

LE PHYTOPLANCTON DU PETIT LAC ¹

Campagne 2000

PAR

Roger REVACLIER

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

RÉSUMÉ

L'étude du phytoplancton du Petit Lac (Léman, GE 3) à partir d'échantillons d'eau brute intégrés de 0 à 10 m de profondeur, commencée en 1977 s'est poursuivie. Les résultats de la période 1996 à 2000 sont présentés.

66 à 80 % de la biomasse a été produite par 15 espèces sur 107 inventoriées pendant cette période.

*Parmi elles, on citera la diatomée *Diatoma tenuis* et la conjuguée *Mougeotia gracillima*.*

*Les cyanobactéries sont restées discrètes. Le nanoplancton, important surtout au printemps, est dominé par les cryptophycées (*Rhodomonas* sp) et les diatomées (*Stephanodiscus minutulus*).*

Les concentrations en chlorophylle ont atteint des valeurs proches de celles des années 1986 à 1988, en augmentation par rapport à celles des années 1990-1991.

*Les espèces considérées comme caractéristiques de milieux oligotrophes sont toujours bien présentes (*Cyclotella* spp) dans les eaux du Petit Lac.*

Après une phase de diminution, les concentrations moyennes en phosphore biodisponible sont restées relativement constantes depuis 1996.

Paradoxalement, les biomasses annuelles moyennes ont tendance à augmenter du fait de l'augmentation des biomasses estivales et automnales. Ces biomasses sont dues à des espèces adaptées aux faibles éclaircissements et ainsi capables de puiser leur phosphore à de plus grandes profondeurs, là où cet élément est moins limitant, et aussi à des espèces aptes à utiliser de très faibles quantités de phosphore. De plus, la plupart de ces espèces sont peu consommées par le zooplancton et peuvent donc s'accumuler.

1. INTRODUCTION

Ce rapport fait suite au rapport publié en 1996 sur l'évolution décennale du phytoplancton du Petit Lac de 1986 à 1995 (REVACLIER, 1996).

Les conclusions générales étaient alors que l'ensemble des observations indiquait que le processus d'eutrophisation du Petit Lac s'était inversé et que l'installation de conditions mésotrophiques, constatées dans le Grand Lac, était confirmée dans le Petit Lac.

De nombreux prélèvements et des analyses de plancton ont aussi été effectués dans le Petit Lac par NAEF et al. (1999).

2. MÉTHODES

Les mesures de transparence au disque de Secchi et tous les échantillons ont été prélevés à la station GE 3, située au-dessus d'une fosse lacustre de 72 m de profondeur au large d'Hermance, avec une fréquence mensuelle soit douze prélèvements par an. Les prélèvements d'eau ont été effectués à l'aide d'une bouteille de prélèvement de 3 litres de type "van Dorn".

Le phytoplancton et la concentration en chlorophylle a ont été étudiés et analysés à partir d'échantillons d'eau de la couche 0-10 m prélevés à l'aide d'un tuyau lesté de 10 m de longueur.

¹ Les données ont été obtenues dans le cadre de la surveillance du Petit lac effectuée par le Service cantonal d'hydrobiologie de Genève.

2.1 Phytoplancton

L'examen qualitatif et quantitatif est effectué au microscope inversé, après fixation au lugol et concentration des organismes par sédimentation en chambre d'Utermöhl. 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 cumul des biovolumes cellulaires et exprimée en poids de matière fraîche ramenée au m³ d'eau.

Le biovolume unitaire (cellule, colonie ou filament de 100 µm) selon la morphologie des algues figure au tableau 1. Les biovolumes utilisés ont été calculés par PELLETIER et DRUART (non publiés, Station d'hydrobiologie lacustre, INRA-UMR/CARTELE, Thonon), ils sont donc identiques à ceux de l'étude du phytoplancton du Grand Lac.

2.2 Dosage de la chlorophylle a

La concentration en chlorophylle a est mesurée par analyse au spectrophotomètre après séparation du phytoplancton sur filtre (nitrate de cellulose, 0.6 µm de porosité) et extraction des pigments cellulaires dans un mélange hydro-acétonique (10/90) selon la méthode développée par STRICKLAND et PARSONS (1968).

2.3 Volume de zooplancton

Les échantillons sont prélevés à l'aide d'un filet standardisé de 200 µm de vide de maille selon un trait vertical de 50 m de profondeur à la surface, à une vitesse d'environ 0.5 m par seconde. La conservation de l'échantillon est assurée par l'addition de formol (concentration finale 6 %). Le volume récolté est mesuré après 24 heures de sédimentation en entonnoir gradué et est exprimé en ml/m³.

3. RÉSULTATS

3.1 Transparence

L'évolution de la transparence est présentée à la figure 1.

Cette évolution est marquée, de façon classique, par une succession de grande transparence en hiver suivie de faibles valeurs au printemps et en été/automne, avec un épisode intermédiaire, la phase dite des "eaux claires" où la transparence augmente.

Cette évolution est liée au développement du plancton.

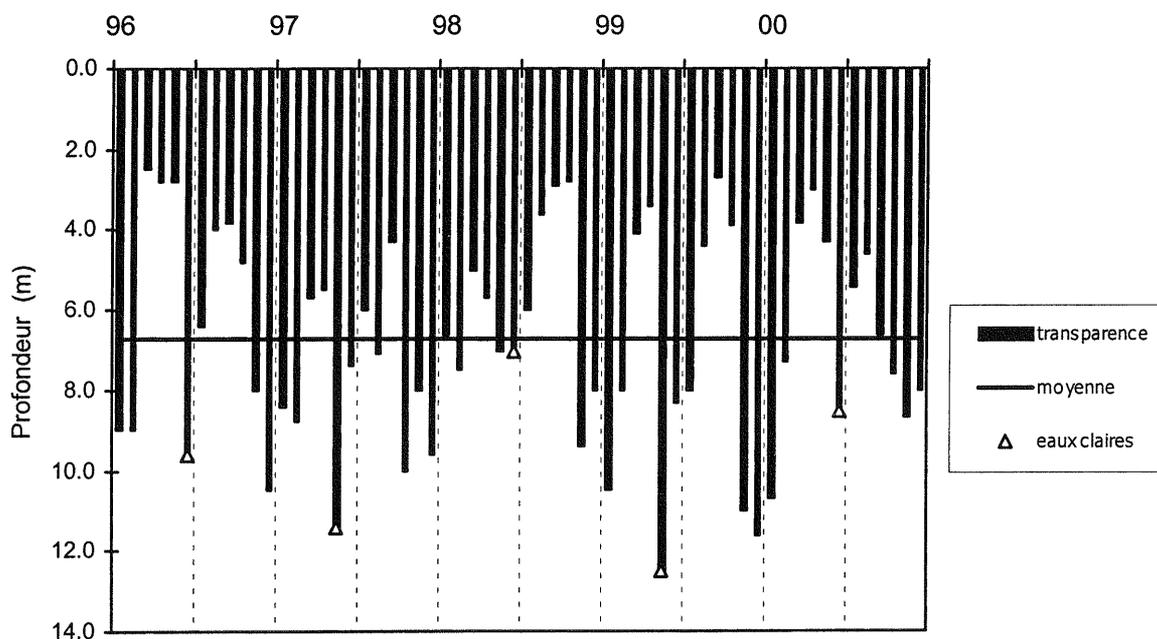


Figure 1 : Evolution de la transparence au disque de Secchi (Léman, GE3, 1996-2000)

Avec une valeur de 6.7 m, la moyenne des transparences de 1996 à 2000 n'est pas significativement différente de celle des périodes quinquennales précédentes 1986-1990 et 1991-1995 (tableau 1) : on note une diminution de 3% entre les périodes 86-90 et 96-00.

TABLEAU 1 - Transparence : moyenne quinquennale, moyenne quinquennale des minimums et des maximums de 1986-1990, 1991-1995 et 1996-2000 (Léman, GE 3)

Période	Moyenne	Moyenne des minimums	Moyenne des maximums
1986 -1990	6.9	2.4	12.1
1991 - 1995	6.7	2.8	10.5
1995 - 2000	6.7	3.1	10.9

De même la comparaison des moyennes quinquennales des minimums et des maximums ne montre pas d'évolution significative entre les 3 périodes considérées.

3.2 Phytoplancton

3.2.1 Richesse spécifique

Le tableau 2 montre l'évolution du nombre de taxons observés pour les différentes classes d'algues de 1996 à 2000 et le cumul des observations sur 3 périodes de 5 ans.

TABLEAU 2 - Evolution du nombre de taxons observés par classes de 1996 à 2000 et cumuls quinquennaux 1986-1990, 1991-1995 et 1996-2000 (Léman GE 3)

Classes	1996	1997	1998	1999	2000	cumul	cumul	cumul
						86 - 90	91 - 95	96 - 00
Cyanobactéries	5	4	5	7	7	7	9	8
Dinophycées	5	5	6	7	6	7	7	7
Cryptophycées	4	4	4	4	5	5	5	5
Chrysophycées	3	3	4	4	4	4	6	4
Xanthophycées	1	1	1	1		0	0	1
Diatomées	18	11	13	17	19	17	20	21
Chlorophycées	31	22	23	34	31	48	47	52
Conjugées	6	7	4	6	7	13	12	9
Total	73	57	60	80	79	101	106	107

Le nombre de taxons observés entre 1996 et 2000 varie de 57 (1997) à 80 (1999). En cumul des 5 années, on compte 107 taxons, nombre très proche de celui des 2 périodes quinquennales précédentes, respectivement 101 et 106.

Parmi les 126 taxons signalés entre 1986 et 1995, 30 n'ont pas été retrouvés durant la période 1996-2000. Par contre, 11 taxons nouveaux ont été observés. Parmi ces derniers, 2 seulement se sont exprimés par une abondance significative, il s'agit de la xanthophycée filamenteuse *Tribonema ambiguum* et d'une très petite chlorophycée en colonie appartenant au genre *Choricystis* sp.

La classe d'algues la plus diversifiée est celle des chlorophycées, suivie par celle des diatomées; cette observation s'applique à tout le Léman (DRUART et al., 2001).

3.2.2 Fréquence et abondance des divers taxons

Le tableau 3 donne l'abondance annuelle moyenne des taxons, leur nom et leurs principales caractéristiques : unités de comptage, biovolume, groupe de taille (nanoplancton ou microplancton).

TABLEAU 3 - Inventaire des taxons du phytoplancton et abondance annuelle moyenne (i = individus; c = colonie; f = filament; m = microplancton; n = nanoplancton; 0.0 = espèce présente avec une moyenne inférieure à 0.1; cellule vide = espèce absente) (Léman, GE3)

Espèces	biovolume (μm^3)	unité	taille	abondance moyenne (unités/ml)				
				1996	1997	1998	1999	2000
CYANOBACTÉRIES								
<i>Anabaena macrospora</i>	180	i	m					0.0
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	1'960	f	m	1.2	0.7	0.3	1.0	13.2
<i>Aphanothece clathrata</i>	5'240	c	m	1.6		10.8	5.9	4.6
<i>Aphanothece saxonica</i>	5'240	c	m					
<i>Oscillatoria bourellyi</i>	2'800	f	m				0.0	
<i>Oscillatoria limnetica</i>	280	f	m	34.3	3.5		44.7	18.0
<i>Oscillatoria limnetica aci.</i>	280	f	m			17.1	59.5	5.0
<i>Planktothrix rubescens</i> (= <i>Oscillatoria r.</i>)	2'800	f	m	8.0	13.6	6.3	0.5	0.0
<i>Pseudanabaena galeata</i>	280	f	m	7.2	0.0	17.6	64.1	14.0
DINOPHYCÉES								
<i>Ceratium hirundinella</i>	40'000	i	m	0.9	0.5	2.5	3.9	1.8
<i>Gymnodinium excavatum</i>	11'000	i	n	0.0		0.0	0.0	0.0
<i>Gymnodinium helveticum</i>	6'200	i	n	3.5	1.7	1.6	1.1	2.0
<i>Gymnodinium lantzschii</i>	210	i	n	2.0	5.8	0.3	3.0	2.3
<i>Peridiniopsis cuningtonii</i>	8'800	i	n		0.0	0.0	1.2	0.2
<i>Peridinium sp</i>	31'000	i	m				0.0	
<i>Peridinium willei</i>	33'000	i	m	0.2	0.7	0.6	0.7	0.3
CRYPTOPHYCÉES								
<i>Cryptomonas marsonii</i>	1'200	i	n					0.2
<i>Cryptomonas rostratiformis</i>	2'570	i	m	0.0	0.0	1.0	0.1	0.2
<i>Cryptomonas spp</i>	1'350	i	n	25.1	14.8	30.4	45.9	32.1
<i>Rhodomonas minuta</i>	530	i	n	60.5	127.8	156.0	66.7	158.1
<i>Rhodomonas minuta</i> <i>v. nanoplanctica</i>	70	i	n	464.9	236.2	407.2	213.7	548.2
CHRYSOPHYCÉES								
<i>Dinobryon divergens</i>	800	i	m		4.6	11.6	15.3	7.5
<i>Dinobryon sociale v. americanum</i>	800	i	m	6.7	41.6	14.3	17.4	103.4
<i>Erkenia subaequiciliata</i>	35	i	n	327.2	168.9	376.1	59.9	313.0
<i>Mallomonas acaroides</i>	3'650	i	m	0.1		0.0	3.8	6.4
<i>Mallomonas achromos</i>	310	i	n					
<i>Ochromonas nannos</i>	120	i	n					
XANTHOPHYCÉES								
<i>Tribonema ambiguum</i>	1'590	f	m	2.5	24.3	21.6	1.7	
DIATOMÉES								
<i>Asterionella formosa</i>	260	i	m	50.1	30.5	307.8	53.1	165.7
<i>Aulacoseira granulata v</i> <i>angustissima</i>	450	i	m	0.2			1.2	0.3
<i>Aulacoseira islandica su</i> <i>helvetica</i>	3'400	i	m	8.4	0.4	6.3	5.0	15.3
<i>Cyclotella cyclopuncta</i>	255	i	n	7.3		4.6		6.5
<i>Cyclotella radiosa</i>	1'570	i	n	3.8	22.5	5.1	38.3	41.8
<i>Cyclotella sp</i>	100	i	n				32.5	
<i>Cyclotella cf bodanica</i>	2'000	i	n	0.3				
<i>Cymatopleura solea</i>	34'000	i	m					0.1
<i>Diatoma tenue (= D. elongatum)</i>	1'400	i	m	189.3	64.2	71.6	263.7	63.2
<i>Diatoma vulgare</i>	3'500	i	m		2.2			0.0
<i>Diatoma vulgare v. ehrenbergii</i>	7'200	i	m	0.2		0.0	0.1	1.0
<i>Fragilaria crotonensis</i>	430	i	m	225.6	16.2	50.2	31.6	37.4
<i>Fragilaria virescens</i>	175	i	m	2.3			0.1	4.2
<i>Nitzschia acicularis</i>	280	i	n	2.0	0.0	0.0	0.6	0.5
<i>Stephanodiscus alpinus</i>	900	i	n	6.5	9.2	2.8	4.4	23.1
<i>Stephanodiscus minutulus</i>	50	i	n	1'530.5	666.4	162.4	459.0	3'845.4
<i>Stephanodiscus neoastreae</i>	6'800	i	n	1.0	3.4	5.5	9.6	11.7
<i>Stephanodiscus parvus</i>	100	i	n					
<i>Synedra acus v. angustissima</i>	2'400	i	m	0.3	0.2	1.8	2.2	4.2
<i>Synedra acus v. radians</i>	360	i	m	0.0			12.3	16.3
<i>Synedra sp</i>	560	i	m	0.3			0.2	0.2
<i>Tabellaria flocculosa</i>	1'300	i	m	0.0		7.9	53.6	42.7

Espèces	biovolume (μm^3)	unité	taille	abondance moyenne (unités/ml)				
				1996	1997	1998	1999	2000
CHLOROPHYCÉES								
<i>µ-chlorophycées</i>	40	c	n					
<i>Ankyra inerme</i>	30	i	n					
<i>Ankyra judayi</i>	60	i	n	13.2	2.3		0.2	0.8
<i>Ankyra lanceolata</i>	105	i	m			0,4	1,2	0.1
<i>Chlamydomonas conica</i>	1'680	i	n	6.9	6.5	9.3	5.2	10.8
<i>Chlamydomonas conica v subconica</i>	550	i	n				18.2	
<i>Chlamydomonas globosa</i>	110	i	n	43.4	0.2	30.3	72.7	6.5
<i>Chlamydomonas proboscigera</i>	4'200	i	n		2.2	1.6	3.7	
<i>Chlamydomonas spp</i>	1'100	i	n	0.1	5.5		7.8	133.4
<i>Chlorella vulgaris</i>	4.2	i	n	2'289.5	763.4	284.6	925.3	1'899.0
<i>Chlorhormidium subtile</i>	3'850	f	m	2.5				
<i>Choricystis sp (cf minor)</i>	30	c	n				17.4	217.8
<i>Coelastrum cambricum v interm.</i>	50'000	c	m	1.0		0.7	0.0	
<i>Coelastrum microporum</i>	18'400	c	m				0.2	3.3
<i>Coelastrum pseudomicroporum</i>	8'400	c	m		0.0			
<i>Coelastrum reticulatum</i>	2'900	c	m	0.3	1.9	3.6	0.5	1.0
<i>Coelastrum sp</i>	8'000	c	m					
<i>Coelastrum sphaericum</i>	33'000	c	m					
<i>Coenochloris pyren. v min.</i>	1'050	c	m	0.0		2.3		0.3
<i>Coenocystis subcylindrica</i>	8'000	c	m	0.0				
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	5'800	c	m	0.0				0.3
<i>Elakatothrix gelatinosa</i>	1'000	c	m	0.1		0.0	0.6	0.4
<i>Eudorina elegans</i>	28'300	c	m	0.0		0.1	0.6	1.5
<i>Hyaloraphidium contortum</i>	150	i	n				0.0	0.4
<i>Kirchneriella obesa</i>	9'200	i	m	0.3		0.0		0.0
<i>Lagerheimia ciliata</i>	2'600	i	m					
<i>Lagerheimia genevensis</i>	130	i	m		0.0			
<i>Lagerheimia longiseta</i>	400	i	n			0.0		
<i>Micractinium pusillum</i>	5'800	c	m				0.7	1.6
<i>Monoraphidium minutum</i>	130	i	n	0.0			0.0	
<i>Nephrochlamys subsolitaria</i>	52	i	n					16.9
<i>Nephroclytium agardhianum</i>	5'000	c	m	0.0			0.0	
<i>Oocystis lacustris</i>	300	c	n	0.1	0.0	0.7	0.4	0.0
<i>Oocystis solitaria</i>	1'000	i	m	0.7	0.0	0.3	1.4	0.0
<i>Oocystis sp</i>	785	c	n	0.0	0.0			
<i>Pediastrum boryanum</i>	128'000	c	m	0.1	0.0		0,0	1,0
<i>Pediastrum boryanum v. longicorne</i>	128'000	c	m	0.0				
<i>Pediastrum duplex</i>	35'000	c	m		0.0	0.0		
<i>Phacotus lendneri</i>	340	i	n	20.0	1.8	9.7	12.6	2.9
<i>Phacotus lenticularis</i>	340	i	n	0.1	0.0		7.3	1.6
<i>Pseudosphaerocystis lundii</i>	12'200	c	m	0.0			0.8	0.0
<i>Quadrigula lacustris</i>	360	i	n	0.0				
<i>Scenedesmus acutus</i>	650	c	m		0.0			
<i>Scenedesmus apiculatus</i>	700	c	n			0.0		
<i>Scenedesmus ecornis</i>	1'100	c	m	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0
<i>Scenedesmus magnus</i>	12'200	c	m					
<i>Scenedesmus opoliensis</i>	2'000	c	m	0.0			0.0	
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	1'900	c	m	0.3	0.0	0.0	0.4	0.0
<i>Scenedesmus sp</i>	1'000	c	m				0.0	0.7
<i>Scenedesmus spinosus</i>	1'100	c	m				0.0	0.0
<i>Sphaerocystis schroederi</i>	1'050	c	m		0.0			
<i>Tetrachlorella alternans</i>	900	c	n	0.1		1.1	1.4	0.3
<i>Tetraedron minimum</i>	2'400	i	m	0.6		7.8	11.9	4.2
<i>Tetraedron triangulare</i>	190	i	n		0.0			
<i>Tetraselmis cordiformis</i>	1'130	i	n	4.7	1.6	2.6	0.4	10.0
<i>Treubaria schmidlei</i>	180	i	n					
<i>Ulothrix subtilissima</i>	17'600	f	m			1.3	0.0	
<i>Westella botryoïdes</i>	80	c	n					
<i>Willea vilhelmii (irregularis)</i>	3'700	c	m				0.0	

Espèces	biovolume (μm^3)	unité	taille	abondance moyenne (unités/ml)				
				1996	1997	1998	1999	2000
CONJUGUÉES								
<i>Closterium aciculare</i>	7'400	i	m	0.6	0.4	0.2	0.2	0.0
<i>Closterium acutum v variatum.</i>	940	i	n	1.6	0.0		0.0	0.0
<i>Closterium norstedtii</i>	15'700	i	m					
<i>Cosmarium depressum v planctonicum</i>	6'400	i	m	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2
<i>Cosmarium laeve</i>	2'230	i	n					
<i>Cosmarium meneghinii</i>	1'270	i	n					
<i>Cosmarium subprotumidum</i>	4'500	i	m		0.0			
<i>Mougeotia gracillima</i>	1'540	i	m	226.2	29.2	195.2	11.5	2.9
<i>Staurastrum cingulum</i>	15'000	i	m		0.0			
<i>Staurastrum longiradiatus</i>	8'400	i	m					
<i>Staurastrum johnsoni v tr.</i>	8'400	i	m				1.6	0.3
<i>Staurastrum messikomeri</i>	15'000	i	m	0.1				0.2
<i>Staurastrum sebalzii v ornatum.</i>	15'000	i	m	0.4	0.1	0.4	0.4	0.0

Sur 107 taxons inventoriés, 37 ont pu être observés régulièrement chaque année et à l'opposé 24, n'ont été vus qu'une année sur 5.

Le tableau 4 montre l'évolution de l'abondance moyenne quinquennale de 1986 à 2000 de quelques exemples de taxons choisis parmi ceux qui ont produit des biomasses notables :

- parmi les cyanobactéries, *Planktothrix rubescens* (= *Oscillatoria r.*) dont l'abondance est restée modeste ces 5 dernières années;
- parmi les dinophycées, *Ceratium hirundinella*, une des algues planctoniques les plus volumineuses du Léman, dont l'abondance estivale est notable depuis 1993, mais sans montrer de tendance nette à l'augmentation;
- parmi les cryptophycées, part importante du nanoplancton, les minuscules *Rhodomonas minuta*, espèce et variété et les *Cryptomonas*, toutes espèces confondues, dont l'abondance a diminué assez nettement depuis 1994;
- parmi les chrysophycées, *Dinobryon sociale v. americanum* est en progression depuis le début des années 1990 et en particulier entre 1996 et 2000 avec cette année-là une moyenne annuelle de 103 cellules par ml et la minuscule *Erkenia subaequiciliata* qui semble en diminution;
- parmi les xanthophycées, *Tribonema ambiguum* n'a été présente que de 1996 à 1999;
- parmi les diatomées, *Cyclotella radiosa* progresse, l'abondance de *Diatoma tenuis* (= *D. elongatum*) est particulièrement élevée en 1999, l'espèce nanoplanctonique *Stephanodiscus minutulus* est très abondante en 2000 (24'200 cellules par ml le 27 mars et 3'845 cellules par ml en moyenne annuelle) et *Tabellaria flocculosa* prolifère en fin d'année 2000 (450 cellules par ml le 4 décembre) ; cette prolifération se poursuivra très activement jusqu'en mars 2001;
- parmi les chlorophycées, la minuscule *Chlorella vulgaris* a vu ses effectifs diminuer ces 5 dernières années;
- parmi les conjuguées, la filamenteuse *Mougeotia gracillima* a poursuivi sa progression de 1992 à 1998, mais ses effectifs ont été faibles en 1999 et surtout 2000.

TABLEAU 4 - Evolution de l'abondance moyenne arithmétique et géométrique quinquennale de 1986 à 2000 de quelques espèces du phytoplancton (Léman, GE 3)

Espèces	moyenne arithmétique (unité/ml)			moyenne géométrique (unité/ml)		
	1986-1990	1991-1995	1996-2000	1986-1990	1991-1995	1996-2000
<i>Planktothrix rubescens</i> (= <i>Oscillatoria r.</i>)	3.0	23.3	5.7	0.9	14.1	1.4
<i>Ceratium hirundinella</i>	1.0	1.1	1.9	0.5	0.5	1.5
<i>Cryptomonas spp</i>	80.8	37.3	29.7	76.1	34.6	27.8
<i>Rhodomonas minuta + var</i>	818.8	1'137.3	487.8	779.2	992.2	463.2
<i>Dinobryon sociale</i>	0.9	11.8	36.7	0.8	9.7	23.5
<i>Erkenia subaequiciliata</i>	926.3	421.5	249.0	581.6	333.3	208.0
<i>Tribonema ambiguum</i>			10.0			4.7
<i>Aulacoseira islandica su helvetica</i>	12.1	11.9	7.1	8.0	6.7	4.4
<i>Asterionella formosa</i>	120.7	48.4	121.5	54.6	26.7	83.8
<i>Cyclotella radiosa</i>	0.0	13.6	22.3	0.6	7.4	14.7
<i>Diatoma tenuis</i> (= <i>D. elongatum</i>)	23.9	37.3	130.4	5.1	11.0	107.7
<i>Fragilaria crotonensis</i>	238.3	140.7	72.2	49.9	74.8	46.5
<i>Stephanodiscus neoastraeae</i>	7.1	4.8	6.2	5.2	3.6	4.6
<i>Stephanodiscus minutulus</i>	784.3	784.7	1'332.7	128.4	373.9	782.0
<i>Tabellaria flocculosa</i>		0.1	20.8		0.9	1.4
<i>Chlamydomonas spp</i>	67.3	70.9	72.9	58.1	36.4	54.6
<i>Chlorella vulgaris</i>	12'381.3	2'661.5	1'232.4	3'887.4	2'032.1	973.5
<i>Mougeotia gracillima</i>	0.7	31.0	93.0	0.5	16.1	33.5

3.2.3 Algues en filaments

On rencontre dans le phytoplancton plusieurs espèces de cyanobactéries et d'algues dont les cellules sont assemblées en longs rubans de quelques dizaines à plusieurs centaines de microns de longueur selon les cas, mais de biovolume variable.

Lors du comptage au microscope, ces espèces sont comptées par unité de 100 µm. A ces espèces typiquement filamenteuses s'ajoutent des espèces dont les cellules, comptées comme individus, se multiplient en formant des arrangements rubanés plus ou moins irréguliers comme par exemple *Diatoma tenuis* (= *D. elongatum*) ou *Tabellaria flocculosa* qui peuvent être considérées comme formant des "pseudofilaments" sans être à proprement parler filamenteuses (tableau 5).

Lorsque l'une ou l'autre de ces espèces sont présentes dans l'eau du lac en grande quantité, elles s'accrochent aux filets de pêche les rendant ainsi beaucoup plus visibles pour les poissons, c'est pourquoi elles sont souvent considérées comme une nuisance.

Leur rapport surface/volume élevé les rend très compétitives pour l'assimilation des nutriments.

La plupart de ces algues ne sont pas ou peu consommées par le zooplancton et elles peuvent ainsi accumuler d'importantes biomasses.

Pour tenir compte de la place qu'elles occupent dans le volume d'eau, qui varie en fonction de leur biovolume, la valeur de longueur utilisée ici, ou longueur corrigée, est égale à la racine carrée du produit de la longueur réelle par la largeur de l'élément spécifique.

TABLEAU 5 - Liste des espèces considérées comme filamenteuses ou formant des filaments (unité : i = individus ; f = filament) (Léman, GE 3, 1986-2000)

Espèces	unité	longueur X largeur de l'unité (µm)	longueur corrigée de l'unité (µm)
CYANOBACTÉRIES			
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	f	100 X 5	22
<i>Oscillatoria bourellyi</i>	f	100 X 6	24
<i>Oscillatoria limnetica</i>	f	100 X 2	14
<i>Oscillatoria limnetica aci.</i>	f	100 X 2	14
<i>Planktothrix rubescens</i> (= <i>Oscillatoria r.</i>)	f	100 X 6	24
<i>Pseudanabaena galeata</i>	f	100 X 2	14
XANTHOPHYCÉES			
<i>Tribonema ambiguum</i>	f	100 X 4.5	21
DIATOMÉES			
<i>Aulacoseira granulata</i> v <i>angustissima</i>	i	36 X 4	12
<i>Aulacoseira islandica</i> su <i>helvetica</i>	i	30 X 12	19
<i>Diatoma tenuis</i> (= <i>D.elongatum</i>)		115 X 3	19
<i>Melosira varians</i>	f	100 X 14	37
<i>Stephanodiscus binderianus</i>	i	9 X 9	9
<i>Tabellaria flocculosa</i>	i	90 X 7	25
CHLOROPHYCÉES			
<i>Chlorhormidium subtile</i>	f	100 X 7	26
<i>Ulothrix subtilissima</i>	f	100 X 7	26
CONJUGUÉES			
<i>Mougeotia gracillima</i>	i	40 X 7	17

La figure 2 montre l'évolution de 1986 à 2000 de la longueur corrigée totale des espèces en filaments produits chaque année. Une tendance assez nette à l'augmentation apparaît de 1991 à 1999.

Les années où les espèces en filaments ont été les plus abondantes sont 1992, 1996 et 1999 avec des longueurs corrigées totales de 5.8 à 9 mm/ml.

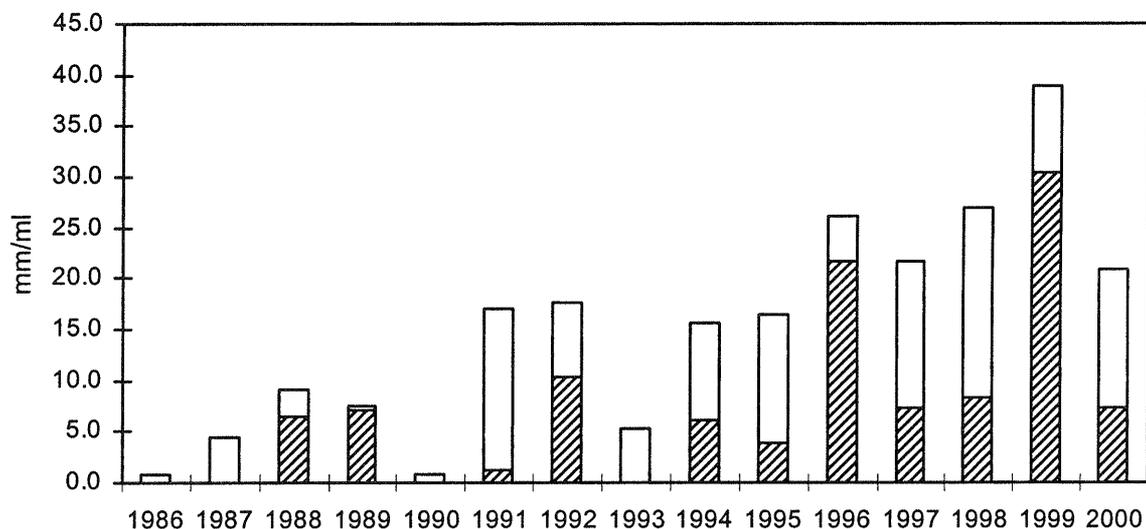


Figure 2 : Evolution de la longueur corrigée totale annuelle des espèces en filaments (tramé : *Diatoma tenuis* (= *D.elongatum*) ; sans trame : espèces diverses) (Léman, GE3, 1986-2000)

L'évolution du pourcentage des différentes espèces de la période d'observation 1986 à 2000, découpée en trois séries de moyennes quinquennales, montre d'une série à l'autre (figure 3) la régression d'*Aulacoseira islandica su. helvetica*, espèce croissant au printemps, la progression de *Diatoma tenuis* (= *D. elongatum*) et de *Mougeotia gracillima*, espèces de fin d'été et d'automne et l'apparition de *Tabellaria flocculosa*, dans la troisième série de moyennes quinquennales.

De 1988 à 2000, *Diatoma tenuis* (= *D. elongatum*) est présente pratiquement chaque année à des taux moyens supérieurs à 20 %, sauf en 1990 (année très pauvre en filamenteuses) et 1993.

Les cyanobactéries *Planktothrix rubescens* (= *Oscillatoria r.*) et *Aphanizomenon flos-aquae*, bien représentées durant la période 1991-1995, ont beaucoup régressé entre 1996 et 2000.

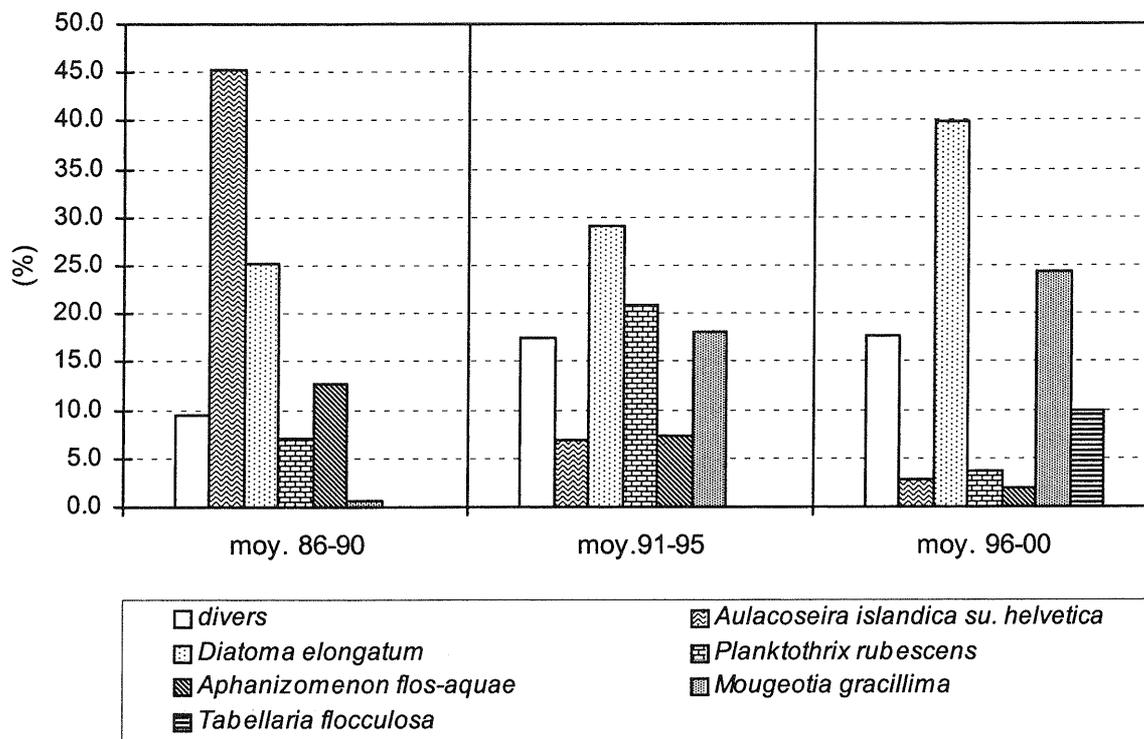


Figure 3 : Evolution de trois taux quinquennaux moyens des filaments des principales espèces (Léman, GE3, 1986-2000)

3.2.4 Biomasse

La figure 4 montre l'évolution de la biomasse de 1996 à 2000. La moyenne des biomasses s'établit à 1'115 mg/m³ (1'008 mg/m³ de 1986 à 1995) et la médiane sur 60 résultats à 700 mg/m³ (622 mg/m³ de 1986 à 1995, 120 résultats).

Les maximums les plus élevés sont observés en septembre 1996 (4'160 mg/m³) et août 1998 (3'880 mg/m³) et le plus faible en août 1997 (2'040 mg/m³).

Le tableau 6 montre les variations de proportions des différents groupes d'algues d'une année à l'autre et la moyenne des cinq dernières années.

De 1996 à 2000, en terme de biomasse le phytoplancton est globalement dominé par les diatomées (41 %), suivies des conjuguées (14 %) et des chrysophycées (12 %).

La tendance à l'accroissement des conjuguées, manifeste depuis 1992 (REVAQLIER, 1996), a culminé en 1996 mais s'est brutalement interrompue en 1999.

Quinze espèces (tableau 7) ont produit au moins une fois, entre 1996 et 2000, 5% ou plus de la biomasse totale. Deux espèces ont dépassé 15 %, (en grisé dans le tableau 7), *Diatoma tenuis* (= *D. elongatum*) (maximum 29.5 % en 1999) et *Mougeotia gracillima* (maximum 28.8 % en 1996).

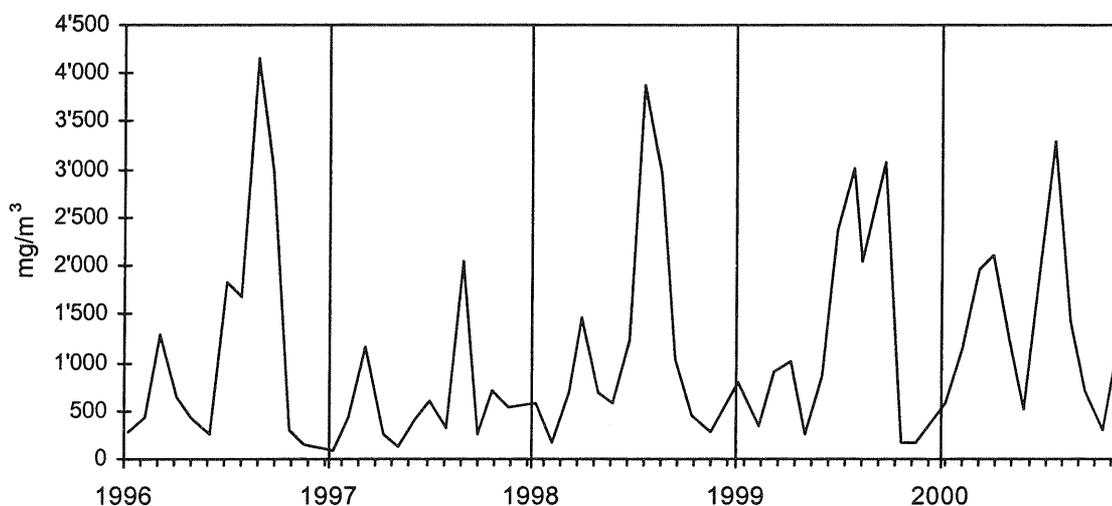


Figure 4 : Evolution de la biomasse du phytoplancton de la couche 0-10 m (Léman, GE3, 1996-2000)

TABLEAU 6 - Variations interannuelles de la biomasse relative (%) des classes d'algues (Léman, GE 3, 1996-2000)

Classes	1996	1997	1998	1999	2000	Moyenne
CYANOBACTÉRIES	4	7	7	6	4	6
DINOPHYCÉES	5	9	11	16	7	10
CRYPTOPHYCÉES	8	18	13	9	12	12
CHRYSOPHYCÉES	1	7	3	3	9	5
XANTHOPHYCÉES		7	3	0		2
DIATOMÉES	42	37	25	52	47	41
CHLOROPHYCÉES	10	6	11	10	19	11
CONJUGUÉES	30	9	26	3	1	14
TOTAL	100	100	100	100	100	100

3.2.4.1 Evolution saisonnière de la biomasse

On rappellera qu'en cours d'année la biomasse varie considérablement d'un échantillon à l'autre (figure 4).

La période hivernale est une phase de repos dans la prolifération des algues phytoplanctoniques, les facteurs limitants étant alors la lumière et la température.

Dès le printemps, la biomasse s'accroît avec l'éclairement. Elle atteint un maximum suivi d'un minimum en mai-juin, pendant la phase dite des "eaux claires". Cette phase résulte de l'épuisement du milieu en nutriments et du broutage accru par le zooplancton.

En été on assiste en général à une reprise de la prolifération algale.

Les maximums du printemps et de l'été figurent au tableau 8.

TABLEAU 7 - Inventaire des espèces ayant produit 5 % ou plus de la biomasse totale; en grisé les espèces ayant dépassé 15 % (Léman, GE3, 1996-2000)

Espèces	1996	1997	1998	1999	2000
CYANOBACTÉRIES					
<i>Planktothrix rubescens</i>	1.9	6.6	1.5	0.1	0.0
DINOPHYCÉES					
<i>Ceratium hirundinella</i>	2.9	3.5	8.7	12.4	5.3
CRYPTOPHYCÉES					
<i>Cryptomonas spp</i>	2.8	3.5	3.5	4.9	3.2
<i>Rhodomonas minuta</i>	2.7	11.7	7.1	2.8	6.1
CHRYSOPHYCÉES					
<i>Dinobryon sociale</i>	0.4	5.7	1.0	1.1	6.1
XANTHOPHYCÉES					
<i>Tribonema cf ambiguum</i>	0.3	6.7	2.9	0.2	
DIATOMÉES					
<i>Asterionella formosa</i>	1.1	1.4	6.9	1.1	3.2
<i>Cyclotella radiosa</i>	0.5	6.1	0.7	4.8	4.8
<i>Diatoma tenuis (= D. elongatum)</i>	21.9	15.5	8.6	29.5	6.5
<i>Fragilaria crotonensis</i>	8.0	1.2	1.8	1.1	1.2
<i>Stephanodiscus minutulus</i>	6.3	5.7	0.7	1.8	14.1
<i>Stephanodiscus neoastraeae</i>	0.6	4.0	3.2	5.2	5.8
<i>Tabellaria flocculosa</i>	0.0	0.0	0.9	5.6	4.1
CHLOROPHYCÉES					
<i>Chlamydomonas spp</i>	0.0	0.5		0.3	5.2
CONJUGUÉES					
<i>Mougeotia gracillima</i>	28.8	7.8	25.7	1.4	0.3
TOTAL	78.2	79.8	73.3	72.4	65.8

TABLEAU 8 - Biomasse (mg/m³) annuelle moyenne, biomasses saisonnières et biomasses maximales du phytoplancton (Léman, GE 3, 1996-2000)

Année	1996	1997	1998	1999	2000
biomasse annuelle moyenne	1'206	579	1'168	1'253	1'360
biomasse printanière moyenne (BP)	556	413	696	666	1'258
biomasse estivale moyenne (BE)	1'856	697	1'640	1'673	1'463
BP/BE	0.30	0.59	0.42	0.40	0.86
biomasse printanière maximale (mois)	1'283 (3)	1'158 (3)	1'457 (4)	1'019 (4)	2'104 (4)
biomasse estivale maximale (mois)	4'157 (9)	2'042 (9)	3'879 (8)	3'076 (10)	3'286 (8)

BP = biomasse moyenne de janvier à la phase des eaux claires

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

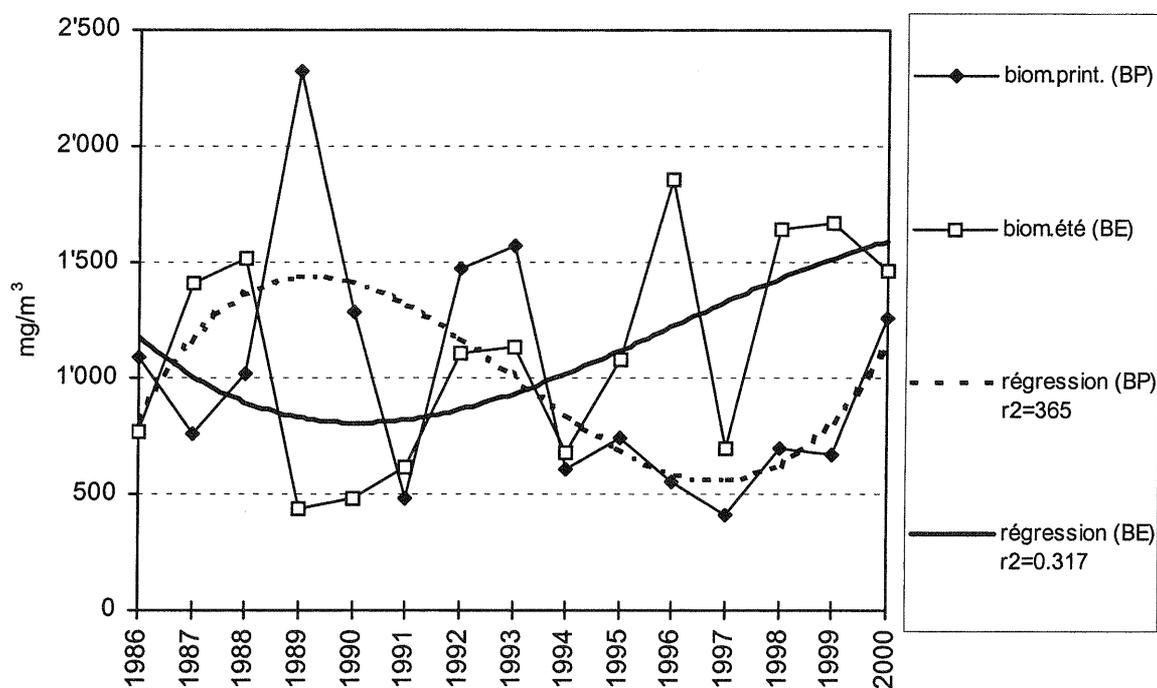
(...) = mois où le phénomène s'est produit

Les maximums de 1996 et de 1998 sont dus à l'algue filamenteuse *Mougeotia gracillima*, 76 % de l'échantillon en 1996 et 50 % en 1998. Le maximum de 2000 est dû à plusieurs espèces parmi lesquelles *Dinobryon sociale*, *Coelastrum microporum* et *Cyclotella radiosa*, qui forment 63 % de la biomasse totale de l'échantillon.

Les biomasses annuelles moyennes et les maximums annuels printaniers (mars ou avril) sont tous plus faibles que ceux d'été/automne. Les maximums de biomasse sont observés en seconde partie d'année. Cette situation n'est observée de façon régulière que depuis 1994.

La figure 5 montre l'évolution des biomasses printanières et estivales moyennes depuis 1986. Une interprétation de la tendance de cette évolution est donnée par les courbes de régression polynomiale calculées à partir des points de chacune des séries de moyennes.

Pour les biomasses printanières (BP), la régression passe par un maximum en 1989, puis une décroissance jusqu'en 1997, suivie d'une remontée. Pour les biomasses estivales (BE) la régression suit une évolution inverse mais moins marquée.



(Courbes de régression créées à l'aide de l'équation polynomiale $y=b+c_1x+c_2x^2+c_3x^3$)

Figure 5 : Evolution des biomasses printanières et estivales moyennes et courbes de régression polynomiale (r^2 : coefficient de détermination) (Léman, GE 3, 1986-2000)

3.2.4.2 Evolution interannuelle de la biomasse

La figure 6 montre l'évolution des moyennes annuelles des biomasses de 1996 à 2000, réparties entre la fraction due aux espèces nanoplanctoniques et celle due aux espèces de plus grande taille (microplancton) et l'évolution relative de la biomasse du nanoplancton. Sur ces 5 années, quatre sont situées au-dessus de la moyenne 1996-2000 (1'115 mg/m³) et l'année 1997 se singularise par une valeur moyenne de biomasse nettement plus faible (580 mg/m³).

La moyenne de la biomasse totale des années 1986 à 1995 s'établissait à 1'008 mg/m³, et la moyenne de la fraction de cette biomasse produite par les espèces de petite taille, le nanoplancton, était de 520 mg/m³, soit 52 % de la biomasse (REVACLIER, 1996).

En 1996-2000, le pourcentage moyen du nanoplancton est de 35 %.

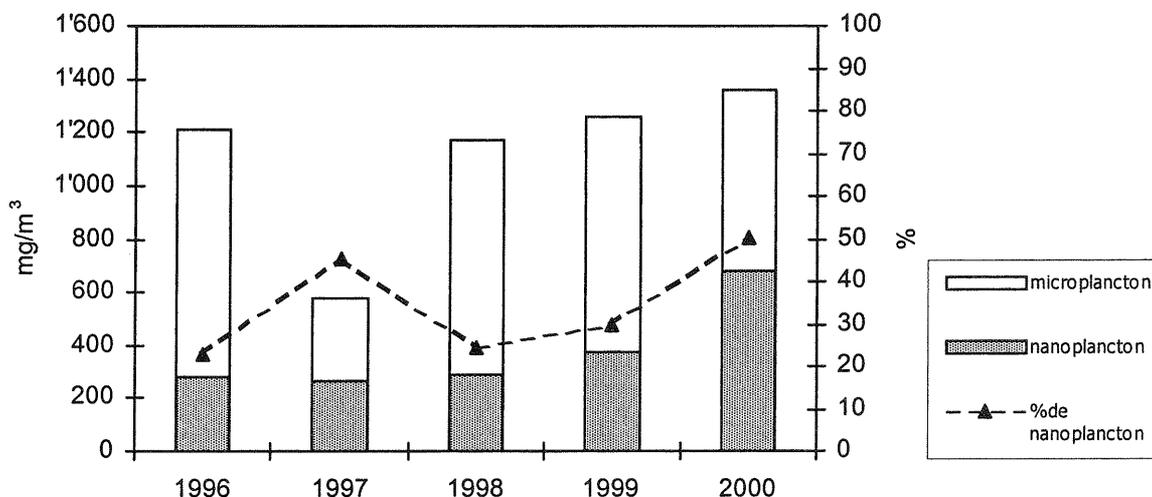


Figure 6 : Evolution inter annuelle des moyennes des biomasses du nanoplancton et du microplancton et évolution relative de la biomasse du nanoplancton (Léman, GE 3, 1996-2000)

L'évolution interannuelle de la biomasse des espèces considérées comme caractéristiques d'eaux oligotrophes (ANNEVILLE et al., 2000 et 2001) de 1986 à 2000 est présentée à la figure 7.

En moyenne de 1996 à 2000, cette biomasse représente 4.4 % de la biomasse totale.

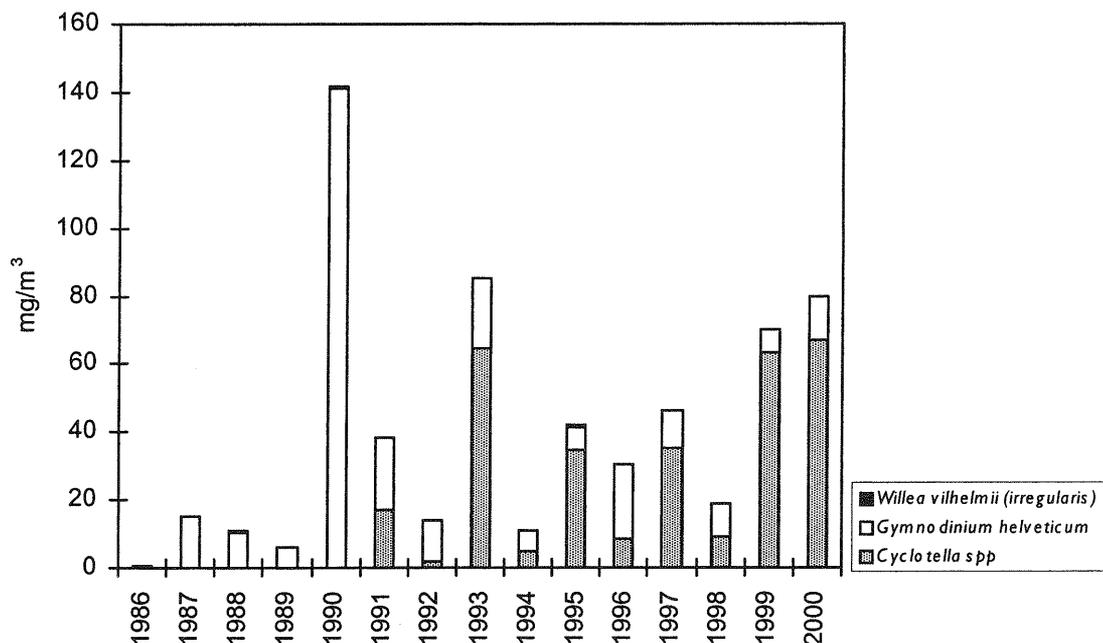


Figure 7 : Evolution des biomasses annuelles moyennes des espèces indicatrices d'eaux oligotrophes (Léman, GE 3, 1986-2000)

3.2.5 Evolution interannuelle de la diversité spécifique

L'indice de diversité de Shannon-Weaver (H') a été calculé pour chaque échantillon à partir des biomasses spécifiques produites.

$$H' = -\sum (p_i)(\log_2 p_i)$$

p_i = proportion de l'espèce i

Cet indice de diversité, outre la richesse spécifique, intègre la fréquence relative en terme de biomasse des espèces présentes.

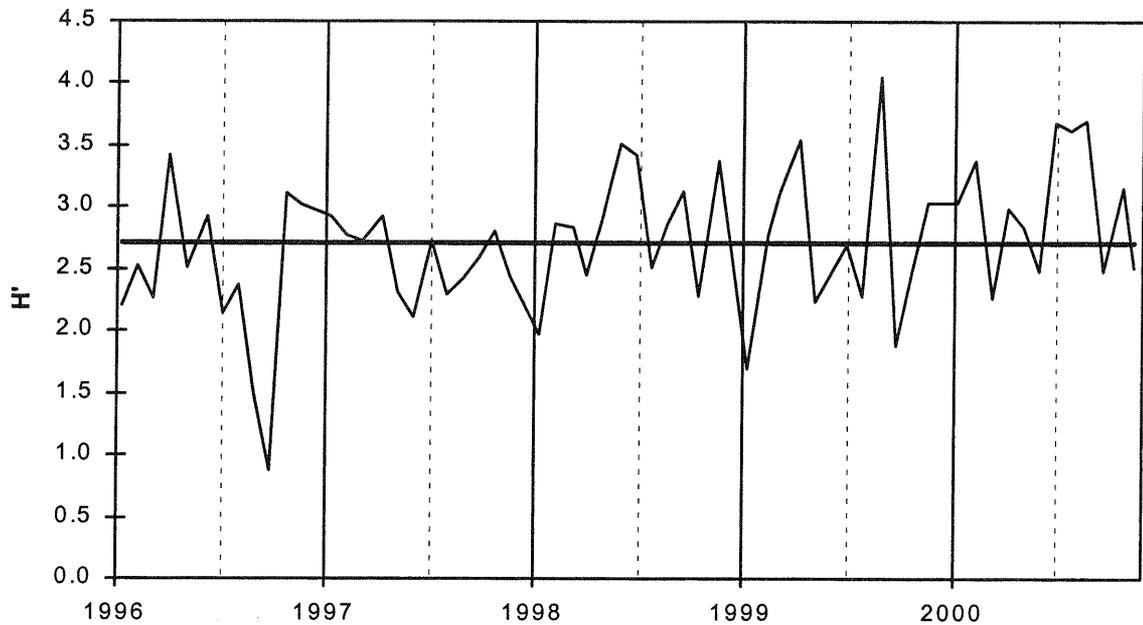


Figure 8 : Evolution de l'indice de diversité spécifique H' de Shannon-Weaver et sa moyenne (Léman, GE3, 1996-2000)

H' est indépendant de la taille de l'échantillon et les espèces rares ont peu d'influence sur sa valeur. En pratique, H' ne semble pas dépasser 5.0 pour des communautés biologiques (KREBS, 1989). De plus il est indépendant des unités et peut être calculé aussi bien à partir du nombre d'individus que des biomasses (WILHM, 1972).

La figure 8 montre l'évolution de la diversité H' de 1996 à 2000. La diversité peut varier de façon importante d'un échantillon à l'autre. En 1999, par exemple, l'indice passe de 1.69 en janvier à 4.05 en septembre. L'indice 1.69 correspond à la prolifération de 3 espèces qui ont produit 94 % de la biomasse totale de l'échantillon et l'indice 4.05 à près de 17 espèces dont les biomasses cumulées atteignent 95 % du total.

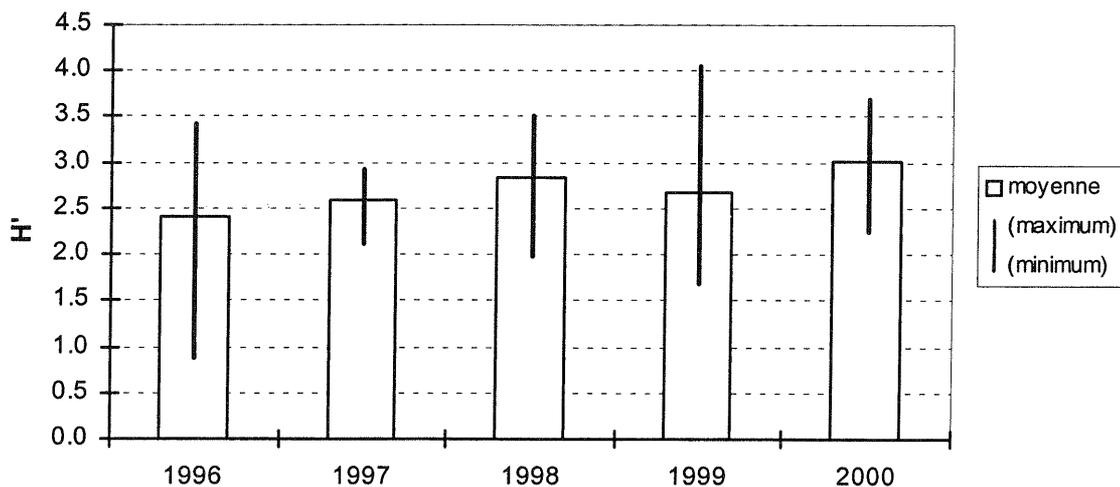


Figure 9 : Evolution de la moyenne, du maximum et du minimum annuel des indices de diversité spécifique H' de Shannon-Weaver (Léman, GE3, 1996-2000)

L'évolution de la moyenne annuelle des indices de diversité H' (figure 9) montre une progression des valeurs qui atteignent 3 en 2000, indice moyen maximum depuis 1986.

Cette tendance à un accroissement de la diversité avait déjà été remarquée en examinant son évolution durant la période 1986-1995 (REVACLIÉ, 1996).

3.2.6 Concentration en chlorophylle

La concentration moyenne de la chlorophylle a de la couche 0-10 m sur la période 1996-2000 est 4.5 mg/m^3 (4.2 mg/m^3 de 1986 à 1995) et la médiane des 60 valeurs est de 3.5 mg/m^3 (3.1 mg/m^3 en 1986-1995).

Le maximum a atteint ou légèrement dépassé 12 mg/m^3 en mars 1996 et en avril 2000, pendant près de 2 mois (figure 10).

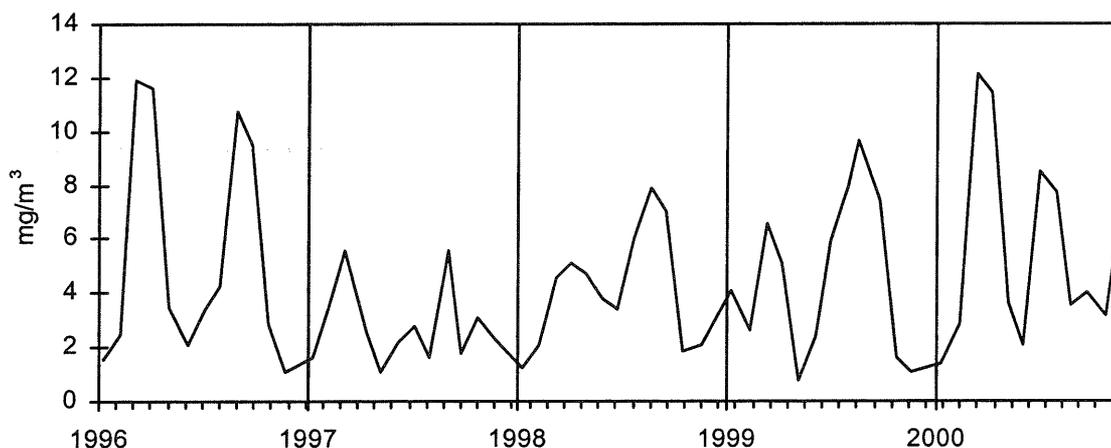
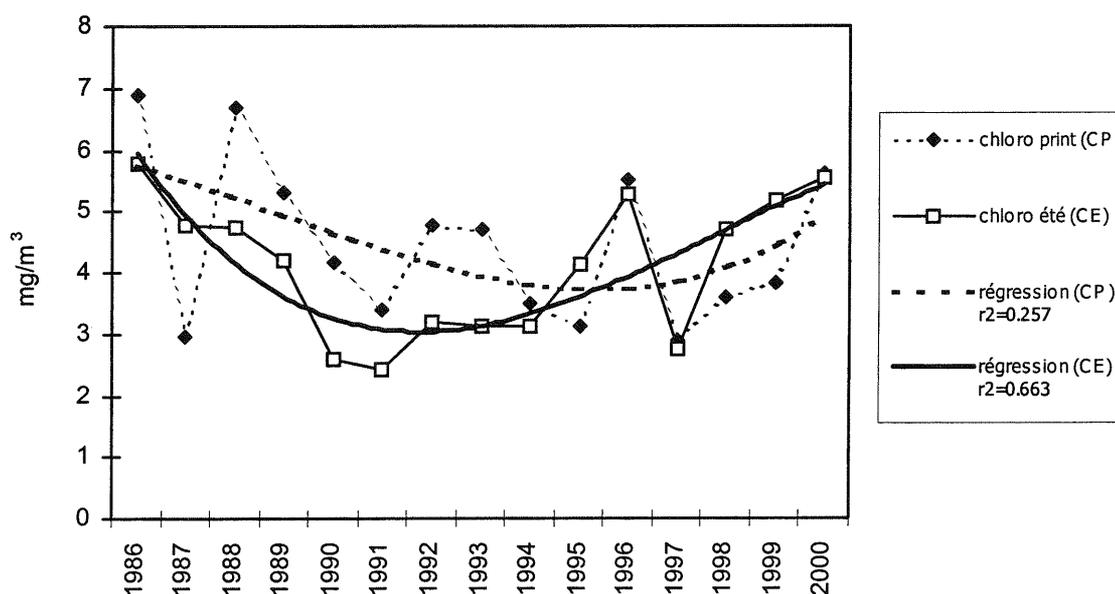


Figure 10 : Evolution des concentrations en chlorophylle a de la couche 0-10m (Léman, GE3, 1996-2000)

La figure 11 montre l'évolution des concentrations printanières (CP) et estivales (CE) moyennes depuis 1986. Une interprétation de la tendance de cette évolution est donnée par les courbes de régression polynomiale calculées à partir des points de chacune des séries de moyennes.

Pour les concentrations printanières, la courbe de régression passe par un minimum en 1996, suivi d'une remontée culminant en 2000. Les concentrations estivales suivent une évolution identique mais plus rapide, le minimum étant atteint en 1992 déjà.

Cette évolution est assez semblable à l'évolution des biomasses printanières et estivales surtout (figure 5).



(Courbes de régression créées à l'aide de l'équation polynomiale $y=b+c_1x+c_2x^2+c_3x^3$)

Figure 11 : Evolution des concentrations printanières et estivales moyennes de chlorophylle a et courbes de régression (r^2 : coefficient de détermination) (Léman, GE 3, 1986-2000)

En ce qui concerne la chlorophylle, l'année 2000 présente des valeurs de moyennes et des maximums très voisins de ceux de l'année 1996; ces deux années se singularisent ainsi par rapport aux trois années qui les séparent (tableau 9).

TABLEAU 9 - Concentrations (mg/m^3) annuelles moyennes, concentrations moyennes saisonnières et maximales de chlorophylle a (Léman, GE 3, 1996-2000)

Année	1996	1997	1998	1999	2000
chlorophylle a moyenne	5.4	2.8	4.1	4.6	5.6
chlorophylle a printanière moyenne (CP)	5.5	2.9	3.6	3.8	5.6
chlorophylle a estivale moyenne (CE)	5.3	2.8	4.7	5.2	5.6
CP/CE	1.04	1.05	0.76	0.74	1.01
chlorophylle a printanière maximale (mois)	11.9 (3)	5.6 (3)	5.1 (4)	6.6 (3)	12.2 (3)
chlorophylle a estivale maximale (mois)	10.7 (9)	5.6 (9)	7.9 (9)	9.7 (9)	8.5 (7)

CP = chlorophylle a (mg/m^3) moyenne de janvier à la phase des eaux claires

CE = chlorophylle a (mg/m^3) moyenne de la phase des eaux claires à décembre

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

La figure 12 montre l'évolution de 1986 à 2000 de la moyenne annuelle pondérée des concentrations en orthophosphates dans les eaux du Petit Lac (RAPIN et al., 2001) et l'évolution des concentrations annuelles moyennes en chlorophylle a.

De 1986 à 1990, le phosphore décroît et la biomasse chlorophyllienne suit nettement cette décroissance. De 1990 à 1994, la baisse du phosphore se ralentit fortement, elle reprend brièvement en 1995 et 1996. De 1997 à 2000, on peut remarquer une très légère tendance inverse.

De 1990 à 1997, les concentrations en chlorophylle ne montrent pas de tendance notable. De 1998 à 2000, la croissance des teneurs en chlorophylle de 0 à 10 m semble reprendre et la concentration atteint une valeur proche de celle des années 1986 et 1988 : $5.6 \text{ mg}/\text{m}^3$ en 2000, 6.3 et $5.7 \text{ mg}/\text{m}^3$ en 1986 et 1987 respectivement.

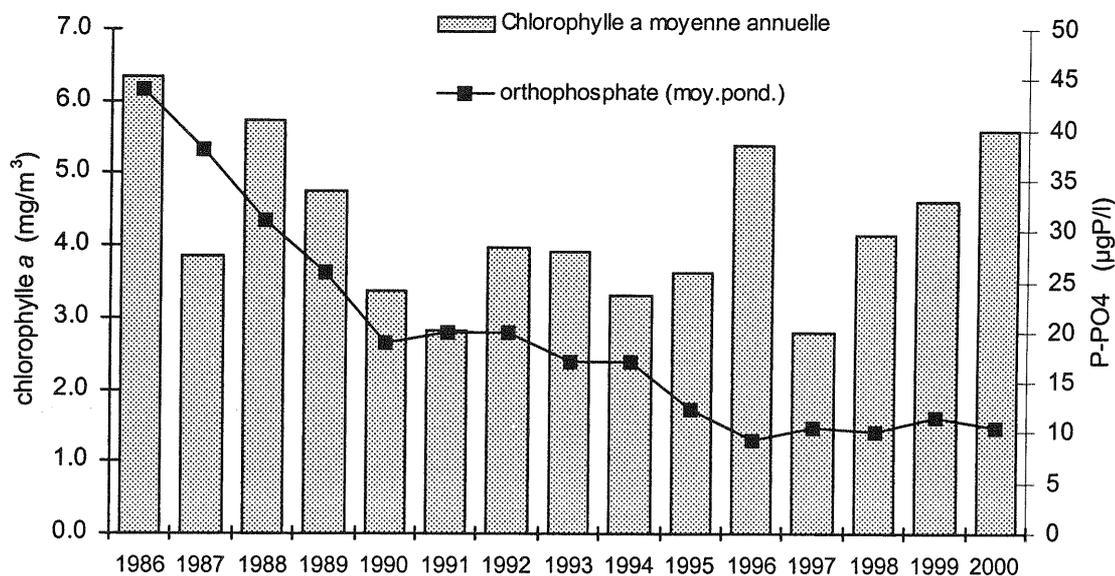


Figure 12 : Evolution des concentrations moyennes pondérées des orthophosphates et des concentrations moyennes de 0-10 m de la chlorophylle a (Léman, GE 3, 1986-2000)

3.3 Volume de zooplancton

Les échantillons récoltés n'ont pas fait l'objet d'analyse qualitative, mais il convient de se rappeler que ces échantillons prélevés au filet contiennent aussi des éléments du phytoplancton qui peuvent parfois constituer une part élevée du volume.

La figure 13 regroupe les moyennes annuelles de 1996 à 2000 des volumes sédimentés. La moyenne de ces 5 années est de 3.5 ml/m³ (moyenne 1986-1995: 2.6 ml/m³).

Avec des volumes annuels moyens supérieurs à trois et même quatre ml/m, les années 1997 et 1998 sont les plus riches de ces vingt dernières années. Mais de tels volumes sont dus à la présence dans quelques échantillons d'algues filamenteuses ou de grandes tailles qui furent abondantes en été ou automne ces années-là (*Mougeotia gracillima* et *Diatoma tenuis* (= *D. elongatum*)), ce que montrent les différences élevées entre les moyennes arithmétiques des volumes annuels et leur moyennes géométriques en 1996, 1997 et 1998 surtout.

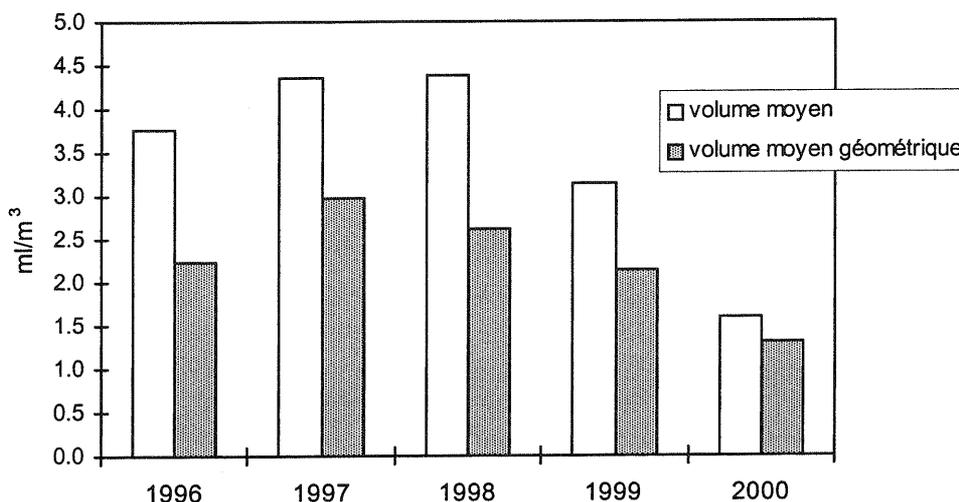


Figure 13 : Evolution de la moyenne arithmétique et géométrique des volumes sédimentés de zooplancton (Léman, GE3, 1996-2000)

4. DISCUSSION ET CONCLUSION

De 1996 à 2000, le phytoplancton du Petit Lac a subi une évolution perceptible et significative de la composition spécifique de la communauté algale.

Il faut d'abord remarquer la bonne tenue des diatomées du genre *Cyclotella* et des chrysophycées du genre *Dinobryon*, en général associées à des conditions oligotrophes ou oligo-mésotrophes.

De plus la tendance à l'accroissement de la diversité, déjà relevée durant la période d'étude précédente (REVACLIÉ, 1996), est confirmée.

En ce qui concerne la composition spécifique, on retiendra en particulier la prolifération d'espèces auparavant très peu abondantes comme :

- *Tribonema ambiguum*, dont le maximum se situe en 1997 et 1998, mais qui a presque disparu en 2000,
- *Diatoma tenuis* qui accentue sa dominance avec *Mougeotia gracillima* en été et automne, deux espèces plus ou moins filamenteuses, qui peuvent causer des nuisances pour la pêche,
- *Tabellaria flocculosa* dont le développement s'est fortement accentué, particulièrement à la fin de l'année 2000.

Pour les biomasses, deux tendances semblent se dégager : la diminution de la production au printemps et le maintien de biomasses élevées, voire l'accroissement des biomasses produites après la phase des eaux claires. A partir de 1991, les biomasses moyennes annuelles ont cessé de diminuer et ont même tendance à augmenter.

Cette tendance à l'accroissement des biomasses confrontée au maintien de faibles concentrations en phosphore paraît donc paradoxal à première vue.

Ces changements dans la communauté planctoniques et ce paradoxe ont aussi été observés dans le Grand Lac (ANNEVILLE et al., 2000; ANNEVILLE, 2001 et ANNEVILLE et al., 2001).

L'interprétation proposée par ces auteurs est, en résumé, que le changement structurel du phytoplancton est une conséquence de l'abaissement en profondeur de plus en plus important et précoce dans l'année des très faibles concentrations en phosphore. Le phénomène est constaté depuis 1995 dans le Petit Lac, où des concentrations inférieures à 10 µgP/l de phosphore sont observées jusqu'à plus de 30 m de profondeur, dès les mois de mai ou juin (BLANC et al., 1996 ; RAPIN et al., 2001).

Ce phénomène tendrait à favoriser, d'une part, des espèces adaptées aux faibles intensités lumineuses et ainsi capables d'exploiter les teneurs en phosphore non encore limitantes qu'elles peuvent trouver en profondeur et, d'autre part, les espèces filamenteuses ou rubanées les plus aptes par leur rapport surface/volume élevé à exploiter les faibles teneurs en phosphore.

Ces espèces sont en particulier *Diatoma tenuis*, *Mougeotia gracillima* et *Tabellaria flocculosa*, qui de plus sont peu consommées par le zooplancton.

Les observations de l'évolution récente du phytoplancton du Petit Lac corroborent donc les observations similaires effectuées dans le Grand Lac.

BIBLIOGRAPHIE

- ANNEVILLE, O. et PELLETIER, J. (2000) : Recovery of Lake Geneva from eutrophication : quantitative response of phytoplankton. Arch. Hydrobiol., 148 (4), 607-624.
- 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
- ANNEVILLE, O., GINOT, V. et ANGELI, N. (2001) : Evolution de l'état de santé du Léman évaluée par l'analyse des séries chronologiques du plancton. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2000.
- BLANC, P., CORVI, C., NIREL, P., REVACLIER, R. et RAPIN, F. (1996) : Evolution physico-chimique des eaux du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1995, 37-80.
- RAPIN, F., NIREL, P., REVACLIER, R., LAZZAROTTO, J. et CORVI, C. (2001) : Evolution physico-chimique des eaux du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2000.
- 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
- KREBS, C.J. (1989) : Ecological methodology. Harper & Row, Publishers, New-York, 654 p.
- NAEF, J., FINK, A. et GREPPIN, H. (1999) : Plancton du lac Léman (XXIV) - Année 1998. Archs Sci. Genève, 52 (3), 123-161.
- REVACLIER, R. (1996) : Le phytoplancton du Petit Lac : évolution 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.
- WILHM, J. (1972) : Graphic and mathematical analyses of biotic communities in polluted streams. Ann. Rev. Entom., 17, 223-252.