

# DYNAMIQUE DE LA PRODUCTION PHYTOPLANCTONIQUE ET DE LA BIOMASSE CHLOROPHYLLIENNE DANS LE LÉMAN

## DYNAMICS OF PHYTOPLANKTON PRODUCTION AND CHLOROPHYLL BIOMASS IN LAKE GENEVA

Campagne 2003

PAR

**Christophe LÉBOULANGER**

avec la collaboration technique de

**Pascal CHIFFLET, Jean-Christophe HUSTACHE et Jean-Paul MOILLE**

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

### RÉSUMÉ

*Durant l'année 2003, vingt campagnes de mesures du stock et de l'activité phytoplanctonique ont été réalisées au point SHL2. La production annuelle nette a été estimée à 272 g de carbone fixé par m<sup>2</sup>, en augmentation légère par rapport à l'année 2002 et comparable aux estimations de la production planctonique du lac faites durant la décennie des années 90. Les événements remarquables de cette année sont : 1) une forte activité de production principalement en mars et avril, suivie d'une seconde poussée en mai, sans développement marqué en automne, 2) la persistance d'une biomasse phytoplanctonique élevée, liée à une production primaire également forte, pendant les mois d'été, et 3) la répétition des observations des années 2001 et 2002 concernant le maintien d'une biomasse et d'une production significatives pendant les mois d'hiver. La concentration moyenne pondérée en chlorophylle a dans la couche 0-10 m est moins importante qu'en 2002, avec 5.8 mg chl a/m<sup>3</sup>, avec une phase d'eaux claires encore une fois peu ou pas marquée par un accroissement de la transparence. La productivité annuelle est d'ampleur moyenne, dans la continuité de la décroissance observée au cours des années 1999-2000 et comparable à la période 1987-1993.*

### ABSTRACT

*During the year 2003, twenty surveys were conducted at the SHL2 station to measure the phytoplankton stock and activity. The net annual production was estimated to be around 272 g of Carbon fixed per square meter, which is slightly up from 2002, and close to the estimates made during the 1990s. Noticeable events for 2003 were 1) high production rates especially in March and April, with a second peak in May but with no noticeable rise in the autumn, 2) a significant and persistent phytoplankton biomass, linked to a high primary production during the summer months, and 3) the sustained biomass and production during the winter, following the same pattern as recorded in 2001 and 2002. The average weighted chlorophyll a concentration in the 0-10 m layer was lower than in 2002, about 5.8 mg chl a/m<sup>3</sup>, and the clear water period was once again only slightly evident from the water transparency. Finally, the relatively average annual productivity is consistent with the decrease observed during the 1999-2000 period, and comparable to that during the years 1987-1993.*

### 1. INTRODUCTION

Les efforts consentis pour améliorer la qualité des eaux du Léman ont eu pour conséquence principale la diminution de la concentration en phosphore dans le lac, dans les limites des modèles prédictifs. Mais les conséquences fonctionnelles sur l'écosystème pélagique n'ont jusqu'alors pas montré de tendance claire, notamment en ce qui concerne la dynamique annuelle de l'activité et de la biomasse phytoplanctoniques. C'est pourtant ce groupe d'organismes, par son activité photosynthétique, qui va alimenter le fonctionnement du réseau trophique pélagique et éventuellement être à l'origine de nuisances (proliférations d'algues filamenteuses). Il est donc important d'en comprendre les mécanismes.

## 2. MÉTHODES

Au cours de l'année 2003, les 20 campagnes de mesures programmées des paramètres de production et biomasse phytoplanctoniques ont été réalisées sur la station de référence SHL2 selon le même protocole depuis plus de quinze années. Comme lors des campagnes précédentes, ainsi qu'il est rappelé dans LÉBOULANGER (2002), la méthode de STEEMAN-NIELSEN (1952) employant le  $^{14}\text{C}$  comme traceur a été utilisée pour évaluer in situ l'activité photosynthétique. Le carbone radioactif est incorporé de façon proportionnelle au carbone inorganique dissous présent dans l'eau et la quantité retrouvée ensuite sous forme organique dans le phytoplancton est donc quantitativement reliée à l'activité photosynthétique. Les neuf profondeurs échantillonnées s'échelonnent de zéro à trente mètres dans la couche euphotique, où la lumière est suffisante pour permettre la photosynthèse. Chaque échantillon est fractionné en trois aliquotes, distribués dans trois flacons, enrichis en carbonate radioactif puis ré-immersé à la profondeur de prélèvement où l'incubation est réalisée pendant une durée égale au tiers médian de la photopériode.

Le phytoplancton dont la matière organique est devenue radioactive est ensuite récupéré par filtration sur membrane en polycarbonate de  $0.8\ \mu\text{m}$  de porosité, seuil où la plupart des cellules autotrophes sont retenues. Ce filtre est ensuite traité au laboratoire en vue d'une mesure de cette radioactivité. À l'aide des valeurs obtenues et de la concentration en carbone inorganique dissous dans le milieu lors de l'expérimentation, il est alors possible de calculer la quantité de carbone effectivement incorporée par les organismes photosynthétiques. Une extrapolation à la production journalière globale est ensuite possible en multipliant le résultat des incubations par 2.22, coefficient moyen déterminé expérimentalement (PELLETIER, 1983).

La mesure de la concentration en chlorophylle *a* à chacune des neuf profondeurs se fait sur les mêmes prélèvements d'eau que ceux servant à la mesure d'activité photosynthétique. L'eau est filtrée sur membrane en fibre de verre (Whatman GF/C), puis les pigments sont extraits sur la matière retenue, dans un mélange acétone/eau (90/10 v/v). Le calcul de la concentration en chlorophylle *a* est ensuite effectué à partir d'une analyse spectrophotométrique selon la méthode de STRICKLAND et PARSONS (1968), basée sur les caractéristiques du spectre d'absorbance de la chlorophylle *a*.

## 3. RÉSULTATS

### 3.1 Répartitions verticales

Les profils 0-30 m obtenus pour répartition de la biomasse phytoplanctonique (exprimée en  $\text{mg chl}a/\text{m}^3$ ) et de la production primaire (en  $\text{mg C assimilé}/\text{m}^3$  durant la période d'incubation) sont représentés sur la figure 1. Les paramètres calculés à partir de ces données sont récapitulés dans le tableau 1.

Au début de l'année, la biomasse phytoplanctonique est faible et homogène de 0 à 30 m, ce qui est caractéristique en hiver et n'augmente pas significativement avant le 28 avril. Cependant, dès le 24 mars on observe une croissance du phytoplancton dans les 10 premiers mètres, avec plus de  $15\ \text{mg chl}a/\text{m}^3$  à 7.5 m de profondeur et  $218\ \text{mg C}$  fixé par litre et par incubation à 2 mètres. La biomasse chlorophyllienne croît peu durant un mois pour montrer fin avril une nette augmentation.

La production primaire pré-estivale culmine le 28 avril, la prolifération printanière est inhabituellement peu intense, avec une biomasse de  $18\ \text{mg chl}a/\text{m}^3$  et  $320\ \text{mg C}$  fixé par litre et par incubation à 2 mètres. La phase des eaux claires qui suit est peu marquée et la transparence ne dépasse 5 m que le 12 mai suivant, sans se reproduire le 27 du même mois. On ne peut pas alors parler véritablement de phase claire et l'arrivée de la belle saison ne semble pas provoquer d'augmentation de la biomasse très forte par la suite. La production primaire dans son ensemble suit le même processus : de mai à début août, la chlorophylle présente un pic à une profondeur variable entre 5 et 10 m, avec une allure similaire pour la production.

Les mois d'automne ne présentent également pas d'augmentation brusque des paramètres de biomasse et de production, celle-ci reste significative avec une légère décroissance jusqu'en décembre suivant. Cette évolution diffère fortement de celle des années précédentes, avec une disparition patente de la succession de deux phases de croissance entrecoupées d'eaux claires, habituelle sur le Léman (e.g. décrite dans ANNEVILLE, 2001), comme observé en 2002 (LÉBOULANGER, 2003).

### 3.2 Variations saisonnières

Les trois premiers mois de l'année montrent une biomasse élevée pour cette saison, en tout point comparable à celle habituellement relevée au cours du premier pic printanier, mais avec une activité inférieure (qui reste cependant élevée et contribue significativement à la production totale de l'année 2003). La biomasse totale 0-30 m montre de fortes fluctuations de janvier à fin juin (de  $100$  à  $240\ \text{mg chl}a/\text{m}^2$  pour les pics) et chute ensuite en juillet et août. La phase printanière (biomasse et production élevées) est peu marquée, avec un maximum de biomasse exprimée en chlorophylle *a* de  $227\ \text{mg}/\text{m}^2$  dans la couche 0-30 m fin avril, restant apparemment stable jusqu'au début du mois de juin. La production primaire totale par unité de surface au point SHL2 suit de façon très fidèle cette évolution. La poussée printanière est suivie d'une phase claire peu marquée en juin puis d'une nouvelle et forte augmentation en juillet.

Tableau 1 : Principaux paramètres de la production primaire.  $\Sigma A$  : production primaire totale lors de l'incubation ; PPj : production primaire journalière calculée ; Amax : production maximale lors de l'incubation, correspondant à la biomasse Chl Amax ; Tds : profondeur de disparition du disque de Secchi

Table 1: Main primary production parameters.  $\Sigma A$  : total primary production during the incubation period; PPj: calculated daily production ; Amax: maximal production during the incubation period, corresponding to Chl Amax biomass; Tds : Secchi depth

DATE	$\Sigma A$ mgC/m <sup>2</sup> .inc	PPj mgC/m <sup>2</sup> .j	Amax mgC/m <sup>3</sup> .inc	Chl Amax mg/m <sup>3</sup>	Chl 0-10 mg/m <sup>2</sup>	Chl 0-30 mg/m <sup>2</sup>	Tds m
20/01/2003	101	223	9	1.33	13.4	38.8	11.4
20/02/2003	118	262	7	0.87	8.7	26.9	14.0
10/03/2003	629	1'396	62	5.90	53.4	103.2	5.5
24/03/2003	1'211	2'689	218	15.00	143.3	237.8	2.7
14/04/2003	542	1'202	71	3.50	29.6	78.6	6.3
28/04/2003	1'535	3'407	320	18.80	147.6	227.1	2.5
12/05/2003	758	1'682	95	2.48	29.4	63.2	7.7
27/05/2003	1'027	2'280	165	6.90	54.4	71.6	4.3
10/06/2003	1'135	2'519	187	38.90	156.6	211.1	5.0
23/06/2003	904	2'008	103	9.60	70.9	135.5	4.9
07/07/2003	913	2'027	93	4.60	47.9	92.3	4.4
22/07/2003	1'018	2'260	108	5.60	88.6	154.1	4.5
04/08/2003	860	1'909	98	12.60	61.5	120.2	4.3
20/08/2003	107	237	18	4.40	45.2	76.2	2.7
15/09/2003	259	575	36	2.60	28.5	57.3	4.8
29/09/2003	383	851	37	3.20	26.2	52.4	6.0
13/10/2003	390	866	46	3.30	34.9	77.9	6.4
03/11/2003	215	477	44	7.50	78.4	231.4	6.0
18/11/2003	490	1'089	57	9.70	95.0	188.8	7.4
09/12/2003	265	588	66	3.80	35.2	61.7	9.2

Tableau 2 : Évolution à long terme de la production primaire nette annuelle (PPAN en gC/m<sup>2</sup>.an) et de la concentration annuelle moyenne en chlorophylle a (en mg/m<sup>3</sup>) intégrée sur 0-10 m.

Table 2 : Long-term change in the net annual primary production (NAPP in gC/m<sup>2</sup>.y and integrated mean annual concentration of chlorophyll a (in mg/m<sup>3</sup>) in the 0-10 m layer

Année	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
PPAN	299	295	293	258	359	268	295	223	205	282	249	272	210	218	381	232	272
chl a 0-10m	6.1	5.8	4.4	4.8	5.6	5.1	5.0	5.2	5.5	6.7	5.8	5.1	5.2	6.3	6.9	7.5	5.8

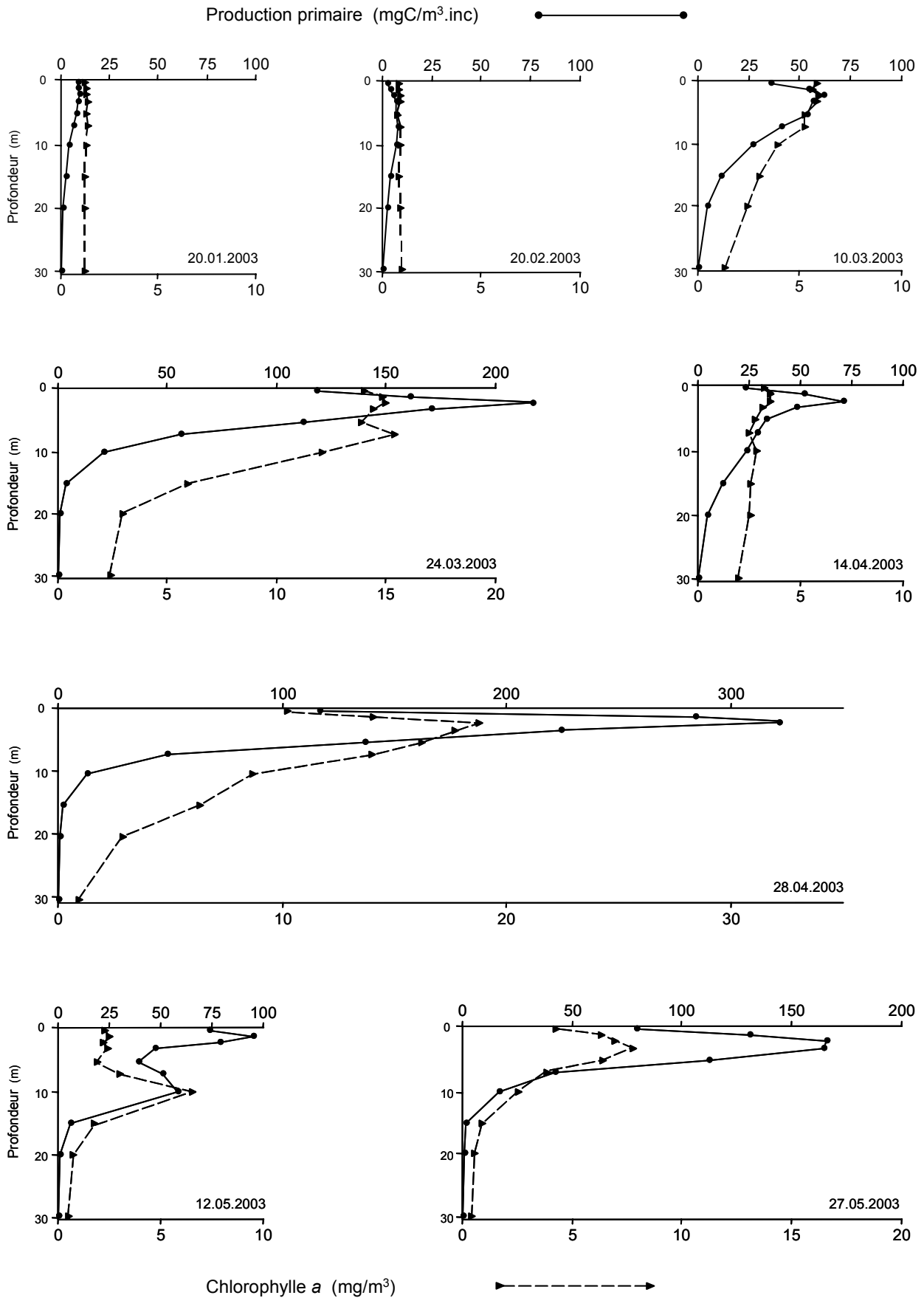


Figure 1 : Profils verticaux de la production primaire (traits pleins, échelles supérieures en mgC fixé par m<sup>3</sup> par incubation) et de la biomasse exprimée en chlorophylle a (traits pointillés, échelle inférieure en mgchl<sub>a</sub> par m<sup>3</sup>) au point SHL2 du 20 janvier au 27 mai 2003

Figure 1: Vertical profiles of the primary production (unbroken line, upper scale in mgC fixed per m<sup>3</sup> per incubation) and phytoplankton biomass expressed as chlorophyll a (dotted line, lower scale in mgchl<sub>a</sub> per m<sup>3</sup>) at the SHL2 station from January 20, to May 27, 2003

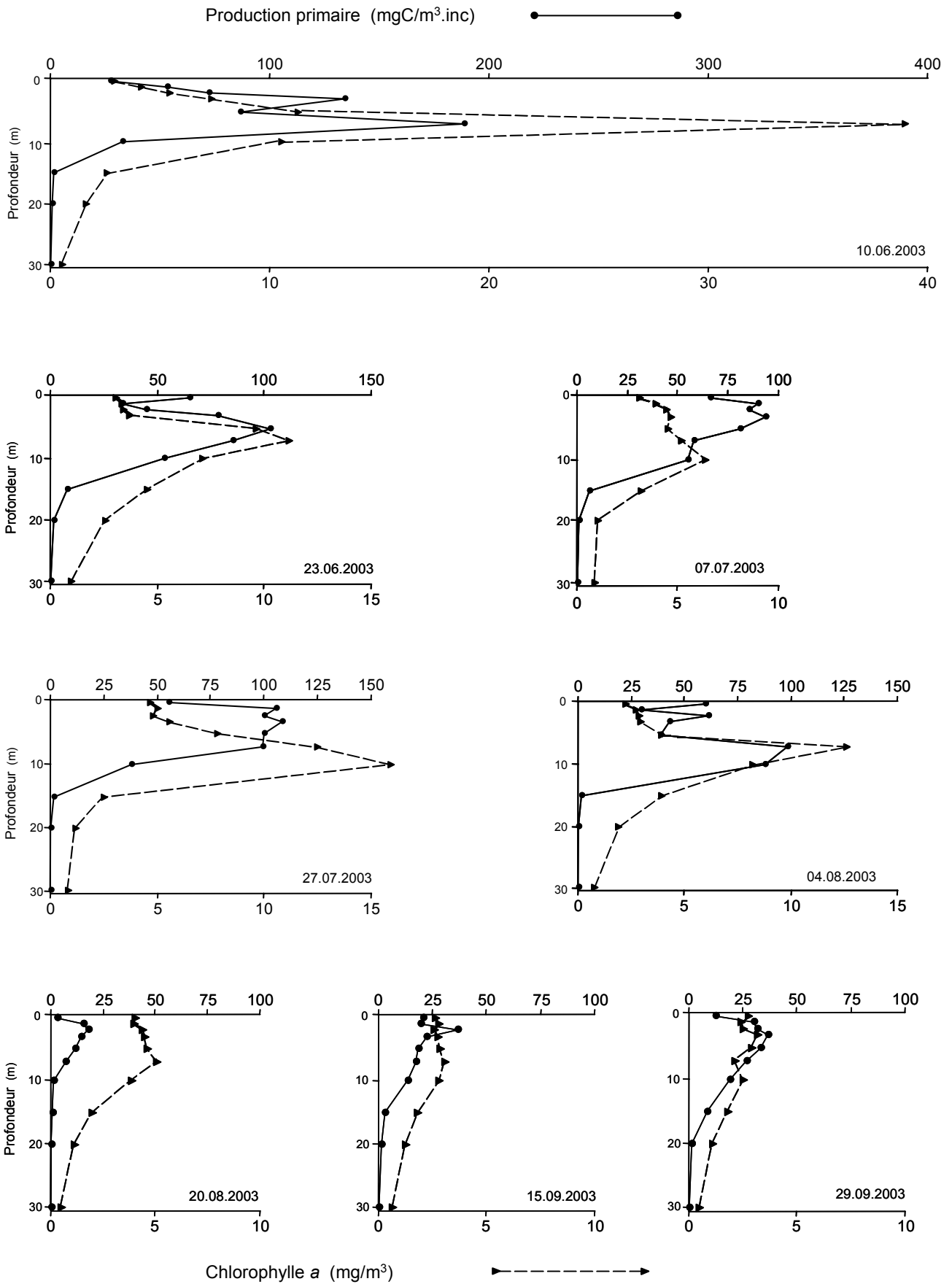


Figure 1 (suite) : Profils verticaux de la production primaire et de la biomasse exprimée en chlorophylle *a* au point SHL2 du 10 juin au 29 septembre 2003 (mêmes unités)

Figure 1 (continued) : Vertical profiles of primary production and biomass at SHL2 station from June 10 to September 29, 2003 (same units as above)

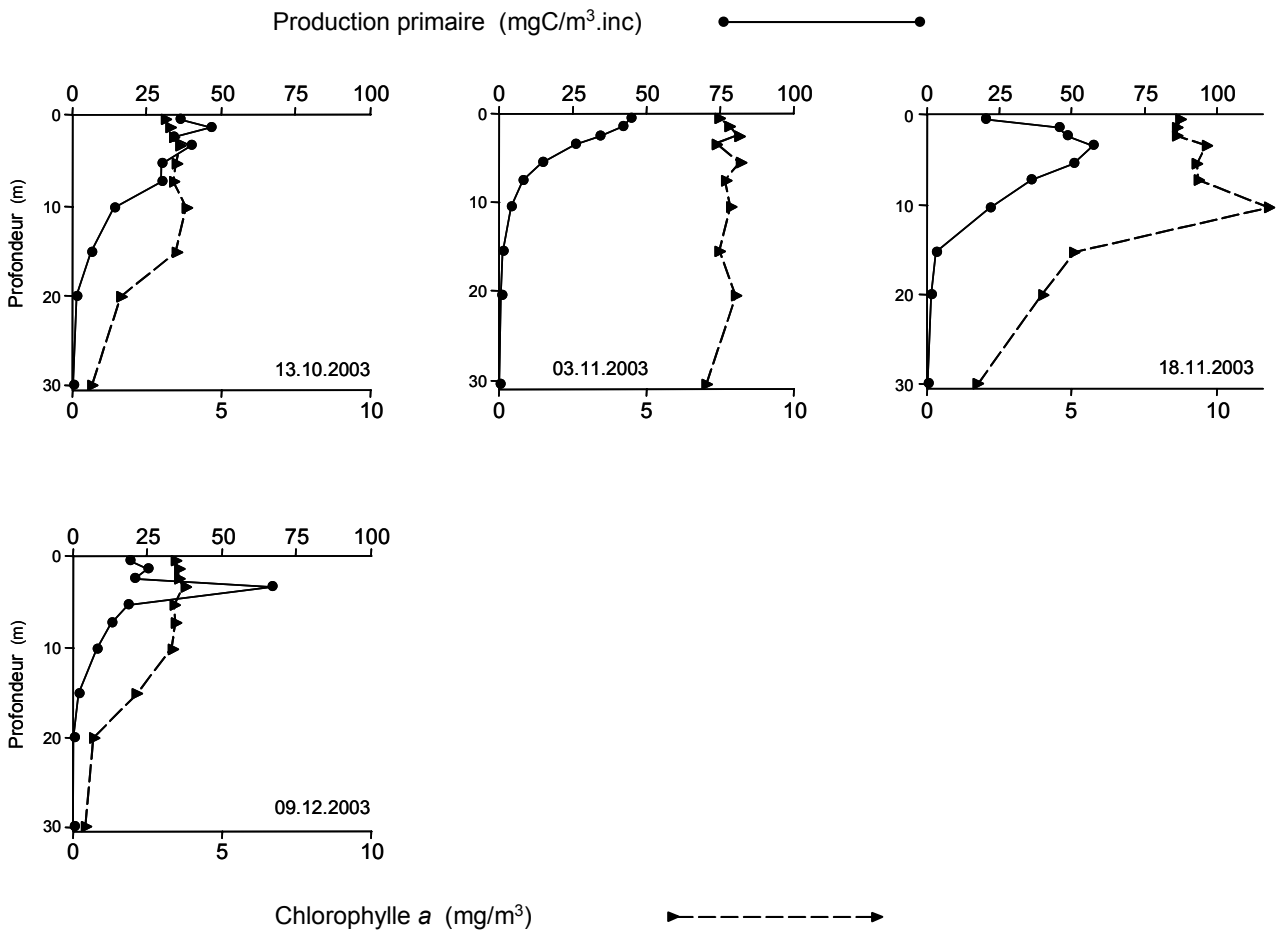


Figure 1 (suite et fin) : Profils verticaux de la production primaire et de la biomasse exprimée en chlorophylle a au point SHL2 du 13 octobre au 9 décembre 2003 (mêmes unités)

Figure 1 (end) : Vertical profiles of primary production and biomass at SHL2 station from October 13 to December 9, 2003 (same units as above)

Les mois d'automne et de début d'hiver sont encore productifs avec une répartition présentant un pic de biomasse, sauf début novembre, signe d'un développement actif du phytoplancton dans la couche euphotique.

La répartition de la biomasse phytoplanctonique, exprimée en mg chl<sub>a</sub>/m<sup>2</sup>, présente également cette année une évolution particulière : lors des pics de biomasse du printemps et de la fin de l'été, la quantité de chlorophylle présente dans la couche 10-30 m est supérieure à celle présente dans la couche supérieure (figure 3). Le phytoplancton se répartit plus en profondeur dans la colonne d'eau.

La transparence, indiquée par la profondeur de disparition du disque de Secchi, est également étroitement liée, de façon inverse, à la biomasse chlorophyllienne (figure 4). Elle est maximale en février et octobre, et minimale en juillet-août

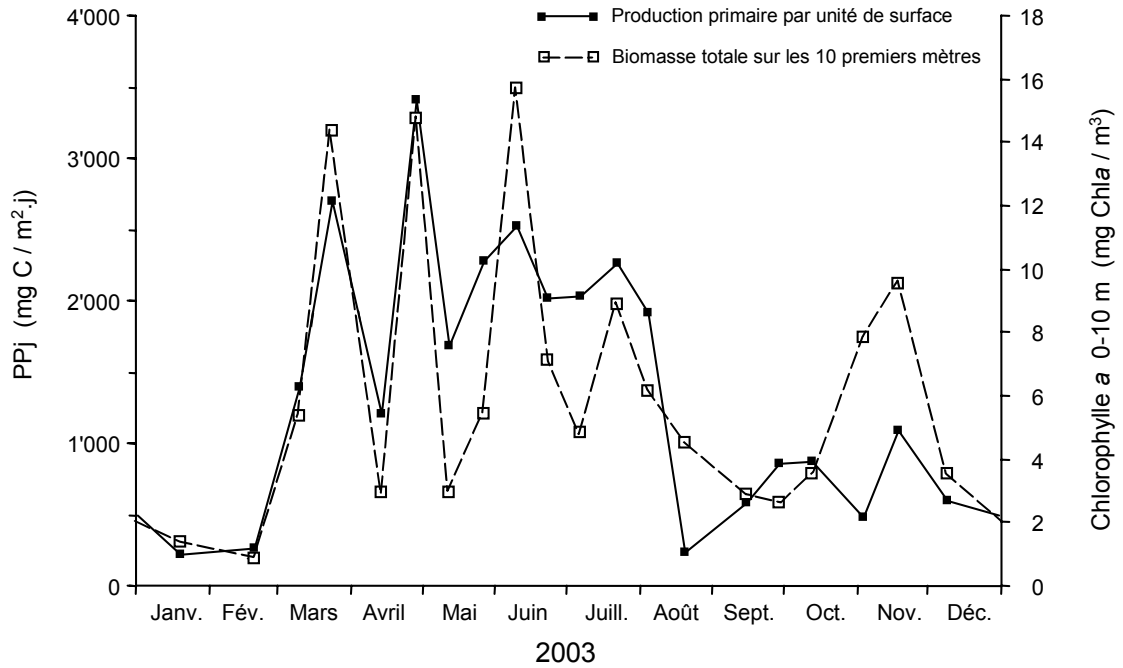


Figure 2 : Évolutions comparées de la production primaire par unité de surface (traits pleins, carrés noirs) et de la biomasse totale intégrée sur les dix premiers mètres (traits pointillés, carrés blancs) au cours de l'année 2003 au point SHL2

Figure 2 : Comparative changes in primary production per surface unit (unbroken line, black squares) and integrated biomass over the top ten meters (dotted line, open squares) during the year 2003 at the SHL2 station

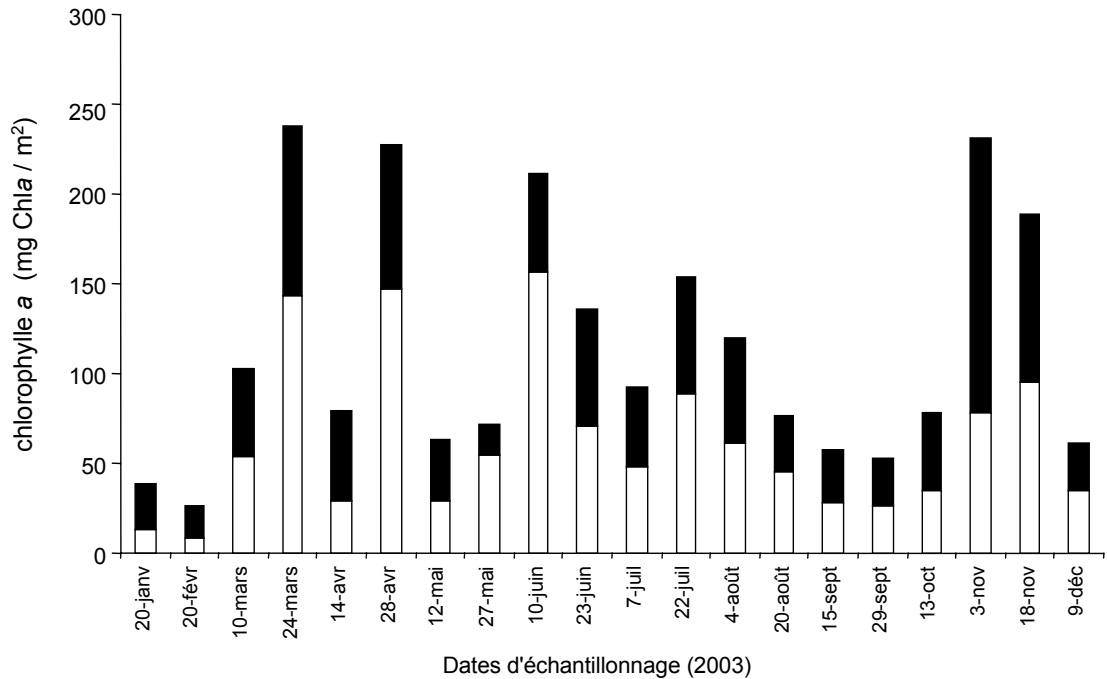


Figure 3 : Évolution des biomasses chlorophylliennes intégrées, au cours de l'année 2003, dans les dix premiers mètres (barres inférieures vides) et dans la couche 10-30 m (barres supérieures pleines) au point SHL2

Figure 3 : Dynamics of the integrated chlorophyll biomass, during the 2003 survey, in the top ten meters (lower open bars) and in the 10-30 m layer (upper filled bars) at the SHL2 station

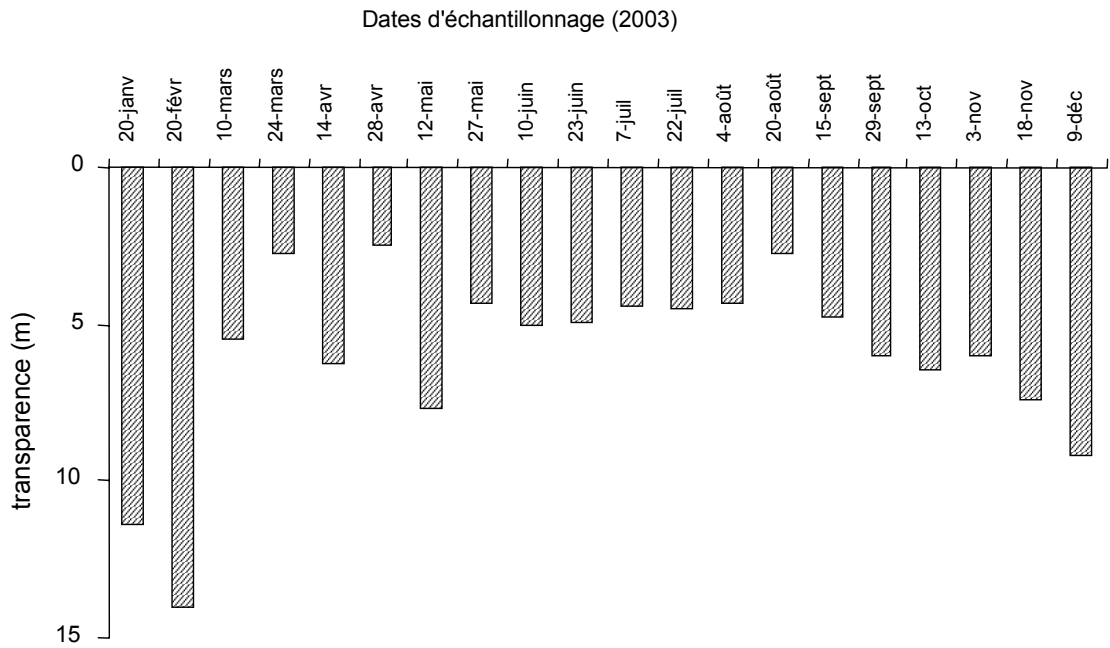


Figure 4 : Évolution de la transparence, mesurée comme profondeur de disparition du disque de Secchi, au cours de l'année 2003 au point SHL2

Figure 4 : Changes in the transparency, expressed as the Secchi depth, during the 2003 survey at the SHL2 station

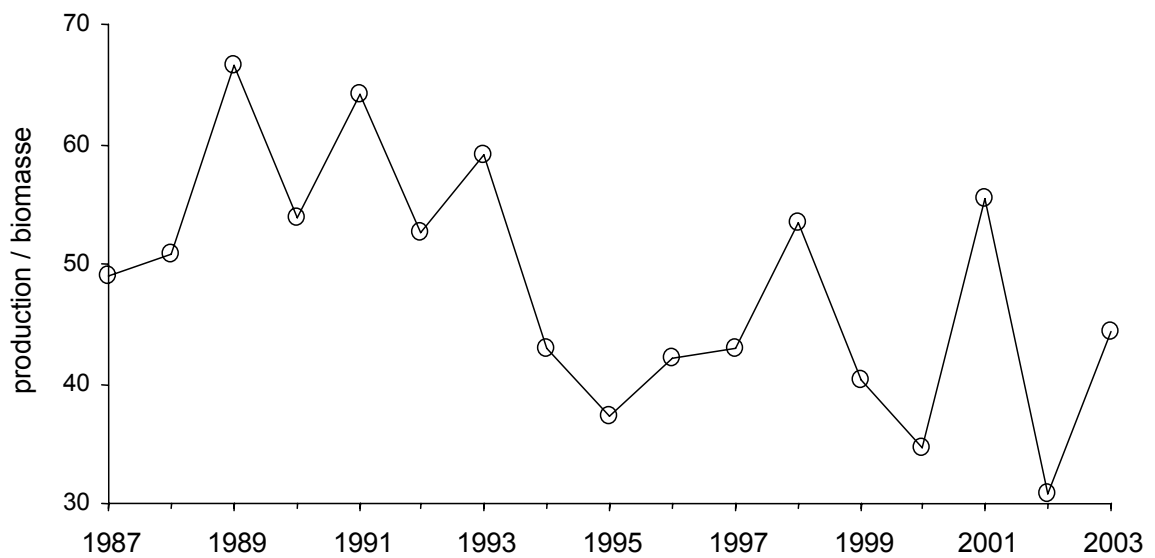


Figure 5 : Évolution au cours des quinze dernières années de la productivité pélagique, exprimée par le rapport production annuelle sur biomasse chlorophyllienne moyenne dans la couche 0-10 m au point SHL2

Figure 5 : Changes over fifteen years in the pelagic production, expressed as the ratio of the annual production in the 0-10 m layer to the mean chlorophyll biomass, at the SHL2 station



### 3.3 Production annuelle

Le calcul de la production annuelle nette cumulée donne une valeur assez faible (272 gC/m<sup>2</sup>.an), soit l'équivalent de 71 % de celle calculée pour l'année 2001 (LEBOULANGER, 2002) et 117 % de la production mesurée en 2002 (LEBOULANGER, 2003). L'absence de tout regain de biomasse phytoplanctonique après la phase printanière relativement peu productive explique le faible taux annuel. Encore une fois les mois hivernaux ne peuvent être considérés comme une période improductive, ce qui pourrait être mis en relation avec des changements environnementaux à grande échelle. Le rapport production totale annuelle sur biomasse chlorophyllienne moyenne 0-10 m (P/C), qui donne une indication sur la productivité des communautés phytoplanctoniques, est faible, dans la continuité de l'apparente décroissance observée entre 1989 et 2000 (tableau 2, figure 5). Cette productivité est égale à environ 46 grammes de carbone fixés par an par milligramme de chlorophylle *a* présente dans la couche 0-10 m. Cette décroissance est susceptible d'être corrélée à l'abondance des formes filamenteuses, puisque celles-ci ont en général un taux d'activité métabolique inférieur à celui des espèces plus petites.

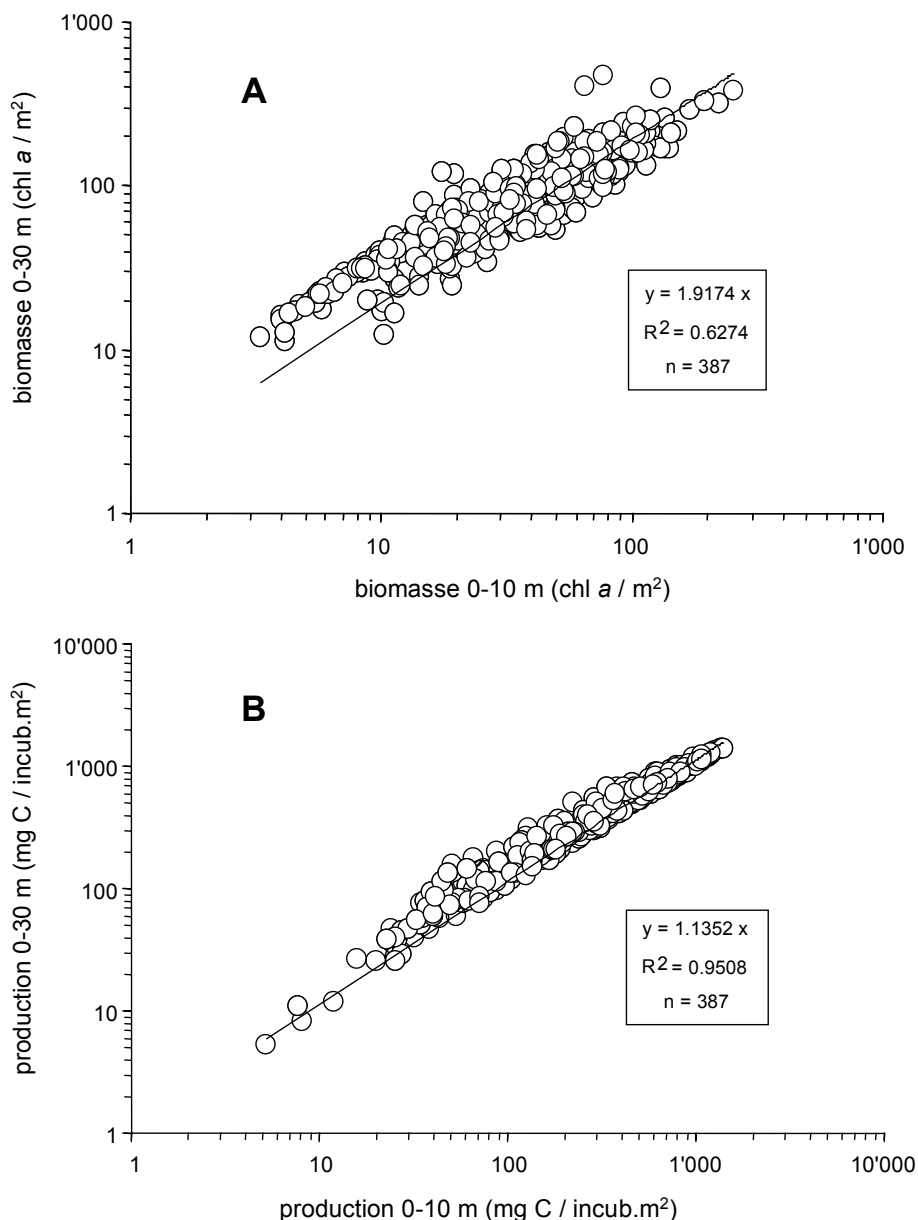


Figure 6 : Relation, au cours des vingt dernières années, entre la biomasse phytoplanctonique pélagique de la couche 0-30 et 0-10 m (A). Relation, au cours des vingt dernières années, entre la production phytoplanctonique pélagique de la couche 0-30 et 0-10 m (B).

Figure 6 : Relationship between the pelagic phytoplankton biomass in the 0-30 and 0-10 m layers over the past twenty years (A). Relationship between the pelagic phytoplankton production in the 0-30 and 0-10 m layers over the past twenty years (B)

#### 4. CONCLUSIONS

L'année 2003 est encore une année atypique, d'une part car la dynamique de l'activité et du stock de phytoplancton ne ressemble pas à celle observée l'année précédente, mais aussi à cause de l'absence de phase de prolifération automnale. La biomasse est cependant parfois très productive. Encore une fois, le phytoplancton colonise les couches d'eau les plus profondes, montrant des abondances significatives au-delà de 10 m de profondeur. Il semble donc que le fonctionnement global du lac soit soumis à une évolution à long terme liée à la diminution des stocks de phosphore, mais reste très sensible à toute perturbation environnementale, qu'elle qu'en soit l'origine. Cependant les variations saisonnières observées ne doivent pas occulter certaines observations sur le long terme, visant à renforcer l'idée de stabilité du système.

En se référant à maintenant vingt années de suivi continu de la production primaire et du stock de phytoplancton dans la zone pélagique du Léman au point SHL2, on s'aperçoit que cet écosystème représente une assez grande stabilité concernant les producteurs primaires. En effet, malgré l'enfoncement constaté de certains peuplements de phytoplancton, au fur et à mesure de l'accroissement de la transparence, le mode de fonctionnement de la zone euphotique est remarquablement stable. La relation entre chlorophylle *a* totale (intégrée sur 0-30 m) et subsurface (intégrée sur 0-10 m) est relativement lâche (figure 6a), mais la part de chaque strate dans la production du système reste constante (figure 6b). Il faut donc s'attendre dans le futur à un tel phénomène de résilience, puisque l'augmentation d'un stock (biomasse) semble compensée par une diminution de sa productivité et vice-versa.

#### BIBLIOGRAPHIE

- ANNEVILLE, O. (2001) : Diagnostic sur l'état de santé écologique du Léman par l'analyse des séries chronologiques du phytoplancton. Thèse Université Claude Bernard, Lyon I, 305 p.
- LEBOULANGER, C. (2002) : Évolution de la production phytoplanctonique dans le Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2001, 61-69.
- LEBOULANGER, C. (2003) : Évolution de la production phytoplanctonique dans le Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2002, 59-67.
- PELLETIER, J.P. (1983) : Mesure de la production primaire en milieu aquatique ; problèmes méthodologiques et éléments d'interprétation. Rev. Fr. Sci. Eau, 2, 339-366.
- STEEMANN-NIELSEN, E. (1952) : The use of radioactive carbon ( $^{14}\text{C}$ ) for measuring organic production in the sea. J. Cons. Int. Exploit. Mer, 18, 117-140.
- STRICKLAND, J.D.H. et PARSONS, T.R. (1968) : A practical handbook of seawater analysis. Bull. Fish. Res. Board Canada, 167, 311 p.