

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

DYNAMICS OF PHYTOPLANKTON PRODUCTION AND CHLOROPHYLL BIOMASS IN LAKE GENEVA

Campagne 2002

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 2002, vingt et une campagnes de mesures du stock et de l'activité phytoplanctonique ont été réalisées au point SHL2. La production annuelle nette a été estimée à 232 g de carbone fixé par m², soit seulement 60 % de celle observée en 2001, et comparable aux estimations des années précédentes. Les événements remarquables de cette année sont : 1) une forte activité de production principalement entre mars et mai, sans seconde poussée en automne, et 2) la persistance d'une biomasse phytoplanctonique significative, liée à une production primaire également forte, pendant les mois d'hiver. La concentration moyenne pondérée en chlorophylle a dans la couche 0-10 m est par contraste plus importante que les années précédentes, avec 7.5 mgchl a/m³, avec une phase d'eaux claires peu ou pas marquée. La productivité moyenne annuelle est cependant relativement faible, dans la continuité de la décroissance observée au cours des années 1999-2000, et comparable à la période 1987-1993. Les mesures réalisées en 2002 semblent donc confirmer le caractère exceptionnel de l'année 2001.

ABSTRACT

During the year 2002, twenty-one surveys measuring the phytoplankton stock and activity were carried out at the SHL2 station. The net annual production was estimated to be around 232 g carbon fixed per square meter, that is only 60 % of the value reported in 2001, but similar to the estimates for the preceding years. 2002 had two unusual features : 1) production rates were high between March and May, without any second peak in autumn, and 2) there was a persistently significant phytoplankton biomass, linked to high primary production, during the winter months. The average balanced chlorophyll a concentration in the 0-10 m layer was, in contrast, higher than in the preceding years, about 7.5 mgchl a/m³, and the clear water period was barely discernable. Finally, the relatively low average annual productivity was consistent with the decline recorded during the 1999-2000 period, and comparable to that which occurred during the years 1987-1993. The determinations performed in 2002 therefore seem to confirm that the pattern for 2001 was unusual.

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), et il est important d'en comprendre les mécanismes.

2. MÉTHODES

Au cours de l'année 2002, les 21 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 LEBOULANGER (2000), la méthode de STEEMAN-NIELSEN (1952) employant le ^{14}C comme traceur a été utilisée pour évaluer in situ 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, enrichi 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, proportionnelle à l'activité du phytoplancton. A 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 $\text{mgchl}a/\text{m}^3$) et de la production primaire (en $\text{mgCassimilé}/\text{m}^3$ 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, mais augmente régulièrement, avant l'apparition d'un pic de biomasse extrêmement élevé le 18 mars. Lors de cette campagne de prélèvements, la biomasse maximale a été de plus de $78\ \text{mgchl}a/\text{m}^3$ en surface, soit près du double de la valeur maximale relevée lors de l'année 2001 par exemple ($42\ \text{mgchl}a/\text{m}^3$ à 15 m le 9 août 2001). Il est également remarquable à cette date que la biomasse et la production primaire soient extrêmement concentrées dans les cinq premiers mètres sous la surface, ce qui est une situation inhabituelle. Lors de cette campagne, la biomasse phytoplanctonique a été dominée par les espèces nanoplanctoniques, dont des cryptophycées du genre *Rhodomonas* et la diatomée *Fragilaria crotonensis* (DRUART et LAVIGNE, 2003). Les lois de l'allométrie font que les petites espèces ont un métabolisme plus actif, et la forte production est également liée à une brusque diminution de la quantité de phosphore présente dans la couche supérieure du lac (LAZZAROTTO *et al.*, 2003).

La production primaire pré-estivale culmine à près de 1000 mg C fixé par litre et par incubation à 5 mètres le 18 mars, prolifération printanière inhabituellement précoce et intense. La phase des eaux claires qui suit est peu marquée, et la transparence ne dépasse 5 m que le 15 mai suivant. 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 marquée. La production primaire dans son ensemble suit le même processus.

Les mois d'automne ne présentent également pas d'augmentation brusque des paramètres de biomasse et de production, et 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).

Tableau 1 : Principaux paramètres de la production primaire. ΣA : 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. ΣA : 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	ΣA mgC/m ² .inc	PPj mgC/m ² .j	Amax mgC/m ³ .inc	Chl Amax mg/m ³	Chl 0-10 mg/m ²	Chl 0-30 mg/m ²	Tds m
15/01/2002	87	192	9	0.74	7.6	22.5	13.2
11/02/2002	363	805	28	1.79	17.9	51.6	11.8
05/03/2002	452	1004	30	1.69	16.6	50.7	13.0
18/03/2002	1831	4064	941	78.42	379.1	526.1	1.5
17/04/2002	1489	3305	283	8.58	67.8	90.9	3.5
30/04/2002	282	625	56	9.99	87.3	156.3	3.5
15/05/2002	164	364	13	2.25	21.5	49.4	5.3
29/05/2002	182	405	56	20.36	105.5	131.2	2.6
12/06/2002	828	1839	171	25.25	150.4	210.7	3.7
27/06/2002	445	987	65	16.40	158.9	278.9	4.4
08/07/2002	463	1027	104	12.29	117.4	164.8	2.8
23/07/2002	583	1294	92	9.27	85.1	130.4	3.5
05/08/2002	423	939	63	7.79	74.0	141.0	5.8
19/08/2002	398	884	57	4.85	43.8	89.0	3.8
10/09/2002	300	665	35	5.40	52.6	118.3	6.0
30/09/2002	237	527	41	6.99	83.0	128.7	4.8
16/10/2002	249	552	62	7.00	55.6	83.3	5.4
28/10/2002	335	743	36	3.03	30.1	90.4	7.5
13/11/2002	110	243	13	2.24	24.2	62.2	8.2
25/11/2002	119	264	15	2.34	22.6	45.5	8.4
17/12/2002	293	650	43	2.66	28.0	47.9	9.6

3.2 Variations saisonnières

Les trois premiers mois de l'année montrent une biomasse élevée, en tout point comparable à celle habituellement relevée au cours du premier pic printanier, mais avec une activité inférieure (qui reste cependant très élevée et contribue significativement à la forte production totale de l'année 2001). La biomasse totale 0-30 m décroît graduellement de janvier à fin mars (de 210 à 130 mgchl a/m²), et chute ensuite plus abruptement. La phase printanière (biomasse et production élevées) est marquée de façon semblable aux années précédentes, avec un maximum de biomasse exprimée en chlorophylle a de 158 mg/m² 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. Cette poussée printanière est suivie d'une phase claire peu marquée en juin puis d'une nouvelle et très forte augmentation en juillet.

Tableau 2 : Évolution à long terme de la production primaire nette annuelle (PPAN en gC/m².an) et de la concentration annuelle moyenne en chlorophylle a (en mg/m³) intégrée sur 0-10 m.

Table 2 : Long-term change in the net annual primary production (NAPP in gC/m².y and integrated mean annual concentration of chlorophyll a (in mg/m³) in the 0-10 m layer

Année	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
PPAN	299	295	293	258	359	268	295	223	205	282	249	272	210	218	381	232
chl a 0-10	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

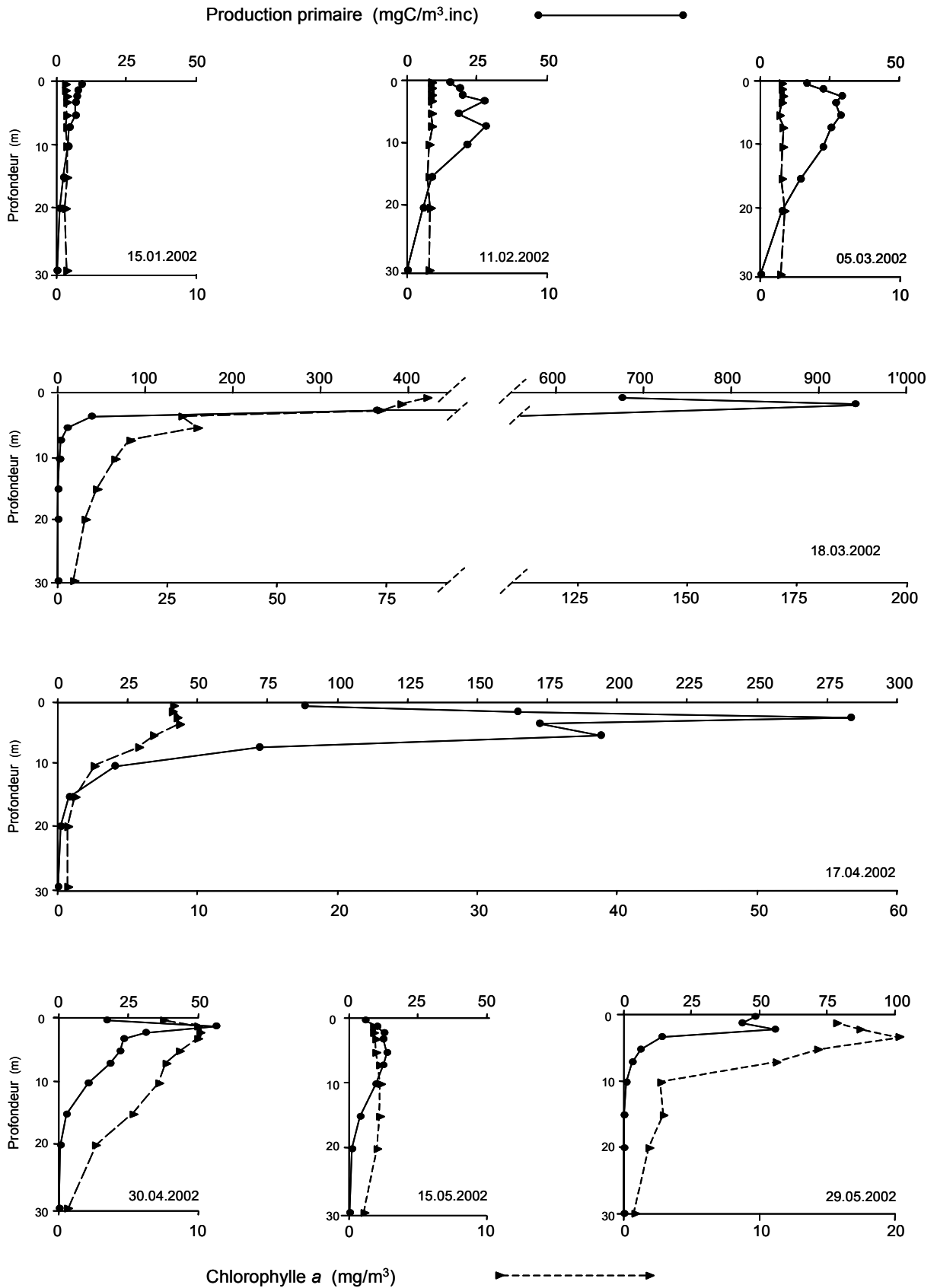


Figure 1 : Profils verticaux de la production primaire (traits pleins, échelles supérieures en mgC fixé par m³ par incubation) et de la biomasse exprimée en chlorophylle a (traits pointillés, échelle inférieure en mgchla par m³) au point SHL2 du 15 janvier au 29 mai 2002

Figure 1: Vertical profiles of the primary production (unbroken line, upper scale in mgC fixed per m³ per incubation) and phytoplankton biomass expressed as chlorophyll a (dotted line, lower scale in mgchla per m³) at the SHL2 station from January 15, to May 29, 2002

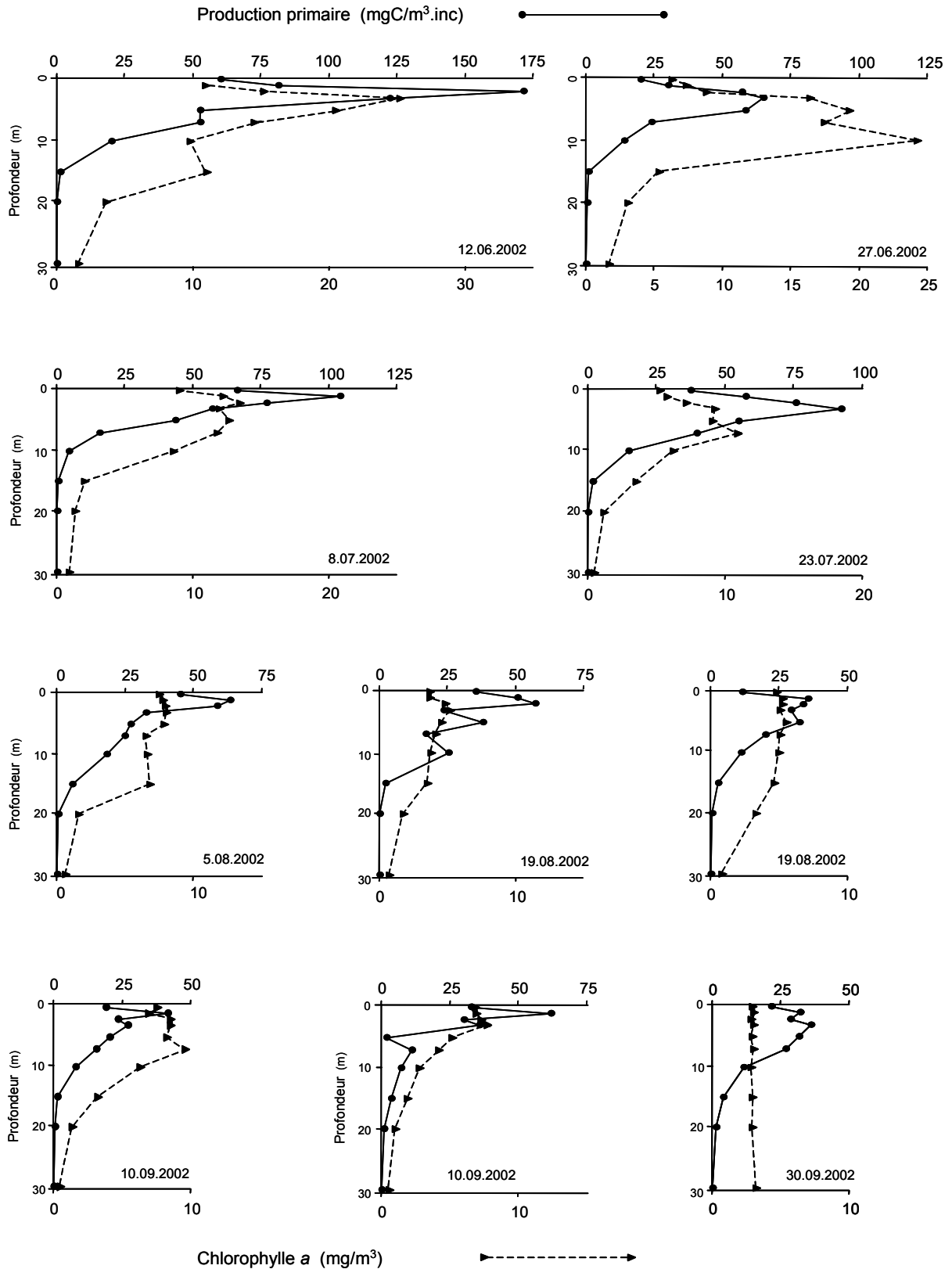


Figure 1 (suite) : Profils verticaux de la production primaire et de la biomasse exprimée en chlorophylle a au point SHL2 du 12 juin au 30 septembre 2002 (mêmes unités).

Figure 1 (continued) : Vertical profiles of primary production and biomass at SHL2 station from June 12 to September 30, 2002 (same units as above).

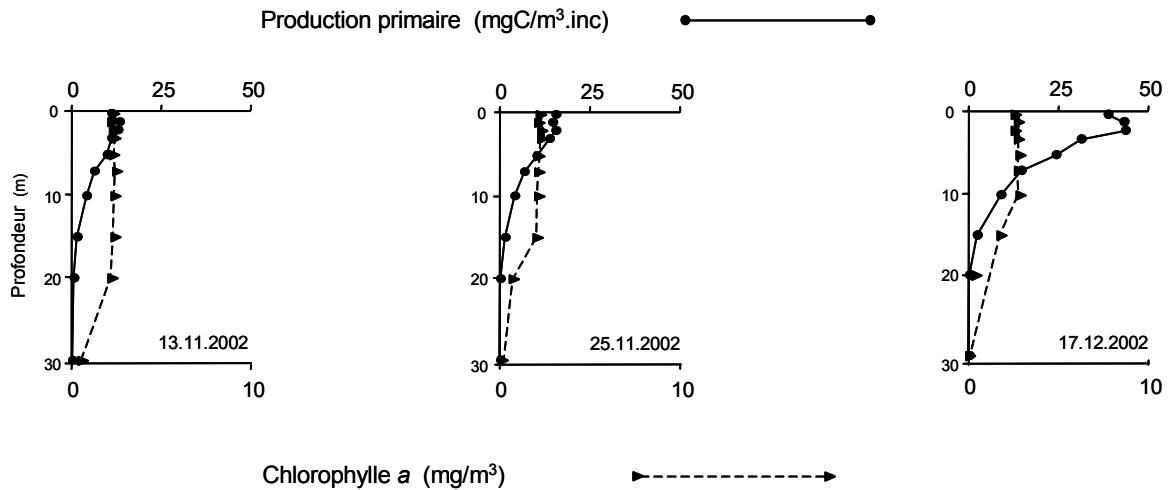


Figure 1 (suite et fin) : Profils verticaux de la production primaire et de la biomasse exprimée en chlorophylle a au point SHL2 du 13 novembre au 17 décembre 2002 (mêmes unités)

Figure 1 (end) : Vertical profiles of primary production and biomass at SHL2 station from November 13 to December 17, 2002 (same units as above)

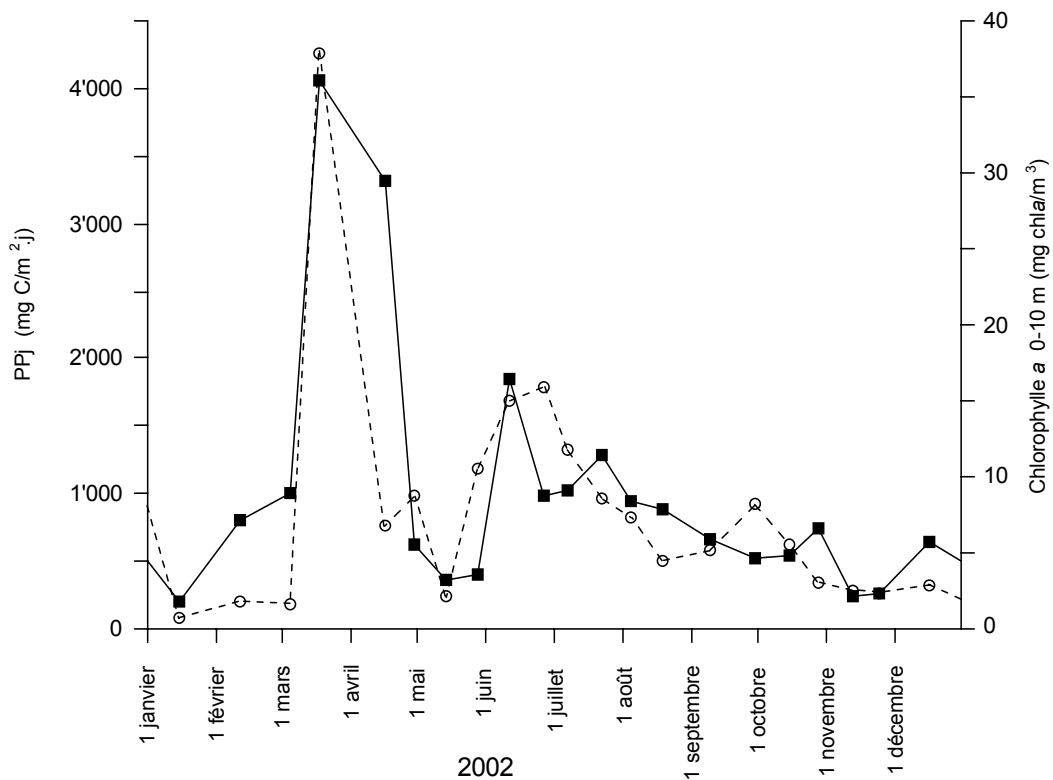


Figure 2 : Évolutions comparées de la production primaire par unité de surface (traits pleins, carrés noirs) et de la biomasse totale intégrée sur les dix premiers mètres (traits pointillés, cercles blancs) au cours de l'année 2002 au point SHL2

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 circles) during the year 2002 at the SHL2 station

La répartition de la biomasse phytoplanctonique, exprimée en $\text{mg chla}/\text{m}^2$, 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.

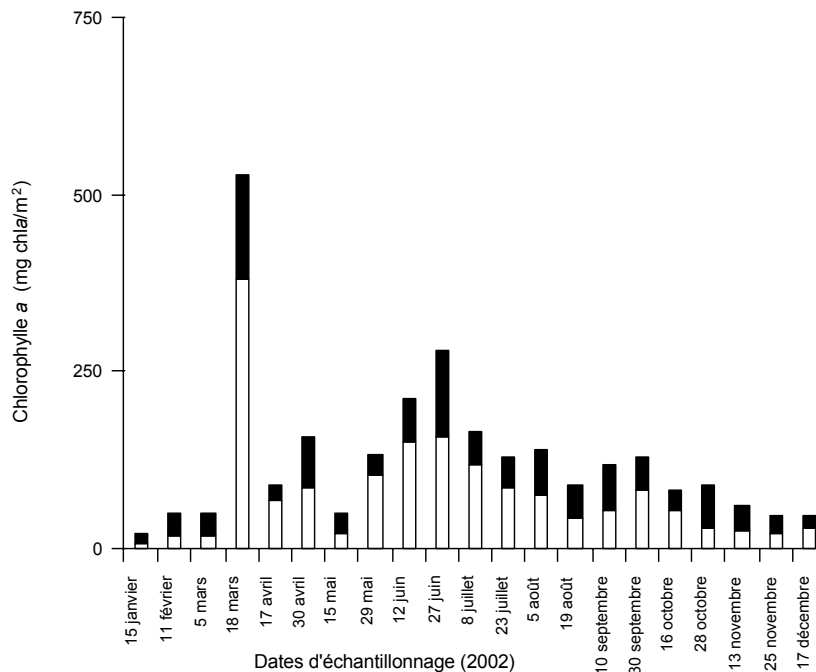


Figure 3 : Évolution des biomasses chlorophylliennes intégrées, au cours de l'année 2002, dans les dix premiers mètres (barres inférieures vides) et dans la couche 10-30 m (barres supérieures pleines) au point SHL2

Figure 3 : Dynamics of the integrated chlorophyll biomass, during the 2002 survey, in the top ten meters (lower open bars) and in the 10-30 m layer (upper filled bars) at the SHL2 station

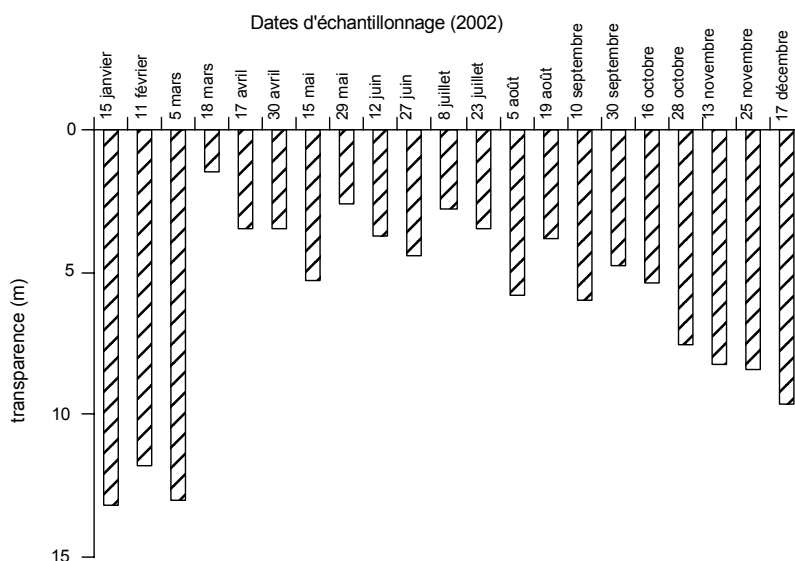


Figure 4 : Évolution de la transparence, mesurée comme profondeur de disparition du disque de Secchi, au cours de l'année 2002 au point SHL2

Figure 4 : Changes in the transparency, expressed as the Secchi depth, during the 2002 survey at the SHL2 station

3.3 Production annuelle

Le calcul de la production annuelle nette cumulée donne une valeur assez faible (232 gC/m².an), soit l'équivalent de 61 % de celle calculée pour l'année 2001 (LEBOULANGER, 2002). Malgré les records de production enregistrés au mois de mars, l'absence de tout regain de biomasse phytoplanctonique pendant le reste de l'année 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 31 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.

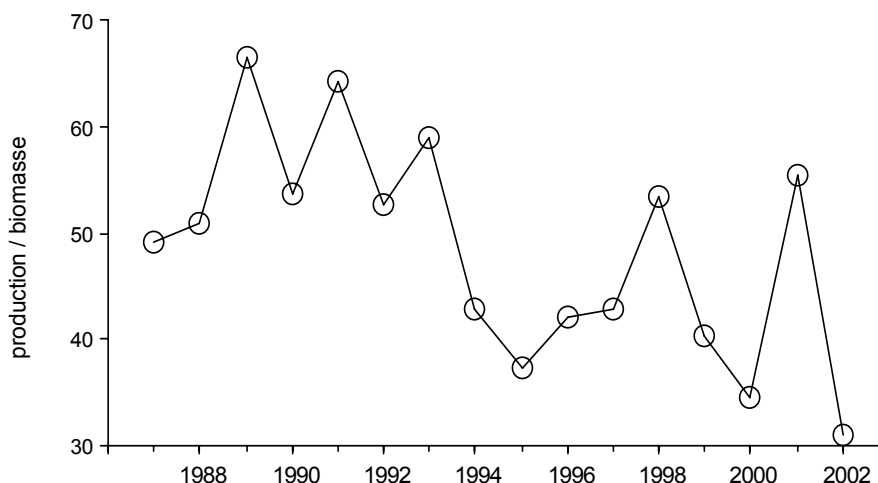


Figure 5 : Évolution au cours des quinze dernières années de la productivité pélagique, exprimée par le rapport production annuelle sur biomasse chlorophyllienne moyenne dans la couche 0-10 m au point SHL2

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

4. CONCLUSIONS

L'année 2002 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 élevée et très productive, les mesures du 18 mars étant parmi les plus hautes jamais enregistrées depuis des années. 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.

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.
- DRUART, J.C., LAVIGNE, S. et PERFETTA, J. (2003) : Évolution du phytoplancton du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2002, 69-83.
- LAZZAROTTO, J., RAPIN, F. et CORVI, C. (2003) : Évolution physico-chimique et recherche de métaux et de quelques micropolluants dans les eaux du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2002, 31-58.
- LEBOULANGER, C. (2002) : Évolution de la production phytoplanctonique dans le Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2001, 61-69.
- 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}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.