

# PRODUCTION PRIMAIRE ET BIOMASSE CHLOROPHYLLIENNE DANS LE LÉMAN

## PRIMARY PRODUCTION AND CHLOROPHYLL *a* BIOMASS IN LAKE GENEVA

Campagne 2008

PAR

Rémy D. TADONLEKE

avec la collaboration technique de

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

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

### RÉSUMÉ

*Au cours de cette année 2008, le pic de biomasse chlorophyllienne (Chl *a*) est mesuré au printemps alors que ceux de la production primaire (PP) et de la capacité photosynthétique sont mesurés en été. La biomasse chlorophyllienne totale n'était pas le facteur majeur expliquant les modifications de la transparence des eaux, contrairement aux observations des 5 dernières années. Les moyennes annuelles de PP et de biomasse chlorophyllienne étaient plus faibles que celles des 9 dernières années. Même si une tendance nette n'est pas observée au niveau de ces moyennes annuelles de PP et de la Chl *a* au cours de cette décennie 1998-2008, une diminution sensible de ces variables, ainsi que du maximum de concentration de Chl *a* enregistré chaque année, est notée depuis 2001, exception faite de l'année 2007, caractérisée par le développement d'un bloom de l'algue filamenteuse *Mougeotia gracillima*. Cette baisse semble suivre celle des concentrations de phosphore dans le lac, et pourrait être plus visible au cours des prochaines années si ces concentrations continuent de diminuer.*

### ABSTRACT

*During 2008, the peak biomass of chlorophyll (Chl *a*) was measured in the spring, whereas the peak values of the primary production (PP) and the photosynthesis capacity were measured in the summer. The total chlorophyll biomass was not the major factor accounting for changes in the transparency of the water, in contrast to the observations in the 5 previous years. The mean annual PP and chlorophyll biomass values were lower than those for the previous 9 years. Although no clear trend was observed in these mean annual PP and Chl *a* values during the 1998-2008 decade, a marked fall in these variables, and of the peak concentration of Chl *a* was recorded every year since 2001, with the exception of 2007, which was characterised by the development of a bloom of the filamentous alga *Mougeotia gracillima*. This fall seems to follow that of the concentrations of phosphorus in the lake, and could become more obvious in the next few years if these concentrations continue to fall.*

## 1. INTRODUCTION

Ce rapport présente les données de production primaire (PP) et de biomasse phytoplanctonique (estimée par la chlorophylle *a*) dans le Léman au cours de l'année 2008. Un problème de mesure (mauvaise injection de la solution marquée) a été noté lors de l'une des campagnes (27 octobre 2008). Pour cette raison, les résultats présentés pour la PP concernent 19 campagnes au lieu de 20. L'évolution des variables phytoplanctoniques au cours des 10 dernières années (1998-2008) est également présentée, pour comparaison avec la tendance observée pour les concentrations de phosphore total.

## 2. MÉTHODES

L'échantillonnage a été réalisé entre le 8 janvier et le 15 décembre 2008 aux profondeurs habituelles (0, 1, 2.5, 5, 7.5, 10, 15, 20, 30 m). Les méthodes d'analyse mises en oeuvre sont les mêmes que celles utilisées lors des années précédentes. La transparence de l'eau a été mesurée à l'aide d'un disque blanc de 30 cm de diamètre. La chlorophylle *a* (Chl *a*), utilisée ici comme estimateur de la biomasse phytoplanctonique, a été analysée au spectrophotomètre (STRICKLAND et PARSONS, 1968).

La biomasse en poids frais et la composition du phytoplancton sont présentées dans un autre rapport dans ce volume (RIMET et DRUART 2009). La PP a été mesurée par l'incorporation du  $^{14}\text{C}$  par le phytoplancton (STEEMAN-NIELSEN, 1952). Faute de disponibilité des valeurs de lumière incidente et pour des raisons de comparaison avec les 10 dernières années, la PP mesurée a été convertie en production journalière à l'aide du facteur 2.22 (PELLETIER, 1983). Il est à noter que cette méthode surestime la PP, comparée à la méthode utilisant la lumière. Dans le cadre de la comparaison interannuelle, la biomasse chlorophyllienne et la PP ont été intégrées dans la zone 0 - 30 m. Dans le calcul de la PP annuelle, la PP nette a été estimée en considérant qu'elle représente 60 % de la PP mesurée. Les relations entre variables sont examinées à l'aide de régressions simples après transformation logarithmique des données.

### 3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

#### 3.1. Répartition verticale

La répartition verticale de la biomasse et de la production phytoplanctoniques dans la zone 0 - 30 m au cours des 20 (ou 19 pour la PP) campagnes est illustrée sur la figure 1. Les variables phytoplanctoniques calculées à partir de ces données, ainsi que la transparence de l'eau sont présentées dans le Tableau 1. Les valeurs de biomasse chlorophyllienne et de PP étaient homogènes dans la colonne d'eau et inférieures respectivement à  $2 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  et  $10 \mu\text{gC}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{inc}^{-1}$  lors des deux premières campagnes de prélèvement. La stratification verticale des valeurs est observée à partir de la 3<sup>e</sup> campagne pour la PP et de la 5<sup>e</sup> campagne pour la Chl a, alors que la stratification thermique n'est installée qu'à partir de la 7<sup>e</sup> campagne (13 mai) (LAZZAROTTO et RAPIN, 2009). D'une façon générale, cette stratification des variables biologiques a persisté jusqu'en automne (bien que n'étant pas très nette pour la biomasse chlorophyllienne dans certains cas) et les plus fortes valeurs étaient généralement observées entre 1 m et 7.5 m. Il est à noter que les plus fortes valeurs de biomasse chlorophyllienne et de PP mesurées dans la colonne d'eau étaient respectivement de  $12 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  et  $83 \mu\text{gC}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{inc}^{-1}$ , et par conséquent largement inférieures à celles mesurées en 2007 (respectivement  $37 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  et  $170 \mu\text{gC}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{inc}^{-1}$ ).

Tableau 1 : Principaux paramètres de la production primaire dans la zone 0-20 m.  $\Sigma A$  : 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; nd : non déterminé.

Table 1 : Main primary production parameters in the 0-20 m zone.  $\Sigma A$  Total primary production during the incubation period; PPd : calculated daily primary production; Amax : maximal production during the incubation period, corresponding to Chl Amax biomass; Tds: Secchi depth; nd : not determined.

DATE	$\Sigma A$ ( $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{inc}^{-1}$ )	PPj ( $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{j}^{-1}$ )	Amax ( $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{inc}^{-1}$ )	Chl Amax ( $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}$ )	Chl 0-20 ( $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}$ )	Tds (m)
08-janv-08	78.84	175.03	6.06	0.84	14.80	12.70
11-févr-08	110.86	246.11	8.57	1.29	23.71	15.00
03-mars-08	341.29	757.67	31.47	3.81	84.49	7.70
31-mars-08	326.75	725.39	32.27	5.00	64.04	8.00
09-avr-08	228.66	507.63	37.90	6.91	132.66	6.20
21-avr-08	264.50	587.19	67.92	12.02	111.72	3.80
13-mai-08	556.13	1234.61	53.31	5.24	69.94	10.00
22-mai-08	383.29	850.91	64.09	4.83	45.20	5.60
02-juin-08	448.99	996.77	70.56	6.33	101.72	6.60
17-juin-08	754.72	1675.49	57.02	4.34	86.39	6.90
10-juil-08	631.21	1401.28	53.86	2.79	82.81	4.30
28-juil-08	711.57	1579.67	48.66	4.10	94.37	6.50
06-août-08	791.99	1758.22	83.20	3.92	78.31	4.90
18-août-08	749.83	1664.62	69.70	4.80	100.71	5.80
09-sept-08	401.25	890.77	57.40	4.41	70.01	5.80
29-sept-08	453.55	1006.89	51.53	5.26	76.97	5.60
15-oct-08	413.41	917.77	57.60	6.29	75.03	7.50
27-oct-08	nd	nd	nd	nd	71	8.8
04-nov-08	185.20	411.14	40.12	4.85	81.15	7.20
15-déc-08	126.51	280.85	14.67	2.68	48.83	7.20

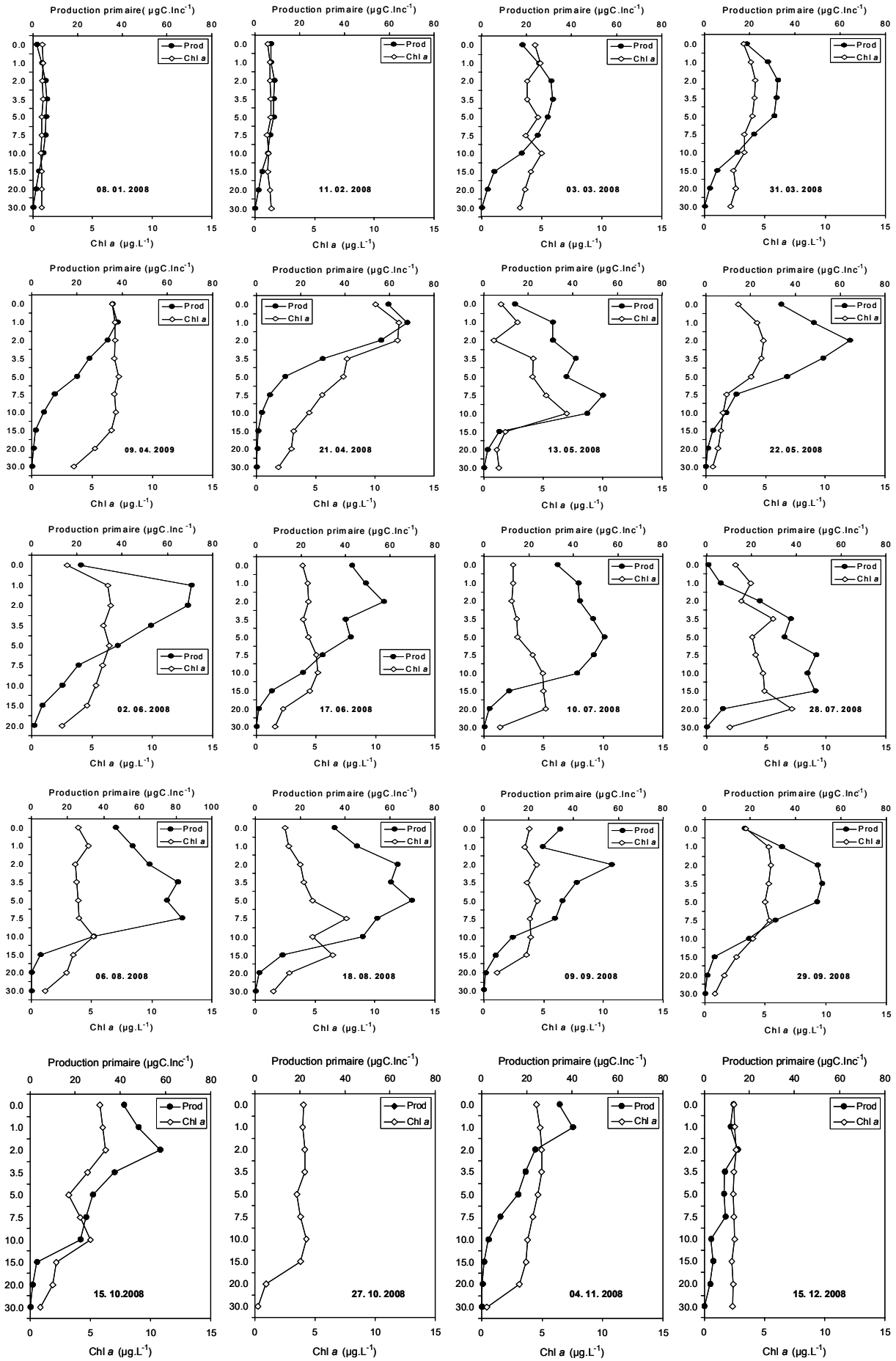


Figure 1 : Profils verticaux de la production primaire (cercle) et de la biomasse chlorophyllienne (losange) au point SHL2 du 8 janvier au 15 décembre 2008.

Figure 1 : Vertical profiles of the primary production (circle) and of the biomass expressed in terms of chlorophyll a (rhombus) at point SHL2 from January 8 to December 15, 2008.

### 3. 2. Evolution saisonnière des variables mesurées

Bien que la chute de la transparence entre janvier et avril coïncide avec l'augmentation de la biomasse chlorophyllienne, les pics de cette dernière ne coïncidaient pas souvent avec les baisses de transparence (figure 2a, Tableau 1). De ce fait, la relation entre ces deux variables n'est statistiquement significative que lorsque les deux premières campagnes sont prises en compte dans l'analyse ( $R^2 = 0.49$ ,  $P = 0.006$ ,  $n = 20$ ). L'exclusion de ces deux données de l'analyse engendre l'absence de relation statistique significative ( $R^2 = 0.087$ ,  $P = 0.29$ ,  $n = 18$ ) entre ces deux variables. La réalisation du test avec la chlorophylle a mesurée dans les dix premiers mètres de la colonne d'eau a donné les mêmes résultats. Ces résultats suggèrent que pendant la majeure partie de l'année 2008, la biomasse chlorophyllienne totale n'était pas un important facteur de la variation saisonnière de la transparence de l'eau, contrairement aux observations des 5 dernières années.

Le pic printanier de biomasse chlorophyllienne ( $6.6 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ) était obtenu en avril comme au cours de la majorité des 7 dernières années. La diminution drastique de cette biomasse entre le 9 avril et le 22 mai coïncidait avec l'augmentation et le pic printanier du zooplancton crustacé (PERGA et LAINE, 2009), indiquant la phase des eaux claires. Le pic automnal du zooplancton crustacé entre le 29 septembre et le 27 octobre (PERGA et LAINE, 2009) n'avait pas, de façon apparente, une incidence négative sur la biomasse chlorophyllienne, qui, au contraire, augmentait (figure 2a).

Les valeurs de la PP intégrée dans la zone 0-20 m ont augmenté progressivement à partir de  $78 \mu\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{inc}^{-1}$  mesurée lors de la première campagne et ont atteint les maxima ( $750 - 795 \mu\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{inc}^{-1}$ ) entre mi-juin et mi-août avant de décroître pour atteindre  $126 \mu\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{inc}^{-1}$  à la dernière campagne en fin d'automne (figure 2b). Comme mentionné pour les profils verticaux, les valeurs intégrées dans la zone 0-20 m sont inférieures à celles mesurées en 2007 (maximum =  $1066 \mu\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{inc}^{-1}$  TADONLEKE, 2008). L'évolution temporelle des valeurs de la capacité photosynthétique du phytoplancton ( $P_{\text{max}} : \text{Chl}$ ) était semblable à celle de la PP intégrée (figure 2B), indiquant son influence sur cette dernière. Les valeurs maximales de  $P_{\text{max}} : \text{Chl}$  ont été observées en été, notamment le 10 juillet et le 06 août (figure 2b), les Dinophycées, les Cyanobactéries, les Chrysophycées autres et/ou les diatomées constituant la majeure partie de la biomasse (RIMET et DRUART, 2009). La chute de la productivité observée à partir de la campagne du 06 août pourrait être due à la diminution des concentrations de nutriments en été, combinée à la baisse de la température des eaux notable dès la deuxième campagne de septembre (LAZZAROTTO et RAPIN, 2009).

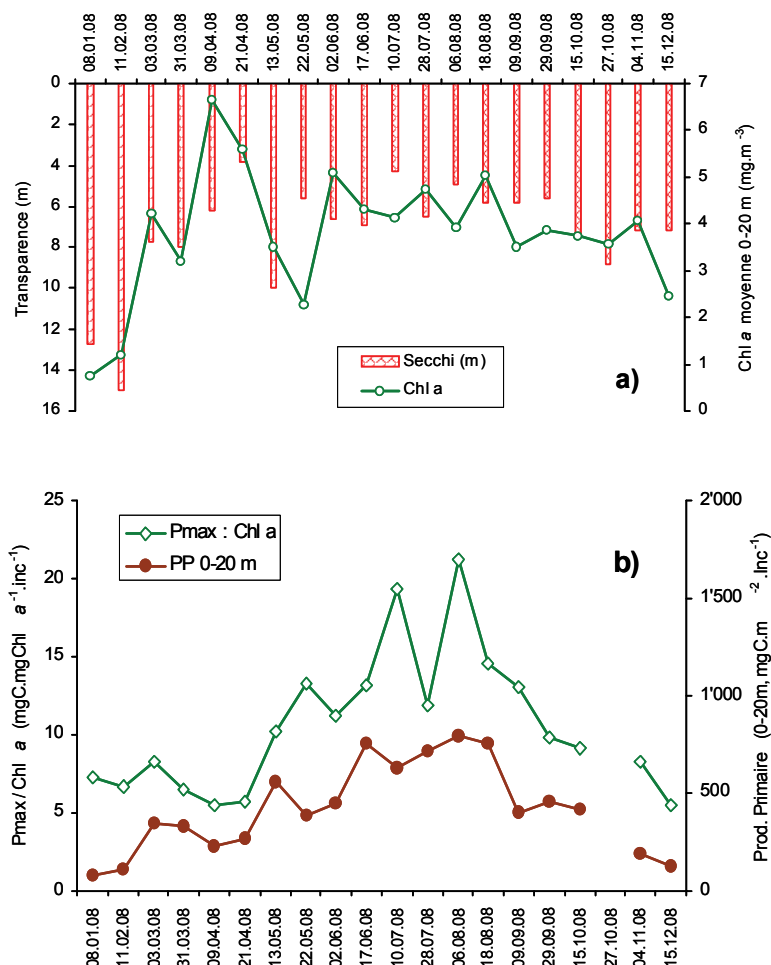


Figure 2. Evolution saisonnière (a) de la biomasse chlorophyllienne et de la transparence des eaux, et (b) de la production primaire et de la capacité photosynthétique.

Figure 2 : Seasonal change (a) in the chlorophyll biomass and water transparency, and (b) in the primary production and the photosynthesis capacity..

### 3.3 Evolution interannuelle au cours de la dernière décennie

L'évolution des moyennes annuelles de la biomasse chlorophyllienne, de la PP intégrée dans la zone 0-30 m et du rapport production/biomasse chlorophyllienne au cours des dix dernières années est présentée sur la figure 3 (a, b,c). Il n'apparaît pas de tendance nette à la diminution en dépit du fait que la concentration moyenne annuelle de phosphore total (P<sub>tot</sub>) est passée au dessous de 30 µg·L<sup>-1</sup> depuis 2004 (LAZZAROTTO et RAPIN, 2008). Les prédictions indiquent que pour les lacs tempérés profonds en cours de restauration par réduction des concentrations de nutriments, une diminution significative, puis le maintien de faibles valeurs des variables phytoplanctoniques sont observés quand la concentration de P<sub>tot</sub> dans la zone pélagique est inférieure à ce seuil de 30 µgP·L<sup>-1</sup> (SAS, 1989). Dans le cas du Léman, en dépit de l'absence de tendance nette sur la dernière décennie, on peut constater, depuis 2001, une diminution sensible des moyennes annuelles de PP et de biomasse chlorophyllienne, ainsi que des maxima de cette biomasse (figure 2a, c), exception faite de l'année 2007, caractérisée par le développement d'un bloom de l'algue filamenteuse *Mougeotia gracillima*. Dans le même ordre d'idées, les moyennes de PP et de biomasse chlorophyllienne pour l'année 2008 sont plus faibles que celles des 9 dernières années (figure 2a). On peut alors penser que la décroissance des variables phytoplanctoniques est bien là, mais qu'elle est très lente, qu'elle va se poursuivre et sera plus visible dans les quelques années à venir, en accord avec la diminution des concentrations de phosphore.

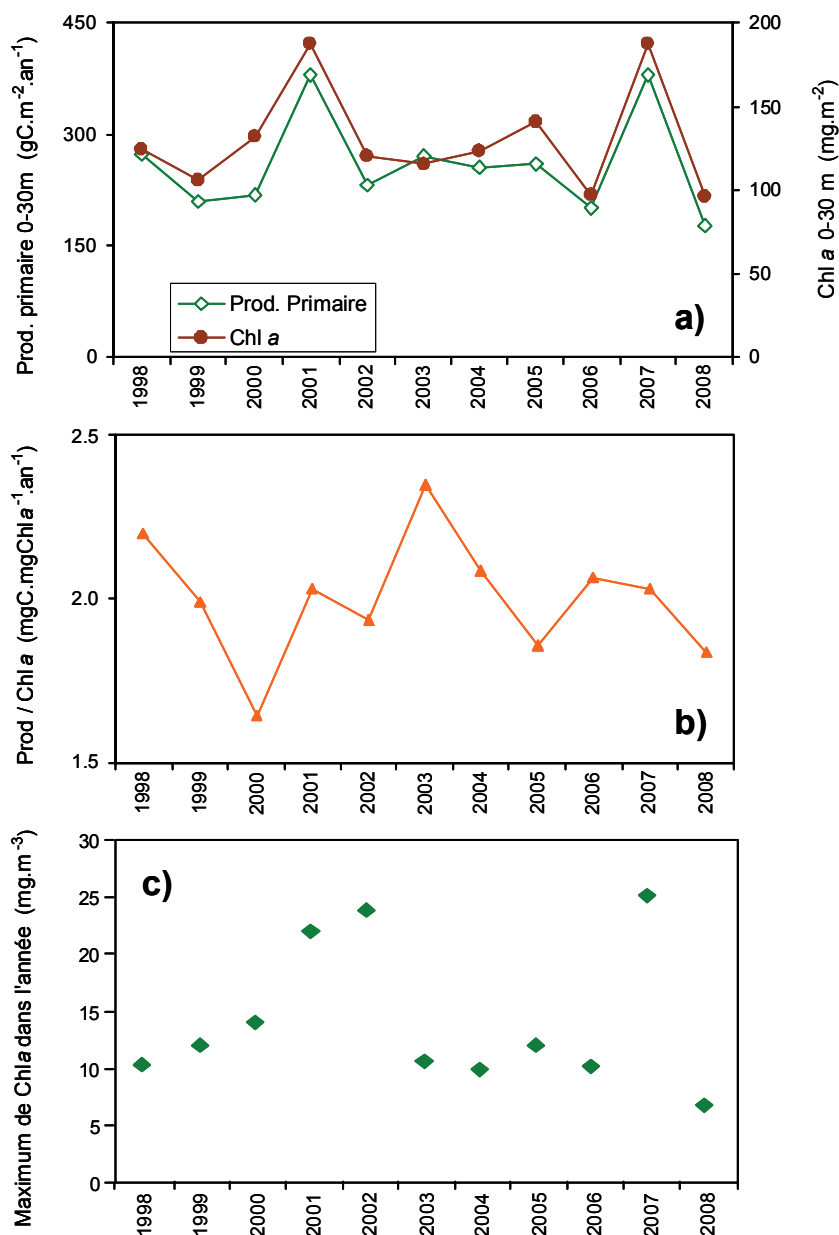


Figure 3 : Evolution inter-annuelle de la production primaire et de la biomasse chlorophyllienne (a), de la capacité photosynthétique (b) et de concentration maximale de chlorophylle a (c) au point SHL2 entre 1998 et 2008.

Figure 3 : Interannual change in the primary production and the biomass of chlorophyll (a), in the photosynthesis capacity (b), and in the maximum concentration in chlorophyll a (c) at point SHL2. between 1998 and 2008.

#### 4. CONCLUSIONS

L'analyse des données de l'année 2008 suggère que la biomasse chlorophyllienne totale n'était pas le facteur majeur contrôlant la transparence des eaux contrairement aux observations des 5 dernières années. Les pics de production et de productivité ont été observés en été, contrairement au pic de biomasse chlorophyllienne qui est apparu au printemps.

L'analyse de l'évolution au cours des 10 dernières années montre, depuis 2001, une légère tendance à la diminution des moyennes annuelles de production primaire et chlorophylle *a*, ainsi que de la concentration maximale de chlorophylle *a* (excepté en 2007), qui suggère une réponse lente et, néanmoins, dans le sens de la diminution des concentrations de phosphore total en deçà de  $30 \mu\text{gP}\cdot\text{L}^{-1}$  depuis 2004. Une telle diminution pourrait être plus visible dans les quelques années à venir, si les stocks et les apports de phosphore dans le lac continuent de diminuer, et si l'on fait abstraction du caractère non linéaire et complexe de la dynamique des écosystèmes et de l'intervention de certains facteurs imprévus comme le changement climatique.

#### BIBLIOGRAPHIE

- LAZZAROTTO, J. et RAPIN, F. (2009) : Evolution physico-chimique des eaux du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2008, 32-58.
- RIMET, F. et DRUART, J. C. (2009) : Phytoplancton du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2008, 91-102.
- 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.
- PERGA, M.E. et LAINE, L. (2009) : Evolution du zooplancton du léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2008, 109-116.
- SAS, H. (ed) (1989) : Lake restoration by reduction of nutrient loading: Expectations, Experiences and Extrapolations. Academia Verlag Richarz, St Augustin, FRG, 497 p.
- STEEMAN-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.
- TADONLEKE, D.R. (2007) : Production et biomasse phytoplanctoniques dans le Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2006, 93-102.