

# ÉVOLUTION DU PHYTOPLANCTON DU LÉMAN

## Campagne 2001

PAR

**Sophie LAVIGNE**

SERVICE CANTONAL D'HYDROBIOLOGIE, CP 78, CH - 1211 GENÈVE 8

**Jean-Claude DRUART**

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

### RÉSUMÉ

*L'année 2001 a été marquée par une très forte augmentation de la biomasse moyenne annuelle du phytoplancton, qui passe de 2'266 mg/m<sup>3</sup> en 2000, à 4'976 mg/m<sup>3</sup> en 2001.*

*91 taxons ont été identifiés dans le Grand Lac, mais seulement neuf espèces ont occupé une place dominante dans la biomasse. Si ce groupe d'espèces est très semblable à celui des années antérieures, leur représentation en terme d'abondance est fort différente cette année. Deux taxons principaux représentent à eux seuls près de 75 % de la biomasse totale : *Mougeotia gracillima* et *Diatoma tenuis*.*

*Les importantes biomasses phytoplanctoniques observées durant l'été aussi bien dans la colonne d'eau de 0-10 m que celles observées de 0-20 m corroborent les résultats de production primaire et de biomasses chlorophylliennes (LEBOULANGER, 2002) également très élevées au-dessous de 10 m de profondeur.*

## 1. INTRODUCTION

L'étude du phytoplancton est réalisée aux stations SHL2 (Grand Lac) et GE3 (Petit Lac), comme les années précédentes. Elle comporte l'analyse de l'évolution qualitative et quantitative des peuplements phytoplanctoniques.

La biomasse chlorophyllienne et la production primaire (LEBOULANGER, 2002), étudiées parallèlement à SHL2, font l'objet de chapitres séparés.

## 2. MÉTHODES

La méthode utilisée en 2001 a déjà été expérimentée en 2000 : le phytoplancton est étudié à partir d'échantillons d'eau intégrés de deux couches différentes, soit : 0-10 m et 0-20 m. Ces prélèvements sont effectués à la station SHL2 avec une cloche intégratrice et à la station GE3 avec un tuyau lesté respectivement de 10 m et 20 m de longueur.

Dans le Grand Lac, 18 campagnes ont été effectuées en 2001, contre 21 l'an dernier. Trois campagnes ont été annulées : une en septembre et deux en décembre, en raison de conditions météorologiques défavorables (cf : chapitre 3). Dans le Petit Lac (station GE3), 12 campagnes ont été effectuées, à raison d'un prélèvement par mois.

L'examen qualitatif et quantitatif est effectué au microscope inversé, après fixation au lugol et concentration des organismes par sédimentation en chambre d'Utermöhl, selon le protocole décrit antérieurement. La biomasse est calculée par addition des biovolumes cellulaires, et exprimée en poids de matière fraîche par mètre cube d'eau.

Les résultats présentés dans ce rapport portent sur la station du Grand Lac (SHL2) et sont essentiellement basés sur la couche 0-10 m. Les résultats concernant la station du Petit Lac (GE3) seront précisés.

Exception faite de quelques brèves comparaisons entre les échantillons prélevés dans la colonne d'eau de 0-10 m et ceux prélevés dans la colonne d'eau de 0-20 m pour les espèces *Mougeotia gracillima*, *Diatoma tenuis* et les biomasses totales annuelles, les résultats concernant ces comparaisons, tant du point de vue qualitatif que quantitatif devraient faire l'objet d'un rapport ultérieur.

### 3. RÉSULTATS

#### 3.1 Biomasses

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

Comme chaque année, on peut distinguer plusieurs phases dans les variations saisonnières du phytoplancton. La figure 1 illustre ces variations en termes de biomasse totale et de biomasse nanoplanctonique; le nanoplancton représentant le groupe d'algues dont la longueur de la cellule ou de la colonie est < 50 µm et le volume < 10'000 µm<sup>3</sup>.

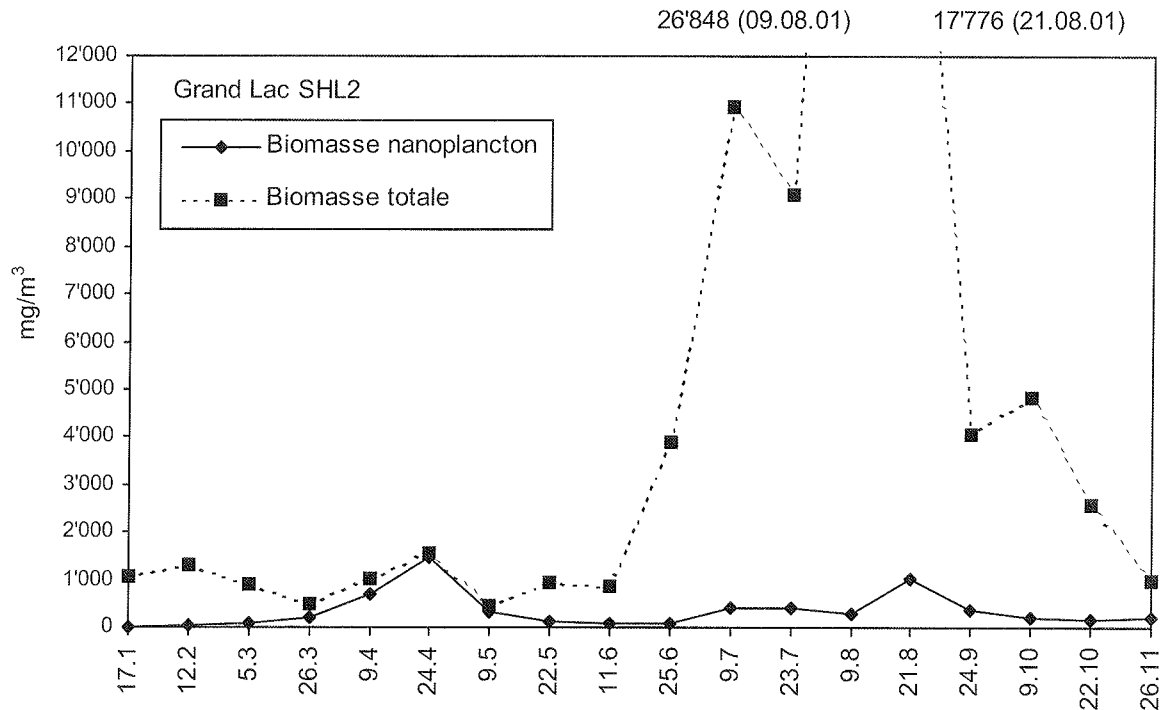


Figure 1: Variations saisonnières de la biomasse totale du phytoplancton et de la biomasse de la fraction nanoplanctonique en 2001 (SHL2)

- La **phase hivernale** est caractérisée par la présence marquée de la diatomée *Tabellaria flocculosa* qui a très nettement dominé les trois premiers mois de l'année, atteignant des valeurs de biomasse importantes pour la saison (1'270 mg/m<sup>3</sup> le 12.02.2001). On observe à la fin du mois de mars une baisse de la production phytoplanctonique avec 490 mg/m<sup>3</sup>, valeur beaucoup plus forte que celle de l'année précédente (30 mg/m<sup>3</sup>) mais qui se rapproche des valeurs antérieures (310 mg/m<sup>3</sup> en 1999).
- La **phase printanière** voit apparaître des espèces nanoplanctoniques typiques de cette période. Le 24 avril, la biomasse a atteint un pic de 1'540 mg/m<sup>3</sup>, composée essentiellement de la petite cryptophycée *Rhodomonas minuta* (1'000 mg/m<sup>3</sup>, soit 65 %). Il est à noter la fin du développement de la diatomée *Tabellaria flocculosa* qui avait montré une colonisation très importante du plancton dès novembre 2000.
- Après la **phase des eaux claires** observée le 9 mai avec une biomasse totale de 455 mg/m<sup>3</sup>, la **phase estivale** débute ensuite nettement entre le 11 et le 25 juin avec une biomasse de 3'875 mg/m<sup>3</sup> dominée par *Ceratium hirundinella* (910 mg/m<sup>3</sup>) et *Dinobryon divergens* (1'120 mg/m<sup>3</sup>). On note ensuite la présence de deux pics de biomasse, le premier le 9 juillet (10'120 mg/m<sup>3</sup>) avec la dominance de la diatomée pennée *Diatoma tenuis* (4'670 mg/m<sup>3</sup>). La conjugée *Mougeotia gracillima*, la cyanophycée *Aphanizomenon flos aquae* et la volumineuse dinophycée *Ceratium hirundinella*, quant à elles, ont des valeurs se situant entre 1'200 et 1'950 mg/m<sup>3</sup>. Le deuxième pic est observé le 9 août (26'850 mg/m<sup>3</sup>). Cette fois, c'est *Mougeotia gracillima* qui prend le dessus par sa grande prolifération (14'070 mg/m<sup>3</sup>), sur *Diatoma tenuis* (11'610 mg/m<sup>3</sup>), 96 % de la biomasse en tout.

La station GE3, représentant le Petit Lac, est elle aussi marquée par une très forte biomasse estivale due en juillet à *Diatoma tenuis* et en août à *Mougeotia gracillima* (figure 2). Le maximum observé dans le Petit Lac est du même ordre de grandeur que dans le Grand Lac (21'220 mg/m<sup>3</sup> le 13 août).

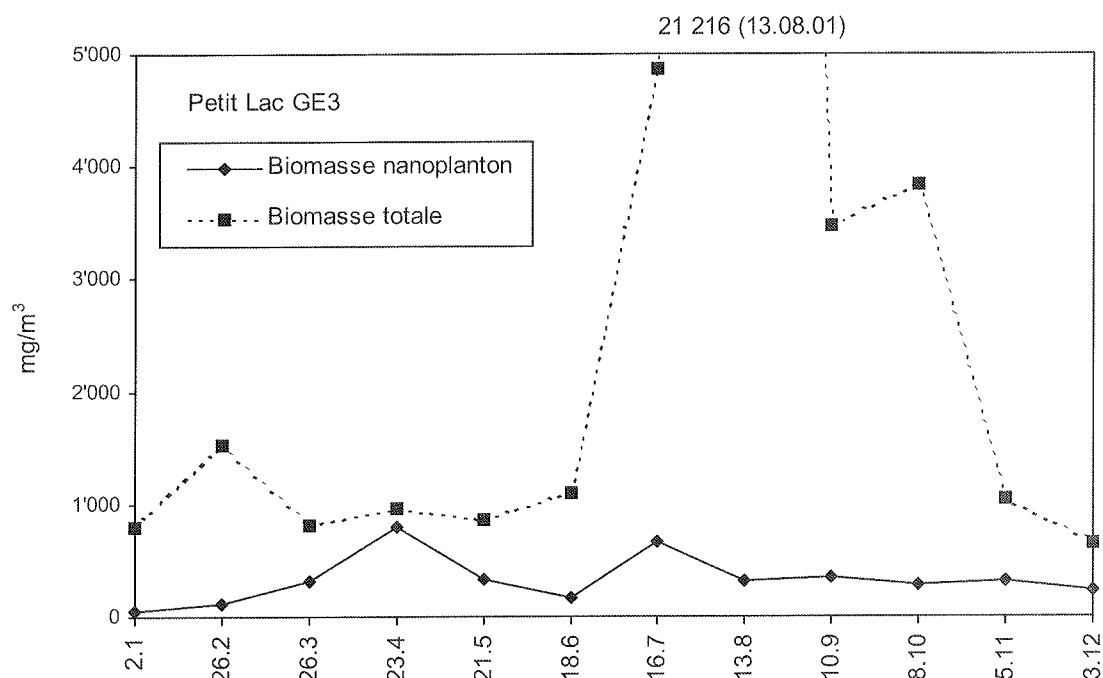


Figure 2 : Variations mensuelles de la biomasse totale du phytoplancton et de la biomasse du nanoplancton en 2001 (GE3)

- La **phase automnale** est caractérisée par un développement toujours assez important de *Mougeotia gracillima* et *Diatoma tenuis* jusqu'au 26 novembre, avec un pic enregistré le 9 octobre (2'385 mg/m<sup>3</sup>) pour *Diatoma tenuis*.
- En 2001, la **phase hivernale** est caractérisée par une nette régression du développement phytoplanctonique par rapport à l'an dernier (982 mg/m<sup>3</sup> le 26.11.2001 contre 2'438 mg/m<sup>3</sup> le 22.11.2000). La cyanobactérie *Planktothrix rubescens* (biomasse de 604 mg/m<sup>3</sup>) est le seul taxon à présenter une biomasse significative pendant cette période.

Compte tenu des trois campagnes d'échantillonnage manquantes (cf : chapitre 2), la biomasse moyenne annuelle de 2001 (moyenne arithmétique) est surévaluée par rapport à celle de l'année dernière. En effet, il faut considérer qu'il s'agit de prélèvements qui sont normalement effectués pendant des périodes de faibles biomasses algales.

Tableau 1 - Biomasses annuelles moyennes, saisonnières et maximales (mg/m<sup>3</sup>) de 1996 à 2001

Année	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Biomasse annuelle moyenne	2'114	2'677	2'435	2'015	2'266	4'976
Biomasse printanière moyenne (BP)	676	750	769	952	659	967
Biomasse estivale moyenne (BE)	3'192	3'448	3'204	2'395	3'255	6'938
BP/BE	0.21	0.22	0.24	0.40	0.20	0.13
Biomasse printanière maximale (mois)	2'271 (4)	1'977 (4)	1'813 (4)	2'703 (4)	2'650 (4)	1'541 (4)
Biomasse estivale maximale (mois)	8'978 (9)	10'347 (9)	9'010 (8)	9'187 (8)	22'258 (8)	26'848 (8)

BP = biomasse moyenne de janvier à la phase des eaux claires (en mai ou en juin, selon les années)

BE = biomasse moyenne de la phase des eaux claires à décembre

(..) = mois où le phénomène s'est produit

L'année 2001 voit une augmentation de la biomasse estivale moyenne (BE) (6'940 mg/m<sup>3</sup> pour 11 échantillons contre 3'255 mg/m<sup>3</sup> pour 13 échantillons l'année précédente) principalement due à la prolifération de *Mougeotia gracillima* et *Diatoma tenuis* (figures 3 et 4).

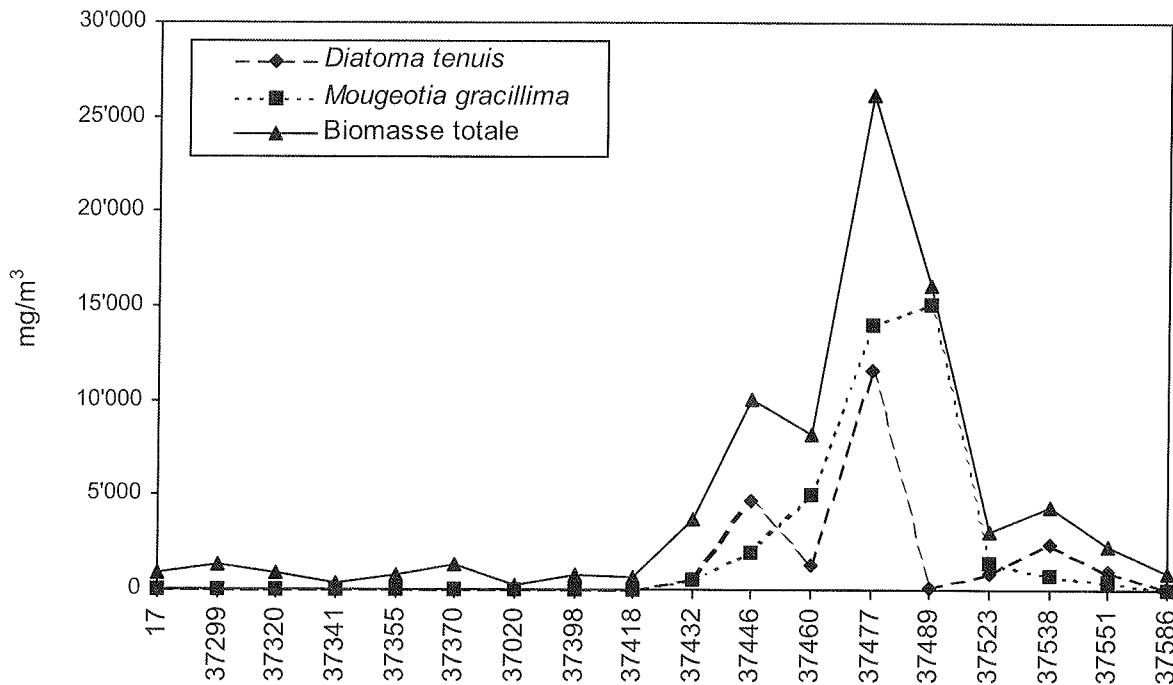


Figure 3 : Variations saisonnières des biomasses de *Mougeotia gracillima* et de *Diatoma tenuis* et de la biomasse totale

En effet, le 9 août, *Mougeotia gracillima* atteint déjà une biomasse de 14'067 mg/m³ et le 21 août culmine à plus de 15'000 mg/m³, alors que *Diatoma tenuis* prolifère pour atteindre une valeur de 11'610 mg/m³ le 9 août, puis s'effondre ensuite le 21 août en présentant une biomasse d'à peine 70 mg/m³.

La biomasse moyenne printanière (BP) (967mg/m³), dominée par les algues nanoplanctoniques, est également en augmentation par rapport à celle de l'année précédente (659 mg/m³), mais très proche de 1999. La moyenne des cinq dernières années (761 mg/m³) se situe entre ces deux valeurs.

La valeur du rapport de la biomasse printanière à la biomasse estivale (BP/BE) est très faible (0.13) ce qui confirme une accentuation majeure du développement de la biomasse estivale par rapport à la biomasse printanière (tableau 1 et figure 4).

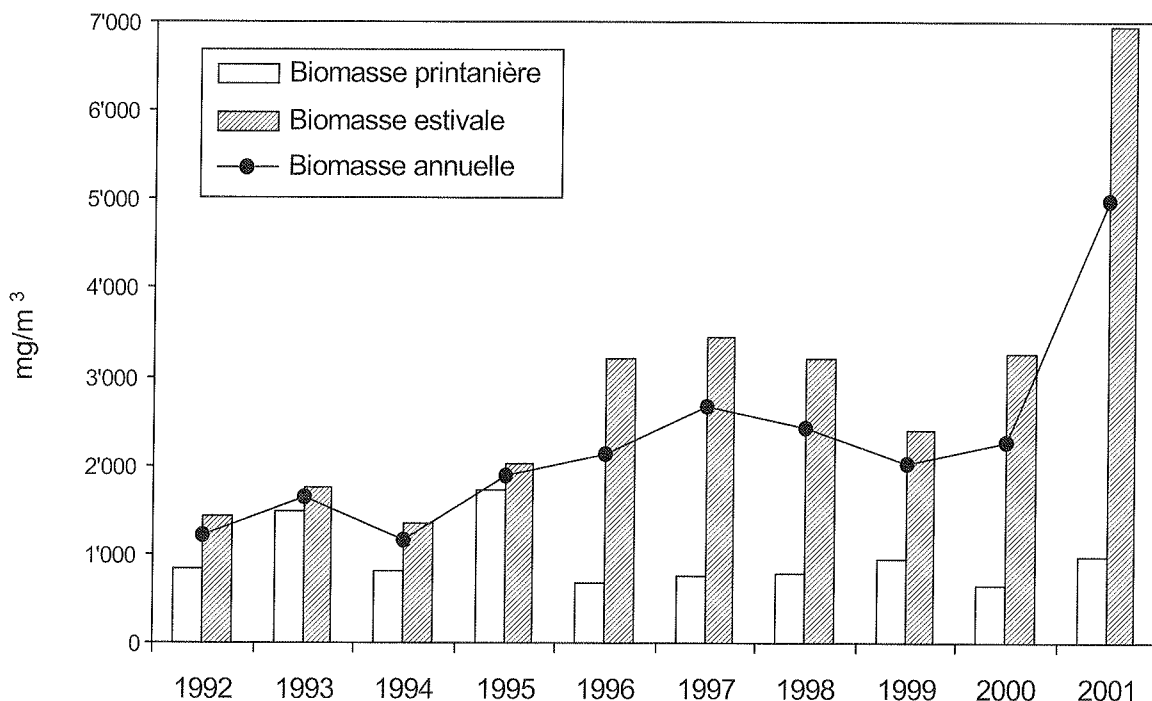


Figure 4 : Evolution des biomasses printanières, estivales et annuelles de 1992 à 2001.

### 3.2 Diversité des espèces du phytoplancton

#### 3.2.1 Richesse taxonomique

En observant le tableau 2, on voit qu'en 2001, 91 taxons ont été identifiés, soit 16 de moins que l'année précédente (107). Ce sont surtout les espèces du microplancton (longueur de la cellule ou de la colonie > 50 µm et volume > 10'000 µm<sup>3</sup>) qui ont fortement régressé.

Deux nouveaux taxons ont été recensés cette année : la xanthophycée filamenteuse *Tribonema cf taetianema* (photo 1 - Annexe 2) et la chrysophycée *Uroglena soniaca* (cette dernière sous la forme de cellules isolées) (photo 2 - Annexe 2). Ces deux espèces sont restées très discrètes.

On peut supposer que le développement excessif des deux taxons microplanctoniques *Mougeotia gracillima* et *Diatoma tenuis* a, durant la période estivale, concurrencé très fortement le développement de certains autres taxons en mobilisant un maximum de nutriments et d'espace.

Tableau 2 - Nombre de taxons de micro et de nanoplancton durant la période 1995-2001

Année	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Nanoplancton	64	67	61	63	59	53	52
Microplancton	80	59	52	63	59	54	39
Total	144	126	113	126	115	107	91

#### 3.2.2 Contribution des classes d'algues et des classes de tailles

La répartition du nombre de taxons en 2001, entre les différentes classes d'algues, ainsi que leur appartenance au nanophytoplancton (longueur de la cellule ou de la colonie < 50 µm et volume cellulaire < 10'000 µm<sup>3</sup>) ou au microphytoplancton (dimensions supérieures) figurent dans le tableau 3.

Tableau 3 - Répartition et comparaison du nombre de taxons de micro et nanophytoplancton entre les différentes classes d'algues en 2001

	Microplancton	Nano	Total
Cyanobactéries	8	1	9
Dinophycées	4	5	5
Cryptophycées	0	4	4
Chrysophycées	3	5	8
Xanthophycées	1	0	1
Diatomées	11	10	21
Chlorophycées	5	27	32
Conjugées	7	0	7
Total	38	53	91

En 2001, on note une baisse du nombre de taxons microplanctoniques chez les cyanobactéries avec, en revanche une augmentation globale de la biomasse. Chez les cryptophycées, le nombre de taxons reste à peu près stable (moins une espèce) mais la biomasse baisse. Le groupe des chrysophycées a perdu en diversité, mais la baisse est surtout importante en termes de biomasse. Pour les diatomées, la biomasse demeure inchangée, mais avec une baisse du nombre d'espèces, tant nanoplanctoniques que microplanctoniques (26 taxons en 2000 contre 21 en 2001). D'importants changements sont observés dans la répartition des classes de taille des chlorophycées, (neuf espèces microplanctoniques en moins et sept espèces nanoplanctoniques en plus par rapport à l'an dernier) tandis que la réduction de biomasse est légère. Pour les conjuguées enfin, les différences s'observent principalement au niveau d'une augmentation importante de la biomasse.

La figure 5 montre qu'en 2000, les chrysophycées (47 %) dominaient largement la population phytoplanctonique devant les diatomées (30 %); cela est principalement dû à la forte production pendant le mois d'août de *Dinobryon sociale* var. *americanum*. Cette année, ce sont les conjuguées qui représentent le plus fort pourcentage (45 %) devant les diatomées (31 %). Les autres groupes se partagent la part restante de manière relativement équitable : les cyanobactéries (7 %), les cryptophycées (3 %), les chrysophycées (4 %), les dinophycées (6 %) et les chlorophycées (1.5 %). On note une augmentation des cyanobactéries qui passent de 2 % en 2000 à 6 % en 2001, représentées essentiellement par les filamenteuses *Aphanizomenon flos aquae* (3,6 %) et *Planktothrix rubescens* (1.7 %).

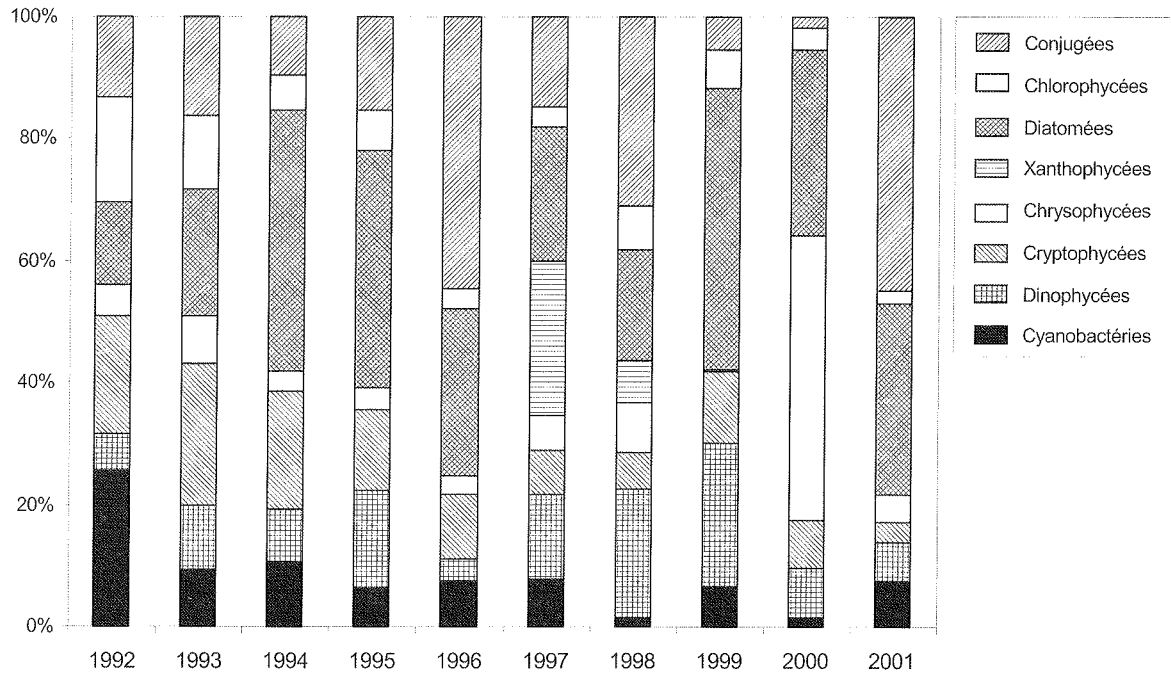


Figure 5 : Répartition de la biomasse algale relative entre les différentes classes d'algues, de 1992 à 2001

La figure 6 illustre les pourcentages moyens alloués à l'un ou l'autre groupe de taille phytoplanctonique depuis 1992.

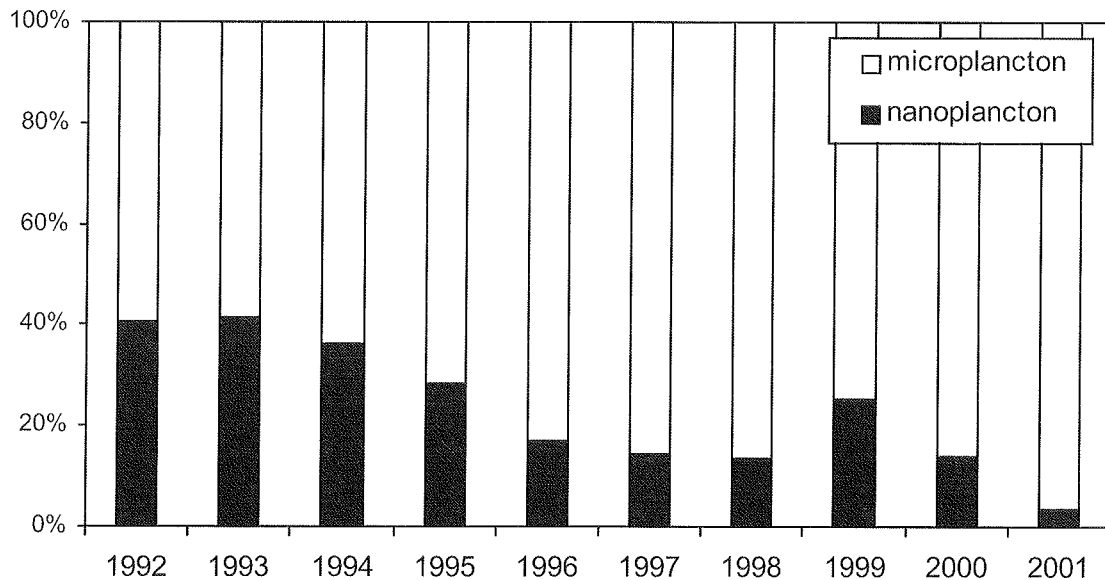


Figure 6 : Evolution de la biomasse relative du nanoplankton et du microplankton de 1992 à 2001

Avec 5 % de moyenne annuelle, la part du nanoplancton régresse encore nettement par rapport à l'année précédente (14 %). Depuis 1992, cette baisse est régulière mais les espèces composant cette biomasse nanoplanctonique sont sensiblement toujours les mêmes.

On peut supposer que cette baisse constante est attribuable à la pression exercée par le zooplancton herbivore qui, de par son mode d'alimentation, ne pourrait s'attaquer à de plus grosses proies. Comme les peuplements phytoplanctoniques printaniers sont essentiellement composés d'espèces nanoplanctoniques, avec leur diminution due au broutage, les espèces microplanctoniques non consommées sont favorisées et peuvent se développer

### 3.2.3 Contribution des principales espèces

En terme de biomasse, sur les 91 taxons inventoriés en 2001, 9 espèces sont abondantes (entre 1 et 6 % de la biomasse annuelle) à très abondantes (> 6 % de la biomasse annuelle) et représentent ensemble 98 % de la biomasse totale du phytoplancton (tableau 4). Les deux espèces majeures représentent à elles seules 75% de cette biomasse (*Mougeotia gracillima* et *Diatoma tenuis*). Elles se sont développées très fortement et de façon concomitante du début juin à la fin de l'année et ont entraîné des problèmes dans le domaine de la pêche professionnelle ainsi que dans les stations de pompage d'eau potable. En effet, les amas formés par les longs filaments de *Mougeotia gracillima* en particulier colmatent les filets, les rendant visibles pour les poissons, et encrassent les filtres des pompes (photos 3 à 6, annexe 2).

Tableau 4 - Biomasse annuelle relative des principaux taxons

	%
<i>Mougeotia gracillima</i>	47.8
<i>Diatoma tenuis</i>	27.4
<i>Ceratium hirundinella</i>	6.2
<i>Tabellaria flocculosa</i>	4.4
<i>Aphanizomenon flos aquae</i>	3.9
<i>Rhodomonas minuta + var</i>	2.6
<i>Dinobryon divergens</i>	2.4
<i>Planktothrix rubescens</i>	1.9
<i>Dinobryon sociale</i>	1.3
Total	98.0

Les deux années précédentes, les espèces principales étaient plus nombreuses, 12 en 2000, et 23 en 1999. L'évolution des espèces dominantes depuis 1996 est présentée au tableau 5 en annexe.

### 3.3 Succession des espèces

Sur la figure 7, on peut relever les éléments suivants :

- *Tabellaria flocculosa*, qui avait montré un très fort développement en fin 2000 (DRUART et al., 2000), perdue fortement durant la première moitié de l'année 2001, puis disparaît quasiment à partir du mois de mai. Les petites espèces qui se développent généralement en avril ont fortement régressé cette année. Il s'agit des cryptophycées nanoplanctoniques *Rhodomonas* sp. et *Cryptomonas* sp., des diatomées centriques *Stephanodiscus minutulus*, *Stephanodiscus alpinus* et *Cyclotella cyclopuncta* et de la chrysophycée *Erkenia subaequiciliata*. D'après les résultats obtenus par les biovolumes printaniers sédimentés, on constate que le développement du zooplancton a été plus précoce en 2001 qu'en 2000 (BALVAY, 2002). Le comportement de ces peuplements zooplanctoniques a sans doute contribué par le broutage précoce du nanophytoplancton aux faibles biomasses de cette fraction du plancton végétal.
- *Dinobryon divergens* apparaît dans les échantillons le 26 mars, commence à dominer le 9 avril et devient réellement dominant entre la fin avril et le début mai. Cette espèce est considérée comme indicatrice de milieux oligotrophes (ANNEVILLE et al., 2001); on remarquera qu'à ce moment de l'année les concentrations en phosphore biodisponible sont déjà très basses dans les couches supérieures (LAZZAROTTO et al., 2002).
- *Mougeotia gracillima* et *Diatoma tenuis* sont présentes de juin à novembre. Le 25 juin, elles ont des biomasses semblables de valeurs relativement modestes. Le 9 juillet, *Diatoma tenuis* augmente sa biomasse et prend le dessus sur *Mougeotia gracillima*, alors qu'à la fin du mois (23 juillet) c'est l'inverse. Le 9 août dans des proportions égales, elles occupent l'espace quasi entièrement. Le 21 août *Diatoma tenuis* disparaît; le phytoplancton est composé presque uniquement par *Mougeotia gracillima*. Les prélèvements de septembre et octobre sont à nouveau caractérisés par la présence des deux taxons dominants.
- *Planktothrix rubescens* apparaît le 24 septembre et persiste jusqu'à la fin de l'année; sa biomasse est relativement importante le 26 novembre.

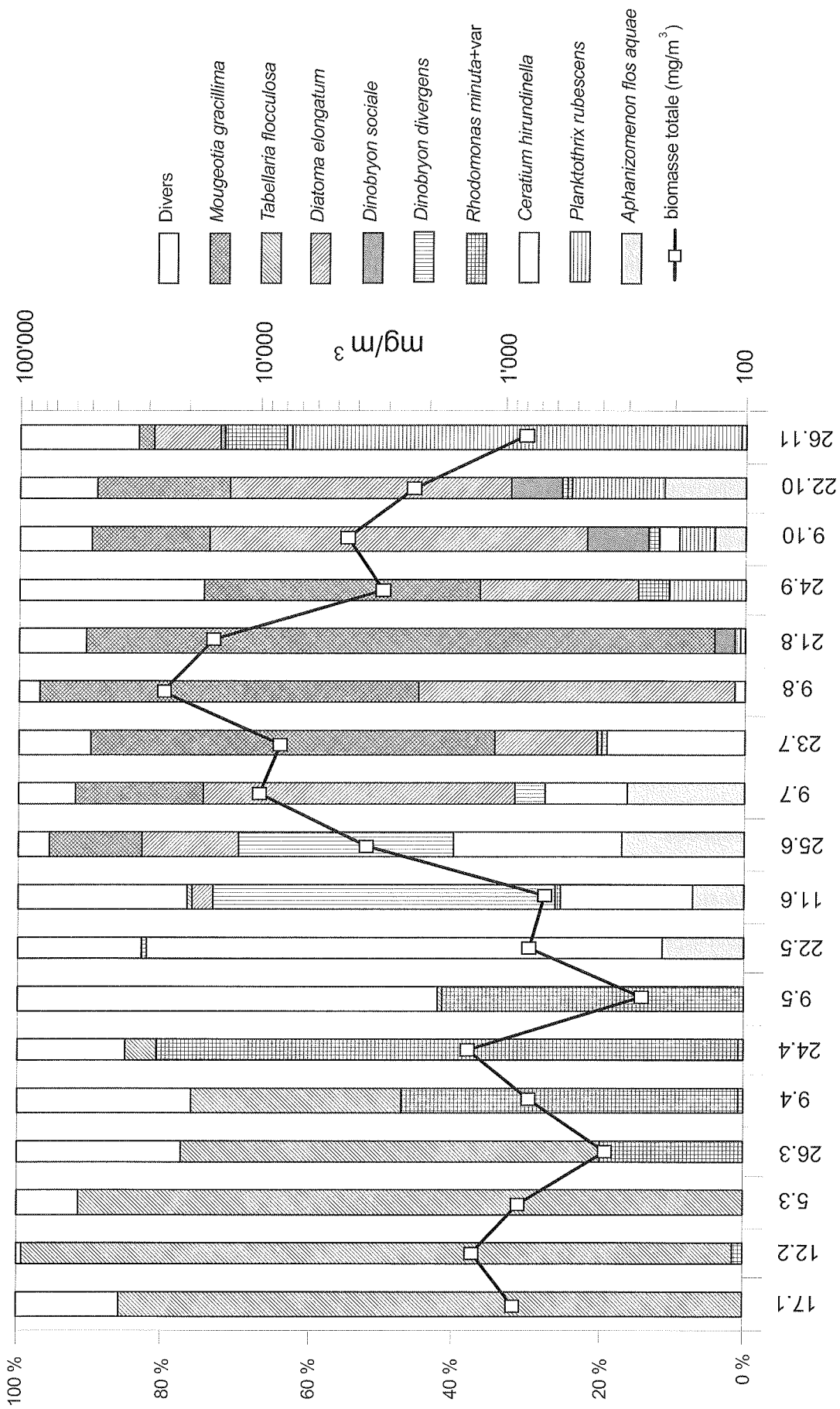


Figure 7 : Succession de la biomasse mensuelle relative des neuf taxons dominants et biomasse totale (Léman SHL2, 2001)



### 3.4 Comparaisons entre les couches 0-10 m et 0-20 m

Comme il a été mentionné au début de ce rapport (chapitre 2, Méthodes), nous ne présenterons ici qu'une brève illustration des différences observées entre les deux profondeurs pour les espèces dominantes, *Mougeotia gracillima* et *Diatoma tenuis* et les biomasses totales. Seront également présentées les différences pour l'espèce printanière nanoplanctonique *Rhodomonas minuta*.

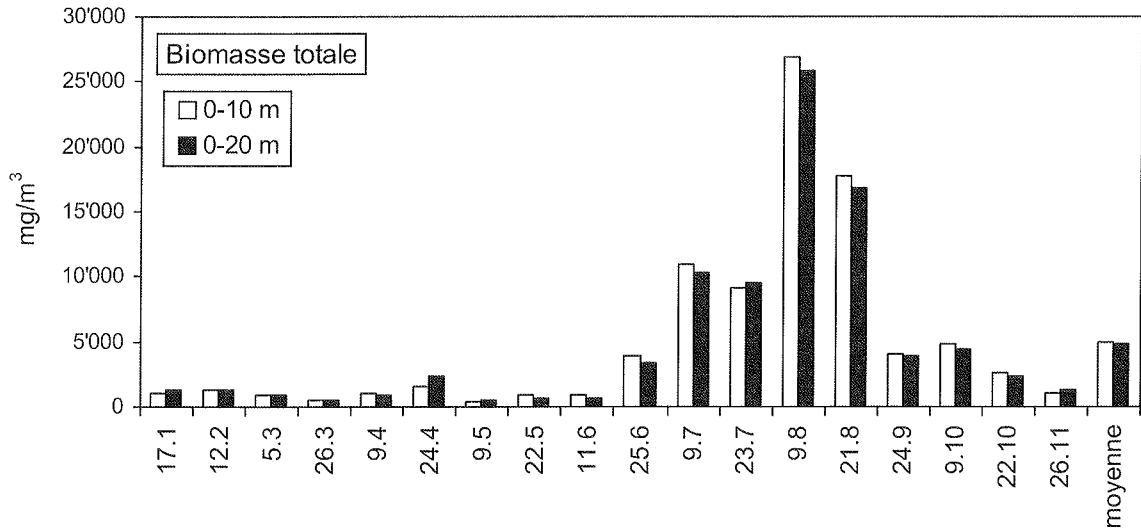


Figure 8 : Evolution des biomasses totales et biomasse moyenne annuelle du phytoplancton dans les couches 0-10 m et 0-20 m en 2001 (SHL2)

Les valeurs de biomasses observées tout au long de l'année 2001 sont assez semblables dans les deux couches échantillonnées, mais en général un peu plus élevées dans la couche 0-10m. Toutefois, des valeurs supérieures ont été enregistrées dans la couche 0-20 m aux dates suivantes: le 17 janvier (+ 20 %), le 26 mars (+ 15 %), le 24 avril (+ 50 %), le 9 mai (+ 7 %) et le 26 novembre (+ 35 %).

Une détermination de la précision de la méthode de dénombrement utilisée permettrait de dire si ces différences sont significatives ou non. On peut supposer que c'est le cas pour le 24 avril avec une différence de 50 % et peut-être pour le 26 novembre avec 35 %.

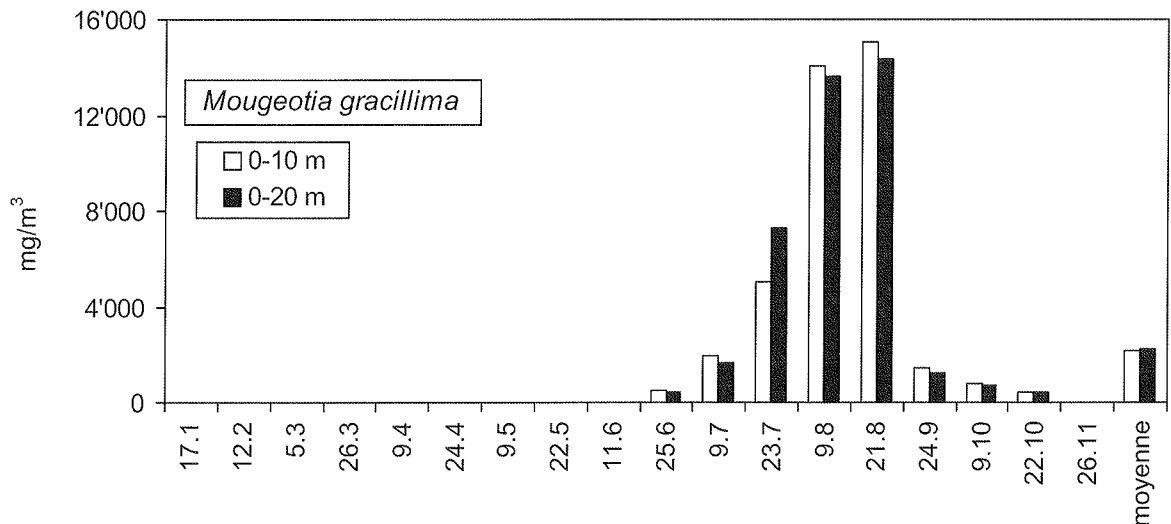


Figure 9 : Evolution des biomasses et moyenne annuelle de *Mougeotia gracillima* dans les couches 0-10 m et 0-20 m en 2001 (SHL2)

Nous pouvons relever une biomasse plus élevée dans la couche 0-20 m le 23 juillet (+ 45 %). Les autres valeurs pour *Mougeotia gracillima* ne sont pas significativement différentes dans les deux strates.

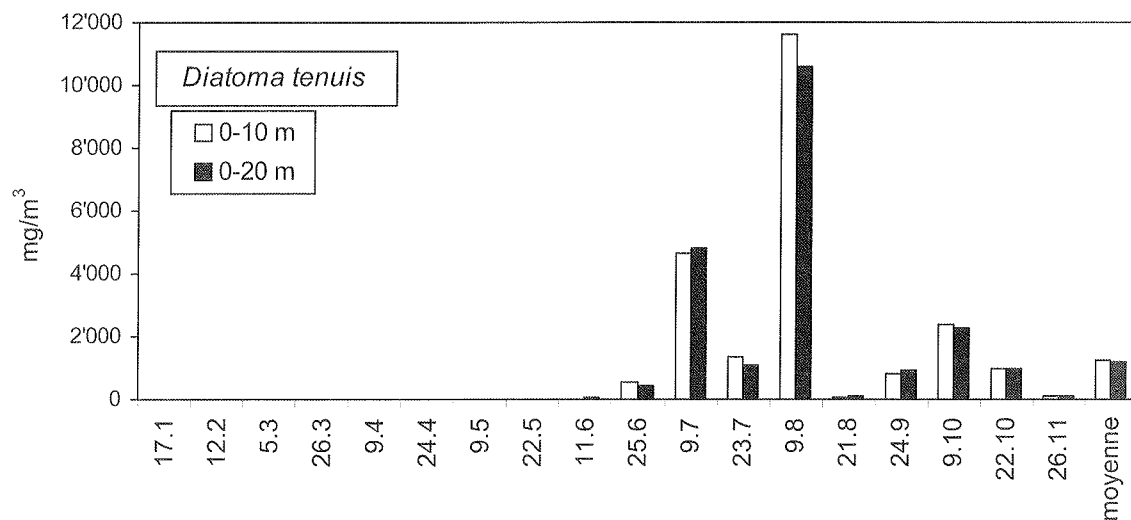


Figure 10 : Evolution des biomasses et moyenne annuelle de *Diatoma tenuis* dans les couches 0-10 m et 0-20 m en 2001 (SHL2)

Pour *Diatoma tenuis*, les différences sont moins importantes que pour *Mougeotia gracillima*. A la fin du mois d'août, on enregistre 30 % de plus en profondeur. Les autres valeurs demeurent semblables tout au long de l'année.

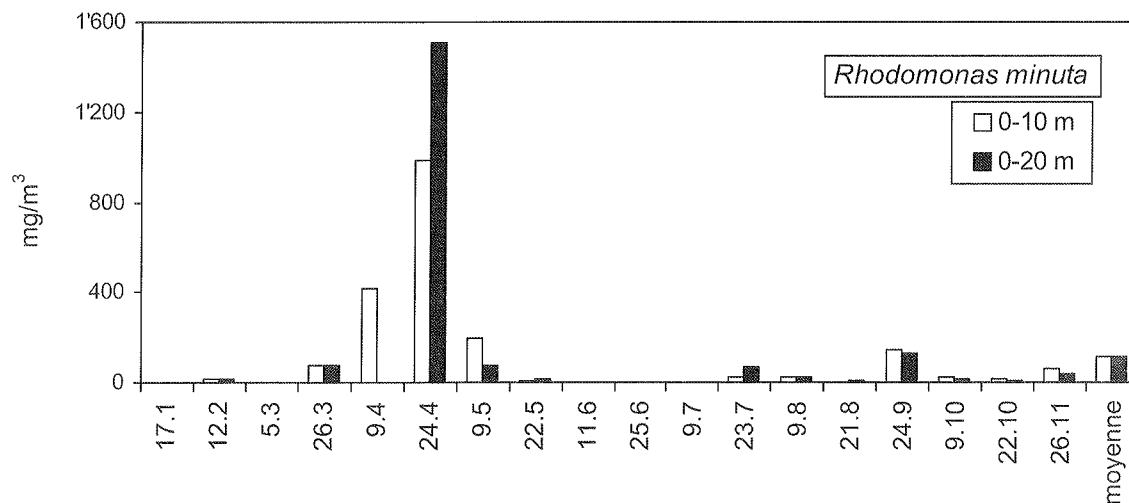


Figure 11 : Evolution des biomasses et moyenne annuelle de *Rhodomonas minuta* dans les couches 0-10 m et 0-20 m en 2001 (SHL2)

Le 24 avril, *Rhodomonas minuta* s'est développée nettement plus en profondeur. Nous avons observé une biomasse supérieure de 54 % à celle obtenue dans la couche 0-10 m, ce qui est probablement une différence significative.

En observant les profils 0-30 m pour la répartition de la biomasse phytoplanctonique (exprimée en  $\text{mg chl}a/\text{m}^3$ ) et de la production primaire (exprimée en  $\text{mg C}/\text{m}^2$ ) (LEBOULANGER 2002), on peut faire un parallèle avec la distribution des espèces phytoplanctoniques. En effet, les pics de chlorophylle a observés en juillet et en août s'enfoncent à près de 20 m et semblent donc correspondre aux fortes biomasses enregistrées chez *Mougeotia gracillima* et *Diatoma tenuis*.

A la fin du mois d'avril, la production primaire atteint de très fortes valeurs et coïncide avec les fortes biomasses obtenues par *Rhodomonas minuta*. Nous pouvons supposer que la plus grande biomasse de cette chrysophycée en profondeur est le résultat d'une prédation zooplanctonique qui s'exercerait davantage en surface.

Les concentrations en phosphore dissous  $\text{PO}_4^{3-}$  ( $\mu\text{gP}/\text{l}$ ) enregistrées en 2001 (LAZZAROTTO et al., 2002), donnent également des indications qui peuvent nous aider à comprendre les grandes tendances de la distribution des espèces de phytoplancton dans la colonne d'eau. En janvier et février, les concentrations se situent uniformément autour de  $17 \mu\text{gP}/\text{l}$ . En mars, les valeurs augmentent et seront les plus élevées de l'année; (entre environ 18 et  $25 \mu\text{gP}/\text{l}$  de 10 à 20 m), les concentrations les plus fortes se trouvant vers la surface. On observe une diminution de ces concentrations à partir de la fin du mois de mars, et principalement en surface : cette période correspond à une consommation intensive en éléments nutritifs inorganiques par les producteurs primaires printaniers. Suite à cette consommation, vers la fin du mois d'avril, on voit une baisse des concentrations en phosphore dissous dans toute la colonne d'eau. Une remontée des valeurs, due à la remise en circulation des éléments nutritifs (mort et décomposition du plancton, apport provenant des couches plus profondes, etc.) a lieu à la fin mai. Avec la production phytoplanctonique estivale, les concentrations se maintiennent assez basses entre la surface et 20 m jusqu'à l'automne. Enfin, elles remontent à fin octobre grâce à une seconde remise en circulation des éléments nutritifs.

La comparaison des prélèvements effectués dans les strates 0-10 m et 0-20 m montrent que les différentes biomasses sont sensiblement identiques dans chaque strate.

### 3.5. Le Petit Lac (station GE3)

Nous avons présenté les "variations saisonnières de la biomasse totale du phytoplancton et de la biomasse du nanoplancton" pour la station GE3 (figure 3). On peut y voir une courbe semblable à celle présentée à la figure 1 (SHL2). En effet, dans l'ensemble, les résultats enregistrés pour l'année 2001 entre ces deux stations n'ont pas présenté de différences significatives, tant au niveau qualitatif que quantitatif. Pour avoir plus de renseignements sur le Petit lac, on peut se référer au rapport de REVACLIER (2001) "Le phytoplancton du Petit Lac" (évolution de 1996 à 2000).

## 4. CONCLUSIONS

L'année 2001 a été marquée par la prolifération importante de *Mougeotia gracillima*, espèce typiquement filamenteuse et, une diatomée capable de former de longues chaînes de cellules. Cette prolifération s'est maintenue à des valeurs très élevées et la biomasse totale du 9 juillet au 21 août a atteint des valeurs comprises entre  $10'000$  et  $26'000 \text{ mg}/\text{m}^3$ .

Une interprétation de ce phénomène d'accumulation de biomasse a été donnée par ANNEVILLE et al. (2001) dans le cadre du modèle conceptuel élaboré dans le travail cité. Le réchauffement précoce des températures remarqué depuis quelques années a perturbé la succession saisonnière habituelle du phytoplancton. Avec des conséquences en chaîne clairement décrites dans le modèle cité plus haut; cela a entraîné la précocité de la prolifération de ces deux algues. Il s'agit en effet d'espèces de type automnal qui sont apparues au cœur de l'été. Ces deux taxons, capables de se développer sous de faibles intensités lumineuses, arrivent à trouver des conditions favorables en nutriments (phosphore) et en lumière en profondeur. A ces niveaux, ces algues subissent peu de compétition par d'autres espèces algales et, étant de grande taille, sont très peu broutées par le zooplancton; de ce fait elles tendent à s'accumuler dans la zone qu'elles colonisent, surtout en période de stabilité du plan d'eau due à la faiblesse des périodes venteuses. (QUETIN et COLON, 2002)

En 2000, ce phénomène d'une durée plus courte qu'en 2001, s'était produit avec *Dinobryon sociale* var *americanum*, algue également décrite dans le modèle conceptuel. Cette espèce mixotrophe (capable d'exploiter des apports en carbone organique et inorganique), est adaptée aux conditions environnementales rencontrées actuellement en été dans le Léman. Cependant, de par sa morphologie, elle n'a pas la capacité de former des filaments et l'impact de son accumulation avait donc été de moindre importance.

Ce mode de développement du phytoplancton conduit à un paradoxe auquel on assiste depuis 1990, c'est-à-dire d'une part une évolution physico-chimique à tendance méso-oligotrophe avec une diminution du phosphore disponible, et d'autre part, une augmentation de la production algale qui signe un état eutrophe pour le Léman.

Il faudra probablement atteindre des concentrations encore plus basses en phosphore dissous, pour que cet élément devienne vraiment "limitant" et voir ainsi la biomasse phytoplanctonique présenter une courbe descendante, particulièrement en été.

## BIBLIOGRAPHIE

- ANNEVILLE, O., ANGELI, N., GINOT, V. et PELLETIER, J.-P. (2001) : Ambiguïté sur l'état trophique du Léman: vers un indice fondé sur les associations d'espèces. In : Etat de santé des écosystèmes aquatiques.- De nouveaux indicateurs biologiques, CEMAGREF (ed), France, 153-175.
- ANNEVILLE, O., ANGELI, N., GINOT, V. (2001) : Evolution de l'état de santé du Léman par l'analyse des séries chronologique du phytoplancton. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2000, 161-189.
- BALVAY, G. (2002) : Aperçu sur le zooplancton du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2001.
- DRUART, J.-C., REVACLIER, R., CAUZZI, N. et LAVIGNE, S. (2001) : Evolution du phytoplancton du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2000, 81-90.
- LAZZAROTTO, J., RAPIN, F. et CORVI, C. (2002) : Evolution physico-chimique et recherche de métaux et de quelques micropolluants dans les eaux du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2001.
- LEBOULANGER, C. (2002) : Dynamique de la production phytoplanctonique et de la biomasse chlorophyllienne dans le Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2001.
- QUETIN, P. et COLON, M. (2002) : Météorologie. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2001.
- REVACLIER, R. (2001) : Le phytoplancton du Petit Lac. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2000, 90-108.

Tableau 5 - Biomasse relative des espèces les plus abondantes (Léman SHL 2, 1996 à 2001)

	1996	1997	1998	1999	2000	2001
<b>CYANOBACTÉRIES</b>						
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	1.1*	0.3	0.1	0.01	0.8	3.6*
<i>Planktothrix rubescens</i>	2.7*	6.6**	0.5	1.0*	0.0	1.7*
<i>Oscillatoria limnetica</i>	1.2*	0.2	0.1	1.7*	0,2	0.7
<i>Pseudanabaena galeata</i>				2.9*	0,3	0.7
<b>DINOPHYCÉES</b>						
<i>Gymnodinium helveticum</i>	1.0*	1.0*	0.3	1.0*	0.9	0.3
<i>Peridinium willei</i>	0.5	2.2*	0.6	2.2*	0.0	0.3
<i>Ceratium hirundinella</i>	2.0*	10.1**	19.5**	16.2**	6.9**	5.7*
<b>CRYPTOPHYCÉES</b>						
<i>Cryptomonas</i> spp	5.4*	2.3*	3.0*	6.5**	2.1*	0.7
<i>Rhodomonas minuta</i>	2.9*	2.7*	1.9*	3.4*	4.4*	2.2*
<i>Rhodomonas minuta</i> var. <i>nannoplanctica</i>	2.6*	2.2*	1.1*	1.4*	1.1*	0.3
<b>CHRYSOPHYCÉES</b>						
<i>Dinobryon sociale</i>	1.8*	5.4*	4.9*	1.2*	45.5**	2.0*
<i>Dinobryon divergens</i>		3.1	3.1*	0.7	0.9	2.2*
<b>DIATOMÉES</b>						
<i>Stephanodiscus neoastraea</i>	0.6	0.2	0.3	1.7*	0.3	0.3
<i>Stephanodiscus minutulus</i>	1.0	1.7*	0.0	2.2*	1.5*	0.0
<i>Diatoma elongatum</i>	19.1**	13.8**	9.1**	26.2**	1.5*	25.1**
<i>Fragilaria crotonensis</i>	3.9*	1.2*	1.9*	7.8**	7.3**	0.3
<i>Asterionella formosa</i>	1.1*	3.2*	3.4*	1.8*	1.2*	0.2
<i>Synedra acus</i> var. <i>angustissima</i>	1.2*	0.1	0.9	1.1*	0.3	0.2
<i>Cyclotella radiosa</i>	0.4	0.9	1.2*	0.0	0.0	0.1
<i>Cyclotella cyclopuncta</i>	0.2	0.0	0.4	2.0*	0.9	0.7
<i>Tabellaria flocculosa</i>		0.5	0.6	0.5	15.3**	4.1*
<b>CHLOROPHYCÉES</b>						
<i>Chlamydomonas</i> sp	0.4	0.9	1.7*	1.4*	0.0	0.2
<b>XANTHOPHYCÉES</b>						
<i>Tribonema ambiguum</i>	1.0*	25.1**	6.9**	0.1	0.0	0.0
<i>Tribonema</i> cf <i>taetianema</i>					0.0	0.9
<b>CONJUGUÉES</b>						
<i>Mougeotia gracillima</i>	37.9**	10.3**	24.4**	1.9*	0.2	44.0*
<i>Staurastrum cingulum</i>	1.3*	0.5	5.1*	1.4*	1.0*	0.2

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

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

ANNEXE 2

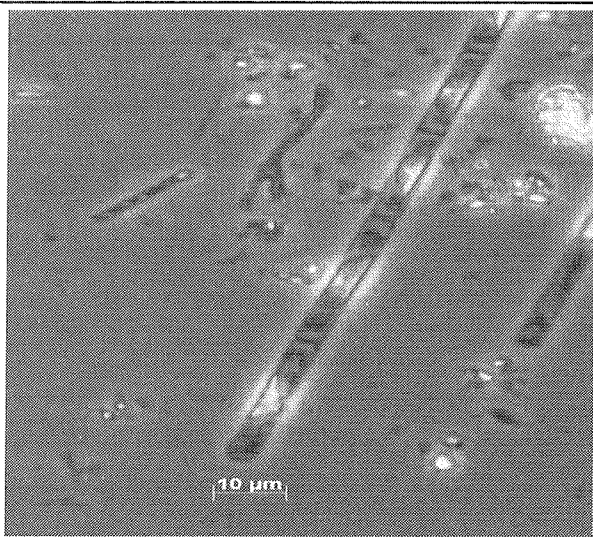


Photo 1 : *Tribonema cf taetianema*

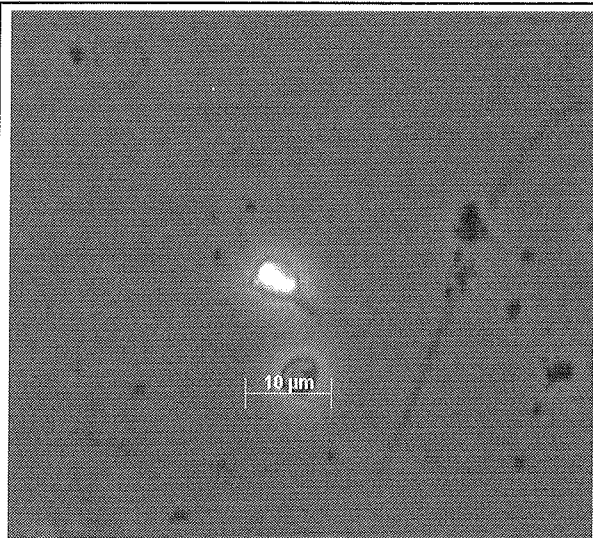


Photo 2 : *Uroglena soniaca* (cellule isolée)

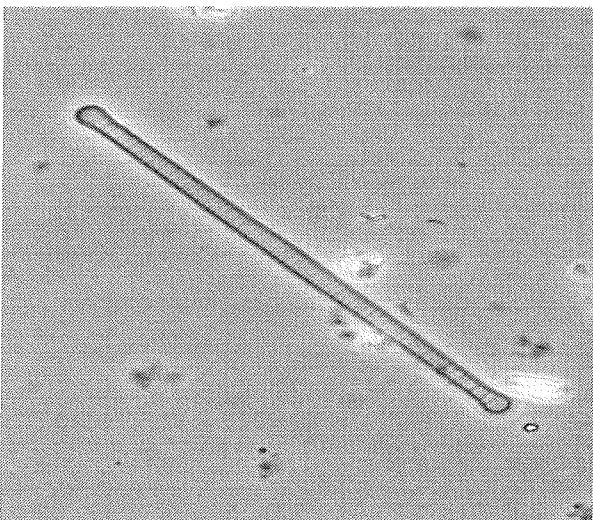


Photo 3 : Cellule solitaire de *Diatoma tenuis*

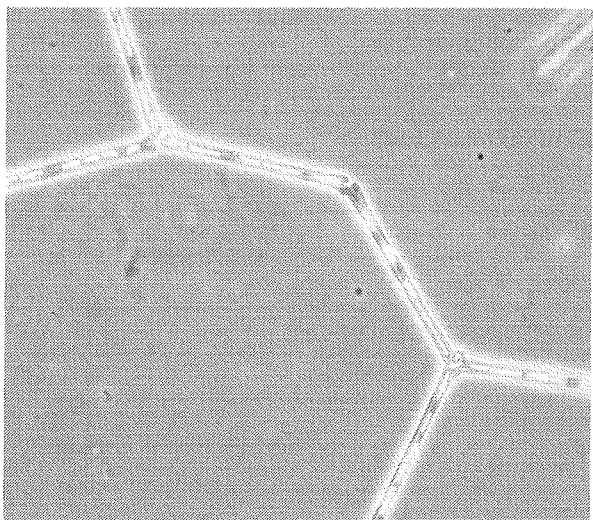


Photo 4 : Disposition en filament de *Diatoma tenuis*

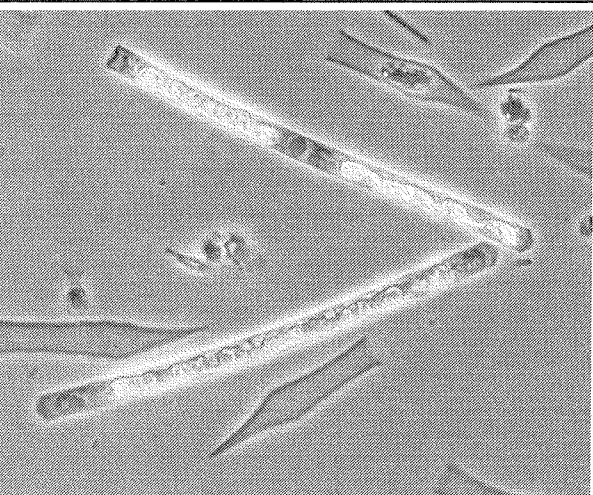


Photo 5 : Cellules solitaires de *Mougeotia gracillima*

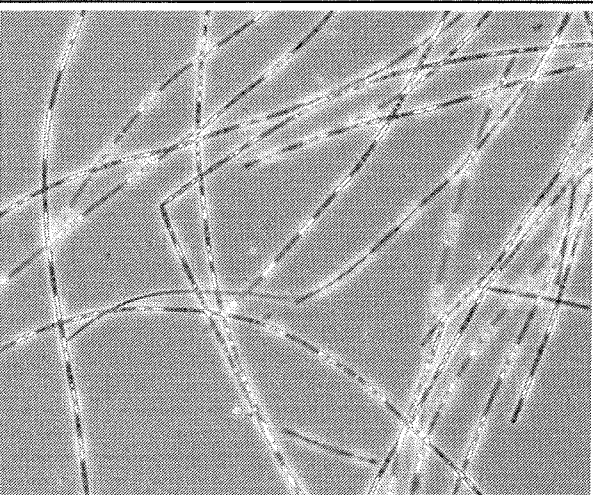


Photo 6 : Filaments formés par plusieurs *Mougeotia gracillima*