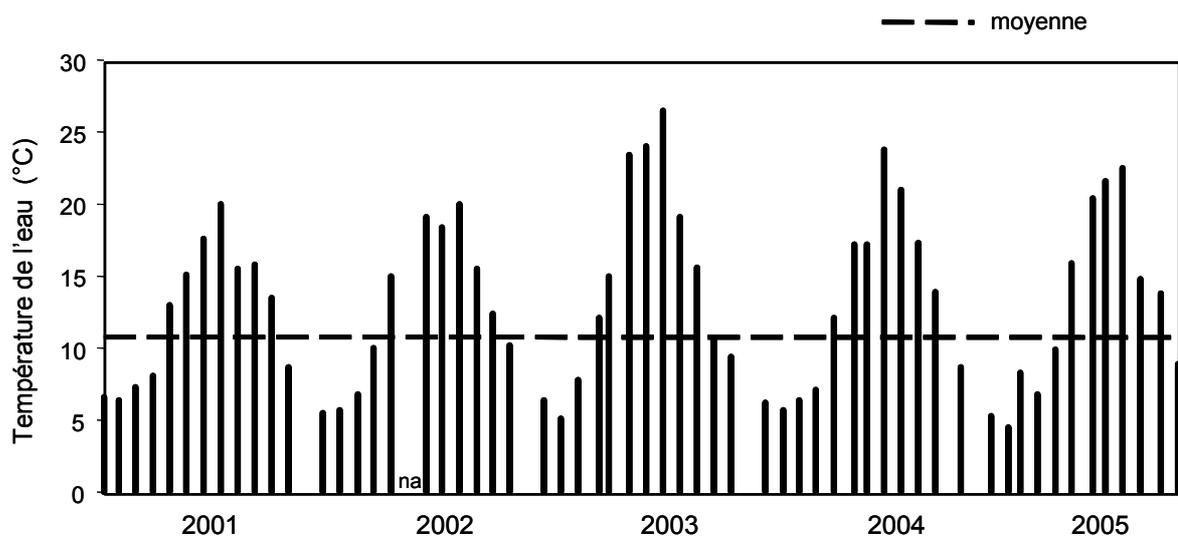


Figure 2 : Températures mensuelles de l'eau en surface à la station GE3 de 2001 à 2005.

Figure 2 : Monthly temperatures of the surface water at station GE3 from 2001 to 2005.

Concernant le phosphore, l'objectif de 20 µgP/L fixé pour le Grand Lac par la CIPEL, a été atteint entre 2001 et 2005 dans le Petit Lac (figure 3).

Seul 2003 se distingue par une valeur maximale sensiblement plus élevée (en mai, sur toute la colonne d'eau).

Recevant l'eau des couches superficielles du Grand Lac (zones où les concentrations en nutriments sont les plus faibles); la baisse des valeurs en phosphore observées à la station GE 3, traduit celle qui s'opère au sein du Grand Lac.

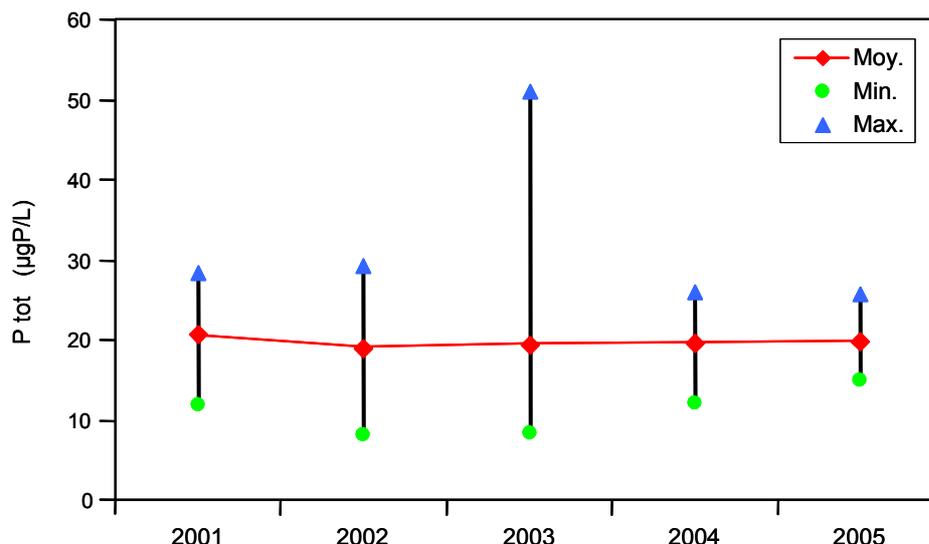


Figure 3 : Concentrations en µgP/L du phosphore total, (moyennes pondérées 0 - 70 m) à la station GE3 de 2001 à 2005.

Figure 3 : Concentrations of total phosphorus in µgP/L (weighted means 0 - 70 m) at station GE3 from 2001 to 2005.

3.2 Richesse taxonomique

Depuis 2001, le nombre total d'espèces augmente nettement pour atteindre un maximum en 2003 avec 127 taxons, puis semble se stabiliser autour de 100 (tableau 1).

L'analyse détaillée de chaque groupe pigmentaire montre une évolution semblable pour les chlorophycées, les cyanobactéries, les chrysophycées et les dinophycées. Les diatomées, les conjuguées et les cryptophycées se maintiennent au niveau de 2003 pour les deux années suivantes.

Tableau 1 : Nombre de taxons par classe de 2001 à 2005.

Table 1 : Number of taxa per class from 2001 to 2005.

	Nombre de taxons					Moyenne 2001-2005
	2001	2002	2003	2004	2005	
Diatomées	16	17	21	20	21	19
Conjuguées	7	10	10	8	10	9
Chlorophycées	24	33	51	37	33	35
Cyanobactéries	7	9	17	12	13	11
Cryptophycées	4	4	4	4	5	4
Dinophycées	5	7	12	10	9	8
Chrysophycées	5	7	12	8	8	8
Xanthophycées	1	0	0	1	1	0
Euglenophycées	0	0	0	1	0	0
Total taxons	69	87	127	101	100	95

Avec une moyenne de 35 et un maximum de 51 taxons, le groupe des chlorophycées est celui qui comporte la plus grande diversité d'espèces. Au deuxième rang, les diatomées sont en moyenne représentées par 19 espèces avec un maximum de 21 en 2003 et 2005.

Les cyanobactéries arrivent en troisième position avec une diversité moyenne de 11 taxons (17 en 2003).

En 2005, contrairement à ce qui a été observé à la station SHL2 (Grand Lac), il n'y a pas eu de baisse importante de la diversité dans le Petit Lac.

Au cours de la période d'étude, 4 nouvelles espèces ont été observées (figures 4 à 7).



Figure 4 : Cyanobactérie, *Aphanocapsa parasitica*
(Photo : S. Lavigne)



Figure 5 : Chrysophycée, *Spherocea volvox*
(Photo : S. Lavigne)



Figure 6 : Cyanobactérie, *Oscillatoria* cf. *janus* (Photo : S. Lavigne)

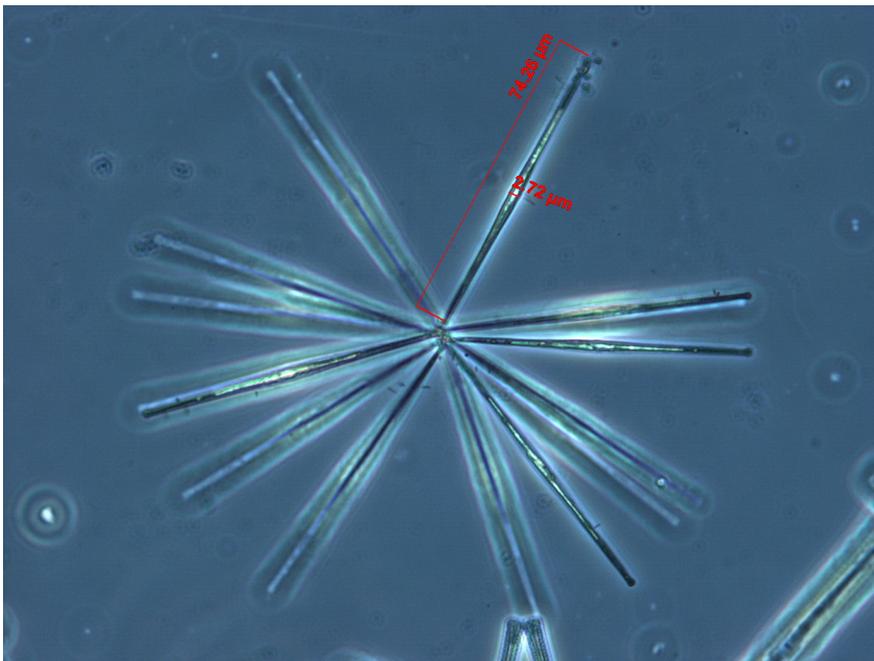


Figure 7 : Diatomée, *Fragilaria* cf. *tenera* (Photo : S. Lavigne)

Parmi ces nouvelles algues, une nouvelle algue filamenteuse a fait son apparition et proliféré en juillet et août 2005 dans le Léman (Petit et Grand Lac). D'après F. HINDAK (communication personnelle), il s'agirait d'*Oscillatoria* cf. *janus* (figure 6); son identification reste toutefois incertaine, notamment suite à l'échec d'une mise en culture à l'INRA de Thonon-les-Bains.

3. 3. Abondance

Comme le montre le tableau 2, seule une dizaine de taxons sont abondants (> 5 %) durant la période d'étude. La chlorophycée *Chlorella vulgaris* est abondante chaque année, en particulier en 2002 (48 %). Bien qu'elle ne représente que 6 à 7 % de l'abondance totale, la chrysophycée *Erkenia subaequiciliata* est abondante de 2001 à 2004. Le groupe de petites diatomées centrées *Cyclotella* spp. / *Stephanodiscus minutulus* (< 9 µm) est présent chaque année et abondant en 2001, 2003, 2004 et 2005.

Enfin *Mougeotia gracillima*, avec 32 % en 2001 et *Oscillatoria* cf. *janus* avec 35 % en 2005, comptent également parmi les espèces les plus abondantes de cette période quinquennale.

Tableau 2 : Abondances relatives annuelles des espèces les plus fréquentes (> 5 %), à la station GE3, de 2001 à 2005.

Table 2 : Relative annual abundances of the most common species (> 5 %), at station GE3 from 2001 to 2005.

Rang	Espèce	Classe	Abondance (%)	Mois abondants (> 500 ind./mL)
2001				
1	<i>Mougeotia gracillima</i>	CON	32	08 / 09
2	<i>Chlorella vulgaris</i>	CHL	19	03 à 11
3	<i>Cyclotella</i> spp./ <i>Stephanodiscus minutulus</i> (< 9 µm)	DIA	8	04 / 05
4	<i>Diatoma tenuis</i>	DIA	7	07 / 10
5	<i>Chlamydomonas</i> spp.	CHL	6	04 / 07
5	<i>Erkenia subaequiciliata</i>	CHR	6	04
7	<i>Rhodomonas minuta</i> var. <i>nanoplantica</i>	CRY	5	-
2002				
1	<i>Chlorella vulgaris</i>	CHL	48	01 à 08 / 10 / 11
2	<i>Fragilaria crotonensis</i>	DIA	12	06
3	<i>Erkenia subaequiciliata</i>	CHR	6	04
4	<i>Rhodomonas minuta</i> var. <i>nanoplantica</i>	CRY	5	03 / 11
2003				
1	<i>Cyclotella</i> spp./ <i>Stephanodiscus minutulus</i> (< 9 µm)	DIA	27	03 / 05
2	<i>Chlorella vulgaris</i>	CHL	25	02 / 03 / 05 / 07 / 11
3	<i>Erkenia subaequiciliata</i>	CHR	7	10
4	<i>Rhodomonas minuta</i>	CRY	6	03
5	<i>Rhodomonas minuta</i> var. <i>nanoplantica</i>	CRY	6	-
6	<i>Diatoma tenuis</i>	DIA	5	-
2004				
1	<i>Cyclotella</i> spp./ <i>Stephanodiscus minutulus</i> (< 9 µm)	DIA	20	02 à 05
2	<i>Chlorella vulgaris</i>	CHL	15	03 / 05 / 09
3	<i>Fragilaria crotonensis</i>	DIA	14	01 / 05 / 06
4	<i>Mougeotia gracillima</i>	CON	11	08 / 10 / 12
5	<i>Erkenia subaequiciliata</i>	CHR	7	03
2005				
1	<i>Oscillatoria</i> cf. <i>janus</i>	CYA	35	03 / 04 / 07 / 08
2	<i>Cyclotella</i> spp./ <i>Stephanodiscus minutulus</i> (< 9 µm)	DIA	21	03 / 04 / 05
3	<i>Chlorella vulgaris</i>	CHL	11	04 / 05 / 07 / 09
4	<i>Mougeotia gracillima</i>	CON	10	02 / 03 / 11 / 12

3.4. Biomasse

Les biomasses annuelles varient fortement pour les années considérées (figure 8), passant de plus de 6'000 $\mu\text{C/L}$ en 2001 à 2'600 $\mu\text{C/L}$ en 2003 pour revenir à près de 6'000 $\mu\text{C/L}$ en 2005.

Contrairement à ce qui a été observé dans le Petit Lac, entre 2004 et 2005 les valeurs de biomasses annuelles ont fortement diminué dans le Grand Lac.

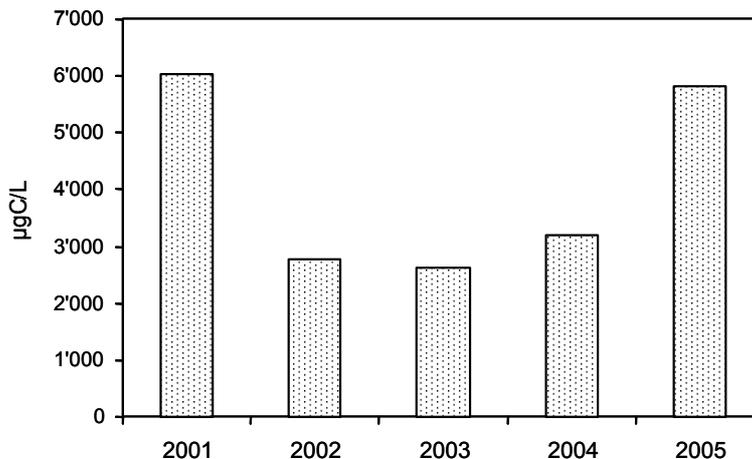


Figure 8 : Biomasses carbonées annuelles ($\mu\text{C/L}$) à la station GE3 de 2001 à 2005.

Figure 8 : Annual carbon biomass ($\mu\text{C/L}$) at station GE3 from 2001 to 2005.

La figure 9 présente les pourcentages relatifs des biomasses des diatomées et des cyanobactéries calculées en mg/m^3 et en $\mu\text{C/L}$. La comparaison montre une différence pouvant atteindre 10 % entre les deux modes de calcul, ce qui peut entraîner une modification dans l'ordre de dominance des groupes pigmentaires (tableau 3).

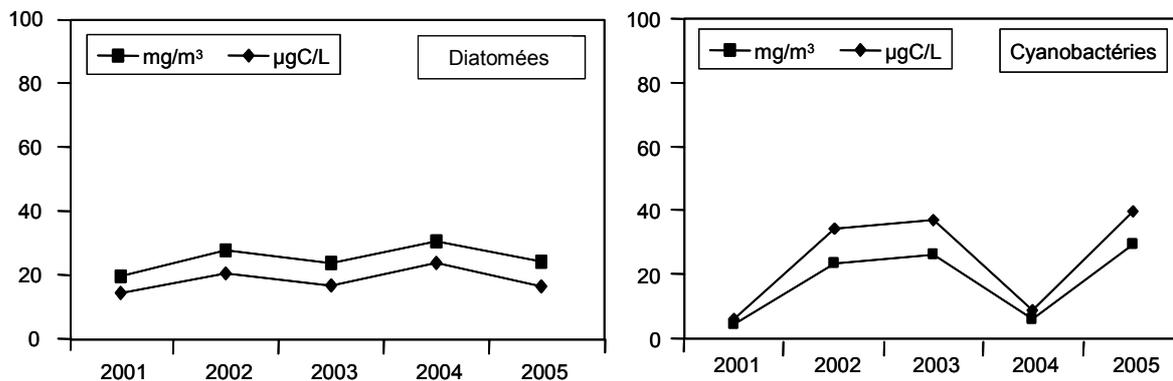


Figure 9 : Pourcentage relatif des biomasses annuelles des diatomées et des cyanobactéries, exprimées en mg/m^3 et en $\mu\text{C/L}$ à la station GE3 de 2001 à 2005.

Figure 9 : Relative percentage of the annual biomass consisting of diatoms and cyanobacteria, expressed in mg/m^3 and in $\mu\text{C/L}$ at station GE3 from 2001 to 2005.

Tableau 3: Abondances relatives (%) des groupes pigmentaires en fonction du mode de calcul des biomasses, entre 2001 et 2005.

Tableau 3: Relative abundance (%) of the pigmented groups as a function of the method of calculating the biomass, between 2001 and 2005.

Rang	$\mu\text{C/L}$	%	mg/m^3	%
1	Conjugées	27.66	Diatomées	25.36
2	Cyanobactéries	25.17	Conjugées	24.14
3	Diatomées	18.32	Chlorophycées	15.77
4	Chlorophycées	16.57	Cyanobactéries	14.95
5	Dinophycées	5.41	Cryptophycées	9.70
6	Cryptophycées	4.44	Dinophycées	6.17
7	Crysophycées	2.19	Crysophycées	3.53
8	Xanthophycées	0.24	Xanthophycées	0.39

3.5. Microplancton et nanoplancton

Avec plus de 80 % pendant toute la période étudiée, les espèces microplanctoniques dominent le phytoplancton en terme de biomasse carbonée (figure 10). La proportion particulièrement importante du microplancton en 2001 est essentiellement attribuable à *Mougeotia gracillima*.

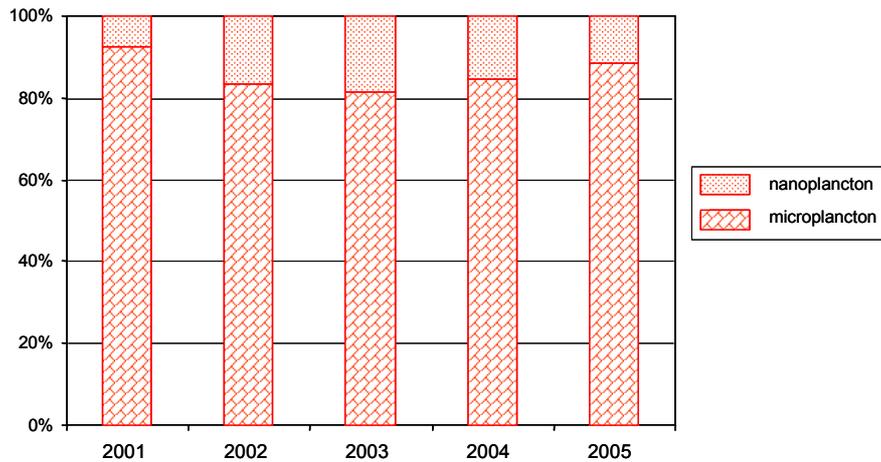


Figure 10 : Pourcentages relatifs de la biomasse carbonée annuelle du micro et nanoplancton à la station GE3 de 2001 à 2005.

Figure 10 : Relative percentages of the annual carbon biomass of micro- and nanoplankton at station GE3 from 2001 to 2005.

Les moyennes mensuelles des biomasses carbonées du micro et du nanoplancton montrent que le nanoplancton est en général nettement mieux représenté en période printanière (figure 11).

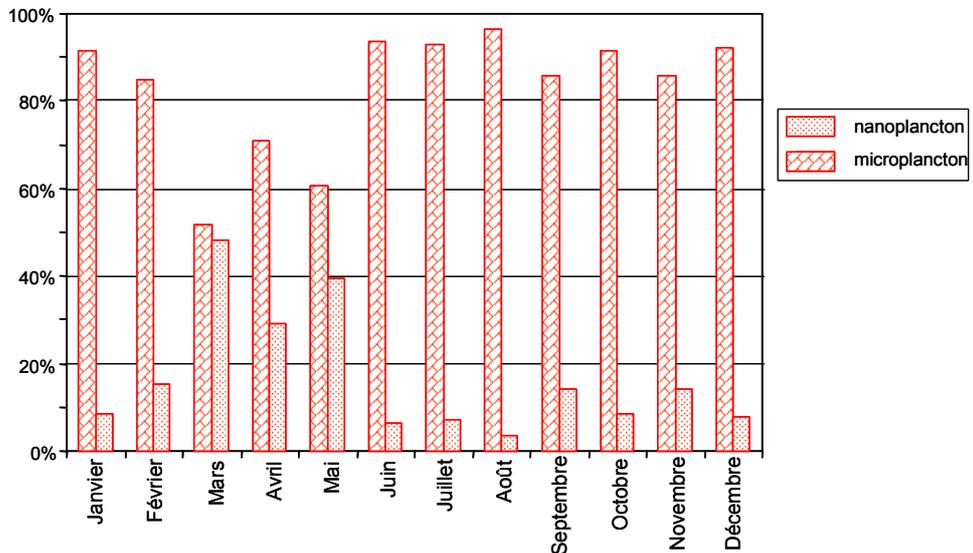


Figure 11 : Biomasses carbonées mensuelles moyennes du micro et nanoplancton pour la période 2001 à 2005 à la station GE3.

Figure 11 : Mean monthly carbon biomasses of the micro- and nanoplankton for the period 2001 to 2005 at station GE3.

3.6. Cycles saisonniers

L'évolution saisonnière des biomasses carbonées pour les années 2001 à 2005, illustrée à la figure 12, appelle les commentaires suivants :

Durant les périodes hivernales, les valeurs sont généralement basses, sauf en décembre 2004 et en 2005, où elles sont particulièrement élevées.

Les biomasses des périodes printanières sont basses en 2001, 2002 et 2004, avec un profil particulièrement plat en 2002, résultant de l'absence de démarrage printanier.

En 2003 et 2005, elles sont plus hautes et correspondent aux valeurs habituellement mesurées en cette période (LAVIGNE, 2005).

Généralement observée en mai ou juin, la période des eaux claires a eu lieu en mai en 2001, 2002 et 2003 et en juin 2005. En 2004, la période des eaux claires est plus tardive car elle a été observée en juillet.

Avec un pic de 3'608 µgC/L, la période estivale de 2001 peut être qualifiée d'exceptionnelle; l'année 2005 présente également un pic assez important en juillet (1'163 µgC/L).

Période automnale : il n'est pas rare d'observer des biomasses relativement élevées durant cette période; c'est le cas en 2001, 2002 et 2004.

L'année 2003 se distingue par une forte baisse, suivie d'une brusque augmentation et 2005, par le maintien de valeurs relativement basses.

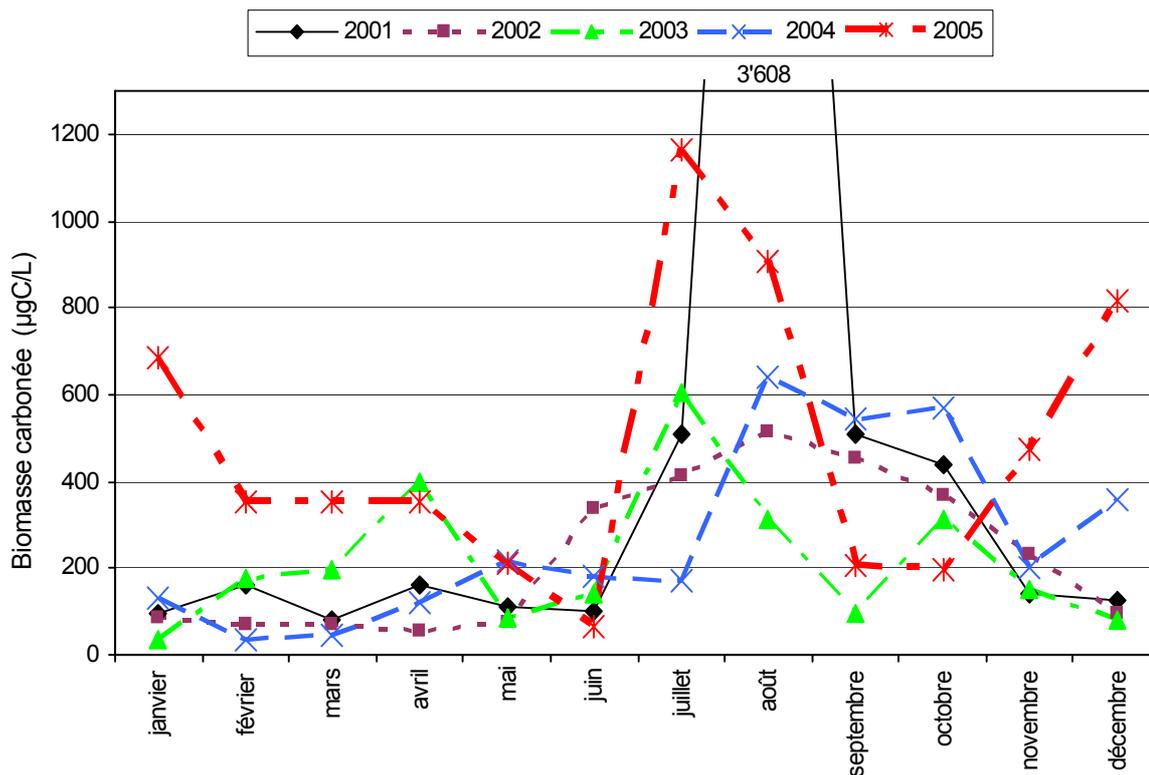


Figure 12 : Évolution saisonnière des biomasses carbonées de 2001 à 2005 à la station GE3.

Figure 12 : Seasonal change in the carbon biomass from 2001 to 2005 at station GE3.

3.7. Taxons dominants et très dominants

Le calcul des biomasses des différents taxons permet de décrire leur abondance relative au cours de la période considérée.

En fonction du critère déterminé (> 6 % de la biomasse carbonée annuelle), 10 espèces sont très dominantes pendant une ou plusieurs années et 24 sont dominantes (entre 1 et 6 % de la biomasse carbonée annuelle) (tableau 4).

Le nombre de taxons très dominants par année varie entre 2 (2001 et 2005) et 6 (2002) ; celui des taxons dominants entre 7 (2001) et 14 (2004).

En 2001, la conjugée *Mougeotia gracillima* constitue 70 % du peuplement phytoplanctonique, l'autre espèce très dominante étant *Diatoma tenuis* (9.5 %).

En 2002, le peuplement est plus équilibré puisque le taxon le plus dominant est la cyanobactérie *Planktothrix rubescens* avec 20 %, l'abondance des 5 autres espèces très dominantes variant entre 7 et 12 %.

En 2003, le phytoplancton est à nouveau dominé par une cyanobactérie, *Aphanocapsa delicatissima* (22 %) et dans une moindre mesure par quatre autres taxons avec une abondance relative comprise entre 10 et 19 %.

En 2004, *Mougeotia gracillima* domine à nouveau (35 %), accompagnée de trois autres taxons représentant chacun entre 7 et 8 %.

Tableau 4: Pourcentages des espèces dominantes (1 à 6 % de la biomasse carbonée annuelle) et très dominantes (> 6 % de la biomasse carbonée annuelle), regroupées par classe, de 2001 à 2005 à la station GE3.

Table 4: Percentages of the dominant species (1 to 6 % of the annual carbon biomass) and very dominant species (> 6 % of the annual carbon biomass), grouped by class, from 2001 to 2005 at station GE3.

Valeurs relatives (%) de la biomasse carbonée annuelle totale					
DIATOMÉES	2001	2002	2003	2004	2005
<i>Cyclotella</i> spp./ <i>Stephano.minutulus</i> (< 9 µm)			1.72	1.37	5.00
<i>Cyclotella bodanica</i> var. <i>lemanensis</i>			1.65	4.22	2.53
<i>Fragilaria crotonensis</i>		12.04		8.20	2.25
<i>Diatoma tenuis</i>	9.54	4.58	9.53	7.67	2.17
<i>Stephanodiscus neoastrae</i>		1.49	3.80		1.40
<i>Aulacoseira islandica</i> subsp. <i>helvetica</i>				1.75	1.37
<i>Asterionella formosa</i>					1.12
<i>Synedra acus</i> var. <i>angustissima</i>		1.69			
<i>Stephanodiscus alpinus</i>		1.26			
<i>Tabellaria flocculosa</i>	4.48				
CONJUGUÉES	2001	2002	2003	2004	2005
<i>Mougeotia gracillima</i>	69.73	3.44	3.25	35.18	36.29
CHLOROPHYCÉES	2001	2002	2003	2004	2005
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>			19.03	7.71	
<i>Chlamydomonas</i> spp.	4.74	6.90	9.35	4.75	
<i>Micractinium pusillum</i>	2.11	8.75		3.92	
<i>Oedogonium</i> sp. (<i>Tribonema</i> irrég.)			1.95	3.86	
<i>Botryococcus braunii</i>		2.82			
CYANOBACTÉRIES	2001	2002	2003	2004	2005
<i>Oscillatoria</i> cf. <i>janus</i>					36.44
<i>Planktothrix rubescens</i>	3.53	19.84	10.53	2.49	5.13
<i>Aphanocapsa delicatissima</i>			22.17		1.57
cf. <i>Synechocystis</i> sp.				5.35	
<i>Anabena bergii</i> var. <i>limnetica</i>			2.38		
<i>Aphanothece clathrata</i> var. <i>rosea</i>		8.03	1.33		
<i>Microcystis</i> sp.			1.12		
<i>Aphanocapsa grevillei</i>		4.16			
<i>Pannus spumosus</i>		2.77			
<i>Oscillatoria limnetica</i>	1.96	1.96			
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>		1.74			
CRYPTOPHYCÉES	2001	2002	2003	2004	2005
<i>Rhodomonas minuta</i>	1.56	4.43	4.01	3.34	1.31
<i>Cryptomonas</i> spp.		2.62	1.73	1.58	
DINOPHYCÉES	2001	2002	2003	2004	2005
<i>Ceratium hirundinella</i>	2.35	7.36	3.27	4.39	3.43
<i>Gymnodinium helveticum</i>			1.46	1.63	
CHRYSOPHYCÉES	2001	2002	2003	2004	2005
<i>Dinobryon divergens</i>				1.45	
<i>Dinobryon sociale</i>		4.13	1.17		
XANTHOPHYCÉES	2001	2002	2003	2004	2005
<i>Tribonema</i> sp.				1.15	

Enfin en 2005, avec plus de 36% chacune, *Mougeotia gracillima* et la nouvelle venue *Oscillatoria cf. janus* dominant le peuplement.

Il est intéressant de noter que les teneurs en N-NO_3^- dans la couche 0 - 20 m se trouvaient particulièrement basses, voire parfois nulles, durant la période estivale de cette année-là.

Il est possible que ces conditions chimiques aient favorisé l'apparition de ces cyanobactéries.

La classe des cyanobactéries est la mieux représentée sur l'ensemble de la période 2001-2005 avec 4 espèces très abondantes et sept autres taxons abondants.

La classe des diatomées occupe le deuxième rang avec deux espèces très dominantes et 8 taxons dominants dont *Cyclotella bodanica* var. *lemanensis*, caractéristique de milieux oligotrophes (VAN DAM, 1994), qui se maintient dans le Petit Lac depuis 2003 avec une abondance comprise entre 2 et 4 % .

Les chlorophycées fournissent trois taxons très dominants et deux dominants et les conjuguées ne sont représentées que par le genre *Mougeotia*, très dominant.

Bien qu'ils comprennent quelques taxons dominants, voire très dominants avec *Ceratium hirundinella* chez les dinophycées, les autres groupes pigmentaires sont nettement moins abondants pour la période considérée.

3.8. Algues filamenteuses

Bien qu'appartenant à des classes différentes, les algues filamenteuses présentent des caractéristiques communes qui poussent à les étudier en tant que telles : elles sont difficilement, voire non comestibles par le zooplancton, ce qui les rend très compétitives pour l'assimilation des nutriments et leur grande flottabilité contribue à favoriser leur accumulation et leur stagnation à certaines profondeurs.

Enfin, certaines espèces sont adaptées aux faibles intensités lumineuses et peuvent ainsi puiser le phosphore à une plus grande profondeur, où cet élément est moins limitant.

Dans le Petit Lac, la part des algues filamenteuses est relativement importante, mais varie fortement d'une année à l'autre durant la période considérée (figure 13).

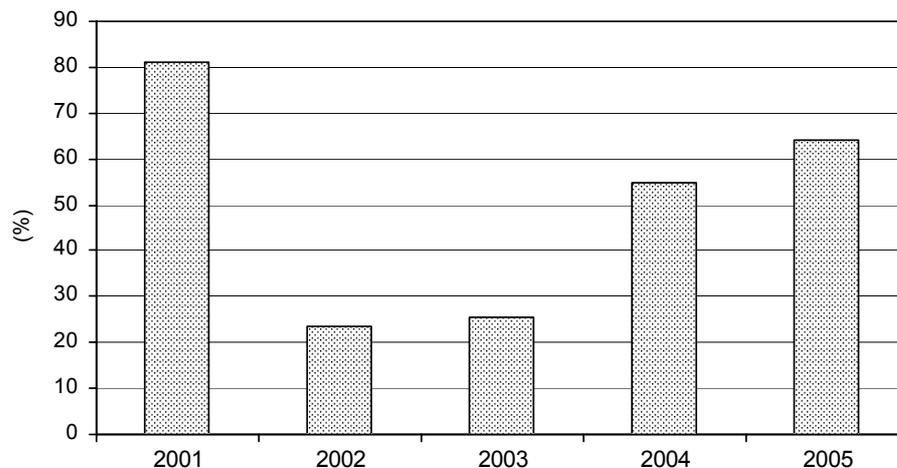


Figure13 : Pourcentages des algues filamenteuses, par rapport à la biomasse annuelle totale, de 2001 à 2005 à la station GE3.

Figure 13 : Percentage of filamentous algae, in terms of the total annual biomass, from 2001 to 2005 at station GE3.

Dans le tableau de bord technique du plan d'action 2001-2010 de La CIPEL, des valeurs limites ont été fixées pour les moyennes estivales (juillet, août et septembre) des algues filamenteuses :

- < 1'500 mg/m³ (objectif à atteindre) = pas de nuisance*
- entre 1'500-3'000 mg/m³ = risque de nuisances*
- > 3'000 mg/m³ = nuisances* certaines.

* nuisances : colmatage des filets de pêche et des filtres servant à la production d'eau potable, désagrément pour les baigneurs.

Les moyennes estivales des biomasses des algues filamenteuses dans le Petit Lac, montrent que la limite inférieure a été dépassée en 2001 et en 2005, alors que la valeur 2004 s'en est fortement approchée (tableau 5).

Tableau 5 : Biomasses (mg/m³) moyennes estivales (juillet, août et septembre) des algues filamenteuses de 2001 à 2005 à la station GE3.

Table 5 : Mean summer biomass (mg/m³) (July, August and September) of the filamentous algae from 2001 to 2005 at station GE3.

Année	Biomasse moyenne estivale (mg/m ³)
2001	5'517
2002	690
2003	487
2004	1'346
2005	2'451

La comparaison des biomasses mensuelles des principales algues filamenteuses durant la période 2001 - 2005 (figure 14) montre que les années 2001 à 2003 présentent une image habituelle, avec une prolifération entre juillet et octobre, celle d'août 2001 étant due essentiellement à *Mougeotia gracillima*. En 2004 et 2005 en revanche, les algues filamenteuses sont abondantes entre octobre et janvier. Ces proliférations sont à nouveau le fait de la conjuguée *M. gracillima*.

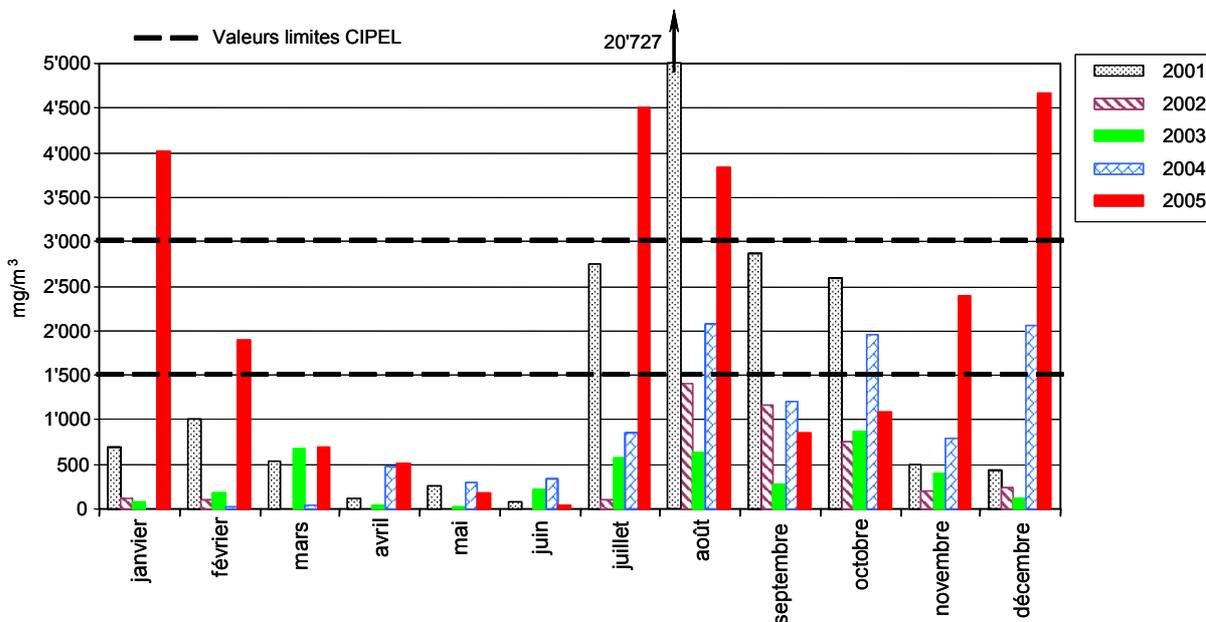


Figure 14 : Biomasses mensuelles (mg/m³) des espèces d'algues filamenteuses avec % relatif ≥ 1 , de 2001 à 2005 à la station GE3.

Figure 14 : Monthly biomass (mg/m³) of the filamentous algae species with relative % >1, from 2001 to 2005 at station GE3.

3.9. Chlorophyll a

Durant la période 2001 - 2005, la chlorophylle a fait l'objet de mesures en parallèle sur les couches 0-10 m et 0-20 m. Les résultats de la comparaison de ces valeurs sont présentés ci-dessous.

La concentration moyenne sur les 5 années d'étude pour la couche 0-10 m est de 5.65 µg/L (4.5 µg/L de 1996 à 2000), soit une hausse par rapport à la période quinquennale précédente. Celle de la couche 0-20 m est de 5.5 µg/L.

La concentration maximale est atteinte en août 2001 pour la couche 0-10 m avec une valeur de 18.35 µg/L et correspond à la prolifération exceptionnelle de *Mougeotia gracillima* (figure 15).

Le minimum est observé pendant la période des eaux claires en juin 2005 avec une concentration de 1.1 µg/L, également dans la couche de 0-10 m.

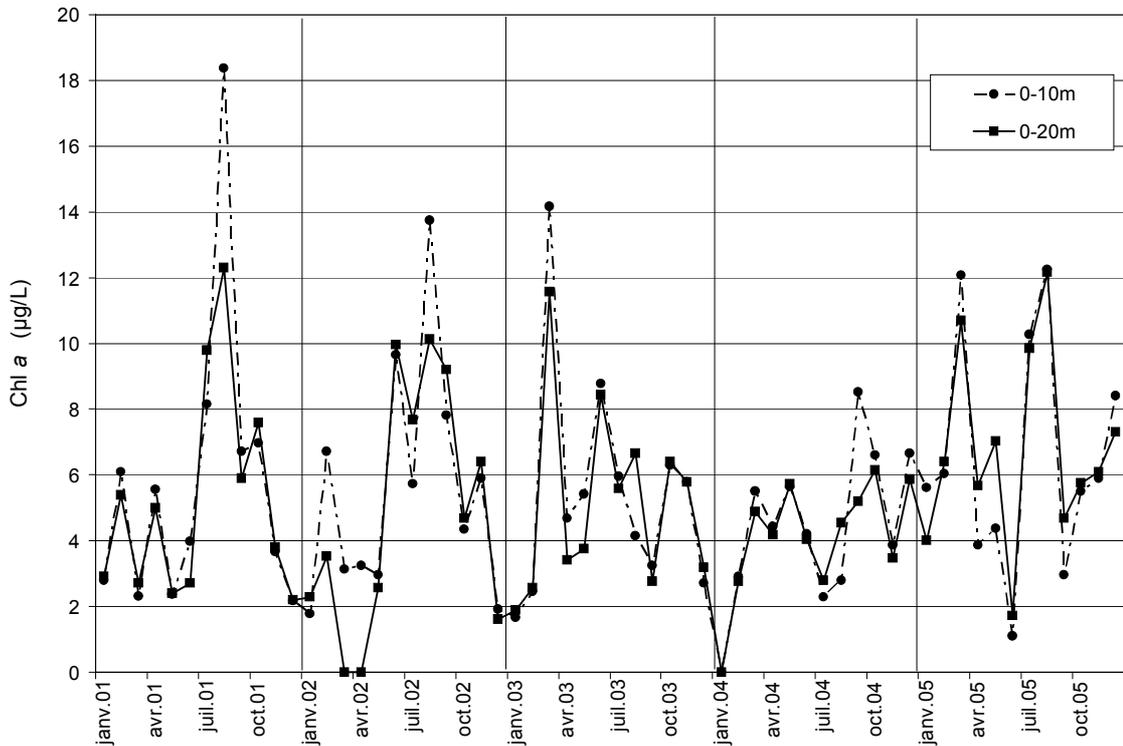


Figure 15 : Concentrations mensuelles de la chlorophylle a de 2001-2005 dans le couches 0-10 m et 0-20 m. Les données de mars et avril 2002 (0-20 m) et de janvier 2004 (0 - 10 et 0 - 20 m) manquent.

Figure 15 : Monthly concentrations of chlorophyll a from 2001-2005 at depths of 0-10 m and 0-20 m. Data from March to April 2002 (0-20 m), and from January 2004 (0 - 10 and 0 - 20 m) are missing.

En 2001 et 2002, mis à part la concentration exceptionnellement élevée en août 2001, l'évolution de la chlorophylle a suit les cycles saisonniers classiques du phytoplancton. Les pics estivaux de ces deux années sont plus importants dans la couche 0-10 m que dans la couche 0-20 m.

En 2003, la concentration printanière est plus importante que celle de la période estivale.

En 2004, les concentrations en chlorophylle a illustrent le caractère atypique de cette année: faibles concentrations printanières, eaux claires observées tardivement en juillet, phase hivernale décalée en janvier 2005. A noter les résultats différents durant la phase estivale dans les couches 0-10 et 0-20 m.

En 2005, les pics printaniers et estivaux sont relativement importants.

La comparaison de la variabilité des concentrations en chlorophylle a entre les couches 0-10 m et 0-20 m (figure 16) montre une forte similitude, malgré un plus grand nombre de valeurs extrêmes pour la couche de 0-10 m.

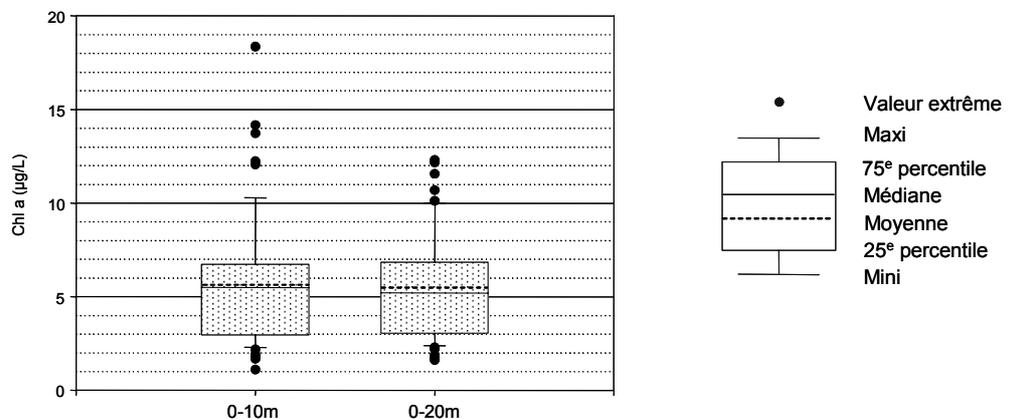


Figure 16 : Comparaison de la variabilité des concentrations en chlorophylle a de 2001 à 2005 pour les couches 0-10 m et 0-20 m à la station GE3.

Figure 16 : Comparison of the variability of the concentration of chlorophyll a from 2001 to 2005 for depths of 0-10 m and 0-20 m at station GE3.

Le test statistique de Kolmogorov-Smirnoff montre que la concentration de chlorophylle *a* ne diffère pas significativement d'une couche à l'autre ($p = 0.9995$).

Ce constat confirme celui des études comparatives menées sur le phytoplancton en 2000 et 2001 (LAVIGNE et DRUART, 2002). Ainsi, dès 2006, les profondeurs 0, 2.5, 10, 15, 20 et 30 m seront analysées en complément des profils effectués entre 0 et 50 m au moyen de la sonde multi-paramétrique FLNTUB (WetLabs).

La **variabilité interannuelle** (figure 17) des moyennes annuelles est relativement constante et varie au maximum de 1.98 $\mu\text{g/L}$.

2002 montre la plus grande variabilité des valeurs sur toute la période quinquennale. Les taux de chlorophylle *a* sont importants durant la période estivale et très faibles pendant la phase hivernale. La moyenne annuelle est de 5.8 $\mu\text{g/L}$.

Les années 2001 et 2003 ont une moyenne annuelle de 5.17 $\mu\text{g/L}$, respectivement 5.20 $\mu\text{g/L}$. Malgré la prolifération de *Mougeotia gracilima* en août 2001, la variabilité des valeurs est très semblable entre ces deux années.

2004 se distingue des autres années par sa faible variabilité qui peut être attribuée aux petits pics de chlorophylle *a*; c'est aussi l'année où la moyenne est la plus faible (4.85 $\mu\text{g/L}$).

C'est en 2005 que la moyenne annuelle est la plus élevée (6.78 $\mu\text{g/L}$), due aux poussées printanières et estivales importantes.

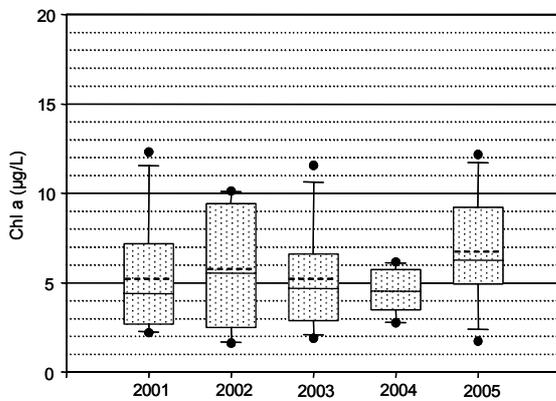


Figure 17 : Représentation "boîte à moustaches" de la Chl*a* entre les années de 2001 à 2005.

Figure 17 : "Box and whiskers" plot of Chl *a* over the years 2001 to 2005.

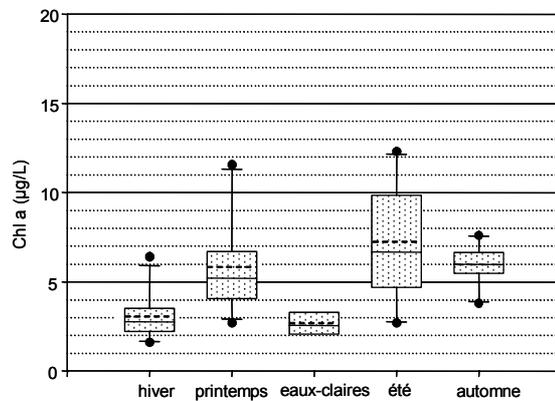


Figure 18 : Représentation "boîte à moustaches" de la Chl*a* entre les saisons de 2001 à 2005.

Figure 18 : "Box and whiskers" plot of Chl *a* for the seasons 2001 to 2005

Durant la période d'étude, la **variabilité intersaisonnière** (figure 18) des concentrations de chlorophylle *a* suit le modèle saisonnier classique du phytoplancton.

La moyenne de chlorophylle *a* des périodes hivernales pour 2001-2005 est basse (3 $\mu\text{g/L}$) avec une faible variation.

La croissance printanière s'exprime par une moyenne élevée de 5.9 $\mu\text{g/L}$ et une plus grande distribution des données.

Elle est suivie par la phase des eaux claires, pauvre en chlorophylle *a* (2.6 $\mu\text{g/L}$), dont les valeurs ne varient que faiblement.

C'est en période estivale qu'on trouve la plus forte concentration de chlorophylle *a* avec une moyenne de 7.2 $\mu\text{g/L}$. C'est aussi durant cette phase que la concentration de chlorophylle *a* varie le plus durant la période considérée.

En phase automnale, la valeur moyenne de la chlorophylle *a* est légèrement plus élevée qu'au printemps (6 $\mu\text{g/L}$) mais avec une amplitude de variations plus faible.

Globalement, d'une année à l'autre, les concentrations en chlorophylle *a* sont très stables pendant les périodes hivernales, des eaux claires et automnales, par contre elles le sont moins en phase printanière et surtout estivale.

Les corrélations entre la transparence, la chlorophylle *a* et la biomasse phytoplanctonique de la couche 0-20 m sont illustrées sur la figure 19. Les deux derniers paramètres sont transformés en log pour une distribution normale des valeurs.

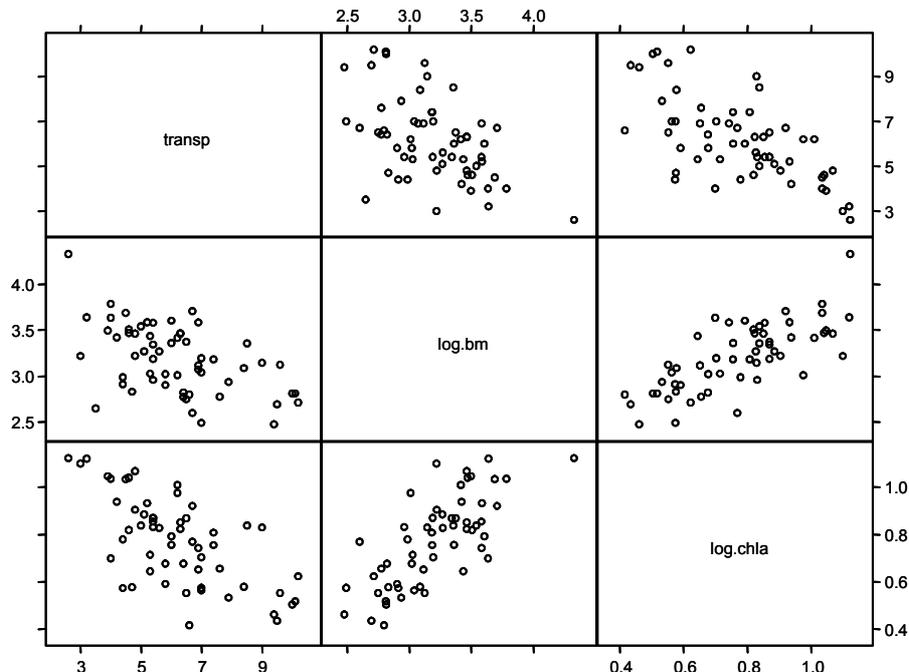


Figure 19 : Corrélations entre la transparence, la biomasse phytoplanctonique et la chlorophylle a sur la couche 0-20 m entre 2001 et 2005 à la station GE3.

Figure 19 : Correlations between the water transparency, phytoplankton biomass and chlorophyll a at a depth of 0-20 m between 2001 and 2005 at station GE3.

La distribution des valeurs de la chlorophylle a et de la biomasse phytoplanctonique est semblable, montrant une corrélation significative ($R^2 = 0.55$). La chlorophylle a représente bien la biomasse phytoplanctonique.

De même, on trouve une corrélation significative entre la chlorophylle a et la transparence ($R^2 = 0.45$) ainsi qu'entre la biomasse phytoplanctonique et la transparence ($R^2 = 0.27$).

En comparant les coefficients de corrélation, on voit que la chlorophylle a est plus proche de la transparence de l'eau que la biomasse phytoplanctonique. Ces mêmes résultats ont déjà été obtenus sur la période de 2000 à 2003 du Petit Lac, mais sur la couche 0-10 m (GALLINA, en préparation).

4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

L'analyse des concentrations en phosphore total dans le Petit Lac entre 2001 et 2005 indique que les valeurs se maintiennent basses (autour de 20 $\mu\text{gP/L}$). La persistance de *Cyclotella bodanica* var. *lemanensis*, espèce associée à des conditions d'oligotrophie, illustre ce phénomène.

En revanche, l'étude du phytoplancton a montré une persistance de biomasses algales annuelles importantes, avec un décalage des concentrations élevées dans la seconde partie du cycle annuel, ainsi qu'une colonisation massive de couches de plus en plus profondes par des espèces filamenteuses.

Ces observations, qui paraissent a priori en contradiction avec l'oligotrophisation des eaux, illustrent le comportement de l'écosystème décrit par ANNEVILLE (2001), soit une sélection d'espèces opérant sur les caractéristiques morphologiques et physiologiques favorisant l'exploitation du phosphore en profondeur.

En effet, certaines algues filamenteuses adaptées aux faibles intensités lumineuses grâce à leurs chloroplastes de grande taille comme chez *Mougeotia gracillima* ou leurs pigments particuliers (phycocérythrine) comme chez *Oscillatoria* cf. *janus*, parviennent à accéder aux nutriments présents à la limite inférieure de la couche trophogène.

Afin d'adapter le suivi du phytoplancton à cette évolution, depuis mai 2005 en plus des échantillons prélevés entre 0 et 20 m, d'autres sont effectués avec une bouteille de prélèvement à 30, 40 et 50 m. Parallèlement, l'analyse de la chlorophylle a est effectuée sur des échantillons d'eau brute prélevés à 0, 2.5, 10, 15, 20 et 30 m et un profil en continu est établi entre 0 et 50 m au moyen d'une sonde multi-paramètres FLNTUB.

Effectuées en collaboration avec l'Unité de télédétection et SIG de l'Université de Genève (Dép. des Sciences de la terre), ces mesures serviront non seulement à affiner le suivi du phytoplancton à la station GE3, mais également à permettre, à l'aide de l'imagerie satellitaire, une vision plus large dans le temps (intervalle entre 2 campagnes) et dans l'espace (régionalisation au Petit Lac).

BIBLIOGRAPHIE

- ANNEVILLE, O. (2001) : Diagnostic sur l'évolution de l'état de santé écologique du Léman par l'analyse des séries chronologiques du phytoplancton. Thèse Uni. C.BERNARD-Lyon I, 253 p. + annexes.
- CIPEL (2002) : Plan d'action 2001-2010 . Tableau de bord technique, 51p.
- GALLINA, N. (en préparation) : Comportement saisonnier du phytoplancton du Petit Lac de 2000 à 2003. Service de l'écologie de l'eau, Département du territoire, Genève.
- LAVIGNE, S. (2005) : Le phytoplancton du Petit Lac, Évolution de 1993 à 2003. Rapport Service cantonal de l'écologie de l'eau, DIAE, Genève, 37 p.
- LAVIGNE, S. et DRUART, J.-C. (2002) : Evolution du phytoplancton du Léman, campagne 2001. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2001, 71-84.
- REVACLIÉ, R. (1996) : Le phytoplancton du Petit Lac : Evolution de 1986 à 1995. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1995, 133-152.
- STRICKLAND, J.D.H. et PARSONS, T.R. (1968) : A practical handbook of seawater analysis. Bull.Fish. Res. Bd Canada, 167, 311 p.
- UTERMOHL, H. (1958) : Toward the improvement of the quantitative phytoplankton method. Mitteilungen-Internationale Vereinigung für Limnologie, 91-38 (In German).
- VAN DAM, H., RERTENS, A. et SINKELDAM, J. (1994) : A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from Netherlands. Netherlands journal of Aquatic Ecology, 28,117-133.

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*