

PRODUCTION PRIMAIRE ET BIOMASSE CHLOROPHYLLIENNE DANS LE LÉMAN

PRIMARY PRODUCTION AND CHLOROPHYLL *a* BIOMASS IN LAKE GENEVA

Campagne 2007

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

La biomasse chlorophyllienne et la production primaire ont été mesurées en 2007 lors de 18 campagnes d'échantillonnage à la station SHL2. Quelques campagnes n'ont pas été réalisées en raison des mauvaises conditions météorologiques.

Comme au cours des quatre dernières années (2003, 2004, 2005, 2006), la biomasse chlorophyllienne a était le facteur prépondérant dans la modification de la transparence de l'eau.

Même si la concentration moyenne de cette biomasse chlorophyllienne mesurée dans la zone 0-20 m ($7.1 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) était significativement plus élevée que celle enregistrée en 2006 ($4.1 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), cette différence était due à deux valeurs extrêmes, sans lesquelles ces deux années présentent des concentrations similaires et semblables à celles des années 2003 à 2005.

Les résultats montrent que la température de l'eau et le rapport N:P inorganique étaient les facteurs majeurs déterminant la dynamique de cette biomasse chlorophyllienne pour l'ensemble de l'étude. Quand on considère uniquement les saisons printemps, été et automne, cette biomasse augmente significativement et fortement avec les concentrations de phosphore inorganique dissous, ce qui suggère que les concentrations de phosphore ont atteint des niveaux qui limitent désormais la croissance du phytoplancton.

La production primaire, au cours de cette année 2007, est apparue essentiellement contrôlée par les concentrations de chlorophylle a et était significativement plus élevée qu'en 2003, 2004 et 2005.

ABSTRACT

The chlorophyll biomass and primary production were measured in 2007 during 18 sampling campaigns at the SHL2 station. Some campaigns were not carried out due to poor weather conditions.

As in the previous four years (2003, 2004, 2005, 2006), the chlorophyll biomass a was the preponderant factor in the change in the transparency of the water.

Even though the mean concentration of this chlorophyll biomass measured in the 0-20 m zone ($7.1 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) was significantly higher than that recorded in 2006 ($4.1 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), this difference was due to two extreme values, without which these two years displayed similar concentrations, which were indeed similar to those for the years 2003 to 2005.

The results show that the water temperature and the inorganic N/P ratio were major factors in determining the dynamics of the chlorophyll biomass for the whole study. If we only take the spring, summer and autumn seasons into account, this biomass significantly and markedly increased with the concentrations of dissolved inorganic phosphorus, which suggests that the concentrations of phosphorus have reached levels, which will now restrict phytoplankton growth.

Primary production, during the year of 2007, appeared to be essentially controlled by the concentrations of chlorophyll a, and was significantly higher than in 2003, 2004 and 2005.

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 2007. Les facteurs contrôlant ces variables ont été examinés et mis dans le contexte de la diminution des concentrations de phosphore inhérentes aux mesures de restauration.

2. MÉTHODES

L'échantillonnage a été réalisé entre le 15 janvier et le 5 décembre 2007 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 température dans la colonne d'eau a été mesurée à l'aide d'une sonde multiparamètres. La chlorophylle *a* (Chl *a*), utilisée ici comme estimateur de la biomasse phytoplanctonique, a été analysée au spectrophotomètre (STRICKLAND et PARSONS, 1968). La production primaire (PP) a été mesurée par l'incorporation du ¹⁴C par le phytoplancton (STEEMAN-NIELSEN, 1952) et convertie en production journalière selon PELLETIER (1983), faute de disponibilité des valeurs de lumière incidente. Ces valeurs de PP sont donc vraisemblablement surestimées. Les analyses de nutriments sont présentées ailleurs (LAZZAROTTO et al., 2008, ce volume). Ces données de nutriments sont utilisées ici comme variables explicatives des variations saisonnières de la Chl *a* et de la PP. Les comparaisons des moyennes sont réalisées à l'aide du test de Kruskal-Wallis. Les relations entre variables sont examinées à l'aide de régressions simples et multiples, après transformation logarithmique des données.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Répartition verticale

La répartition verticale de la biomasse et de la production phytoplanctonique dans la zone 0 - 30 m au cours des 18 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 PP sont stratifiées dans la colonne d'eau tout le long de l'année, et cela dès la mi janvier (1^{ère} campagne de prélèvement), malgré la forte valeur de la transparence de l'eau et la valeur relativement faible de la température des eaux de surface mesurée à cette période (figure 1, tableau 1). Les valeurs de PP de ces premières campagnes de janvier à avril sont considérablement plus élevées que celles mesurées pendant la même période en 2006 (TADONLEKE 2007). Les plus fortes valeurs de PP sont généralement enregistrées entre 1 et 5 m dans la colonne d'eau, comme les années antérieures, suggérant une inhibition de surface.

Les profils de Chl *a* sont globalement semblables à ceux de la PP, exception faite des quatre premières campagnes et de la dernière, pendant lesquelles les concentrations de Chl *a* sont homogènes dans la colonne d'eau, ainsi que celle du 25 juillet où la plus forte valeur de PP est notée et le maximum de stratification des valeurs de la PP enregistré.

3.2 Évolution saisonnière des variables mesurées

Les plus fortes valeurs de la transparence des eaux sont mesurées entre janvier et mars, et en décembre, alors que la valeur minimale est mesurée le 9 juillet, coïncidant avec la plus forte valeur de Chl *a* dans la colonne d'eau (figure 1, tableau 1). Une forte corrélation négative est obtenue entre les valeurs du disque de Secchi et la Chl *a* moyenne dans la zone 0-20 m (figure 2A), indiquant que la biomasse phytoplanctonique était le facteur majeur déterminant les variations de la transparence de l'eau en 2007, comme au cours des 4 dernières années.

La similarité dans la distribution verticale de la Chl *a* et la PP se retrouve au niveau de l'évolution saisonnière de ces deux variables (figure 2B).

Alors que le pic habituel de PP du printemps est enregistré dans la première moitié du mois d'avril, la valeur maximale de PP dans la zone 0-20 m est enregistrée le 25 juillet. Les pics de PP coïncident globalement avec ceux de la Chl *a*, même si pour cette dernière, les plus fortes valeurs sont mesurées le 9 juillet et le 1^{er} octobre. Au moment des pics d'avril, la composition du phytoplancton est plurispécifique, comprenant, en terme de biomasse, environ 30 % de la cyanobactérie filamenteuse *Planktothrix rubescens* et environ 20 % de la cryptophycée *Rhodomonas minuta* (RIMET et al., 2008, ce volume). Par contre, lors des pics de juillet, le phytoplancton est quasiment monospécifique, constitué à plus de 80 %, en terme de biomasse, de la filamenteuse *Mougeotia gracillima*

La Chl *a* montre, pour l'ensemble de l'étude, des relations statistiques significatives, positive avec la température des eaux de surface et négative avec le rapport des concentrations de l'azote inorganique dissous et du phosphore inorganique dissous (DIN:DIP) (figure 3 A, B). Une analyse de régression multiple montre que la température (T) et le rapport DIN:DIP ensemble, expliquent 52 % de la variabilité de la Chl *a* (Modèle : $\text{Log Chl } a = 0.59 \cdot T - 0.33 \cdot [\text{DIN} : \text{DIP}] + 0.75$, F ratio = 10.2 ; P = 0.002).

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

Table 1 : Main primary production parameters in the 0-20 m zone. ΣA 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	ΣA ($\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{inc}^{-1}$)	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 ($\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}$)	Chl 0-30 ($\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}$)	Tds (m)	Température à 0 m (°C)
15-janv-07	319.1	762	54.0	3.5	64.5	93.1	8.4	7.7
20-févr-07	203.9	714	26.1	3.3	60.8	89.5	9.7	6.9
06-mars-07	232.7	802	26.9	3.8	69.8	104.8	9.1	6.7
22-mars-07	286.8	849	34.5	5.0	98.2	145.7	7.0	6.8
02-avr-07	762.7	2'014	107.1	9.2	156.4	195.1	5.0	7.5
16-avr-07	756.7	1'832	137.7	14.6	140.8	164.0	3.2	14.7
21-mai-07	257.7	855	35.2	3.2	75.9	93.1	9.1	16.7
04-juin-07	383.2	1'259	50.1	4.9	120.4	147.3	7.5	16.3
12-juin-07	402.9	1'294	53.8	4.4	88.4	143.4	6.4	19.3
22-juin-07	755.0	1'638	113.0	nd	nd	nd	nd	nd
09-juil-07	489.2	1'125	86.4	27.6	501.8	606.3	2.5	18.1
25-juil-07	1'066.3	2'563	170.5	4.7	153.8	236.1	2.8	19.1
06-août-07	472.8	1338	59.7	5.0	151.8	216.1	4.3	22.1
27-août-07	522.0	1'492	86.6	10.9	177.3	236.9	5.0	21.3
17-sept-07	551.1	1'384	76.0	5.6	119.3	154.3	3.6	18.3
01-oct-07	615.3	1'457	118.0	16.0	323.6	419.4	3.0	16.0
15-oct-07	430.7	1'043	68.5	6.0	85.4	102.9	3.0	15.3
19-nov-07	199.7	537	29.4	6.0	111.2	154.2	6.5	11.7
05-déc-07	147.0	444	18.8	2.4	50.0	74.8	10.4	8.2

Cependant, si on ne considère que la période printemps-été-automne, caractérisée par une augmentation de la température des eaux (Tableau 1) et des faibles concentrations de DIP (LAZZAROTTO *et al.*, 2008, ce volume), le DIP devient le facteur majeur contrôlant la Chl *a*, dans la mesure où, étant positivement relié à cette variable phytoplanctonique (figure 3C), il explique 72 % de sa variabilité ($\text{LogChl } a = 0.61 \cdot \text{LogDIP} + 1.8$; $P < 0.0001$). Ce résultat suggère que les concentrations actuelles de phosphore dans le lac sont à des niveaux qui limitent désormais la croissance phytoplanctonique. La prévalence de *Mougeotia gracillima* (plus de 79 % de la biomasse du phytoplancton) entre juillet et octobre (RIMET *et al.*, 2008, ce volume) et la forte relation positive observée ici entre la Chl *a* et DIP suggère que cette espèce filamenteuse dans le Léman est un fort compétiteur pour le phosphore et pourrait profiter d'une conjonction de facteurs et devenir fortement abondante (étant donné qu'elle est peu consommable par le zooplancton), contribuant ainsi à augmenter la biomasse phytoplanctonique dans ce contexte de réduction des concentrations de phosphore.

La PP montre des relations statistiques significatives, positive avec la température des eaux de surface et la Chl *a*, et négative avec la concentration en nitrates (figure 3D, E, F). L'analyse de régression multiple sort la Chl *a* comme seul facteur explicatif de la variation saisonnière de la PP, avec toutefois seulement 30 % de la variance expliquée (Modèle : $\text{LogPP} = 0.47 \cdot \text{Log Chl } a + 1.02$; F ratio = 8.4; $P = 0.011$). Ce faible R^2 est en réalité dû aux valeurs exceptionnellement élevées de Chl *a* enregistrées le 9 juillet et le 1^{er} octobre (figure 2B). L'exclusion de ces deux valeurs montre que la Chl *a* devient le facteur majeur contrôlant la PP, expliquant 65 % de sa variabilité ($\text{Log PP} = 1.02 \cdot \text{Log Chl } a + 0.62$; $P = 0.0002$) (figure 3F).

La concentration moyenne de Chl *a* en 2007 était significativement plus élevée ($7.1 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) que celle de 2006 ($4.2 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) (TADONLEKE, 2007). Il faut toutefois noter que cette différence était due aux deux valeurs extrêmes mentionnées plus haut. L'exclusion de ces 2 valeurs donne une moyenne similaire à celle des quatre années précédentes. La PP annuelle mesurée en 2007 ($587 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{an}^{-1}$) quant à elle, est apparue significativement plus élevée que celle des années 2003 à 2005 (calculées de la même façon). Cette élévation de la PP pourrait s'expliquer, au moins en partie, par la forte augmentation de la biomasse phytoplanctonique (cette étude, voir aussi RIMET *et al.*, 2008, ce volume), étant donnée la forte corrélation positive trouvée entre la PP et la Chl *a* au cours de cette année 2007 (figure 3F).

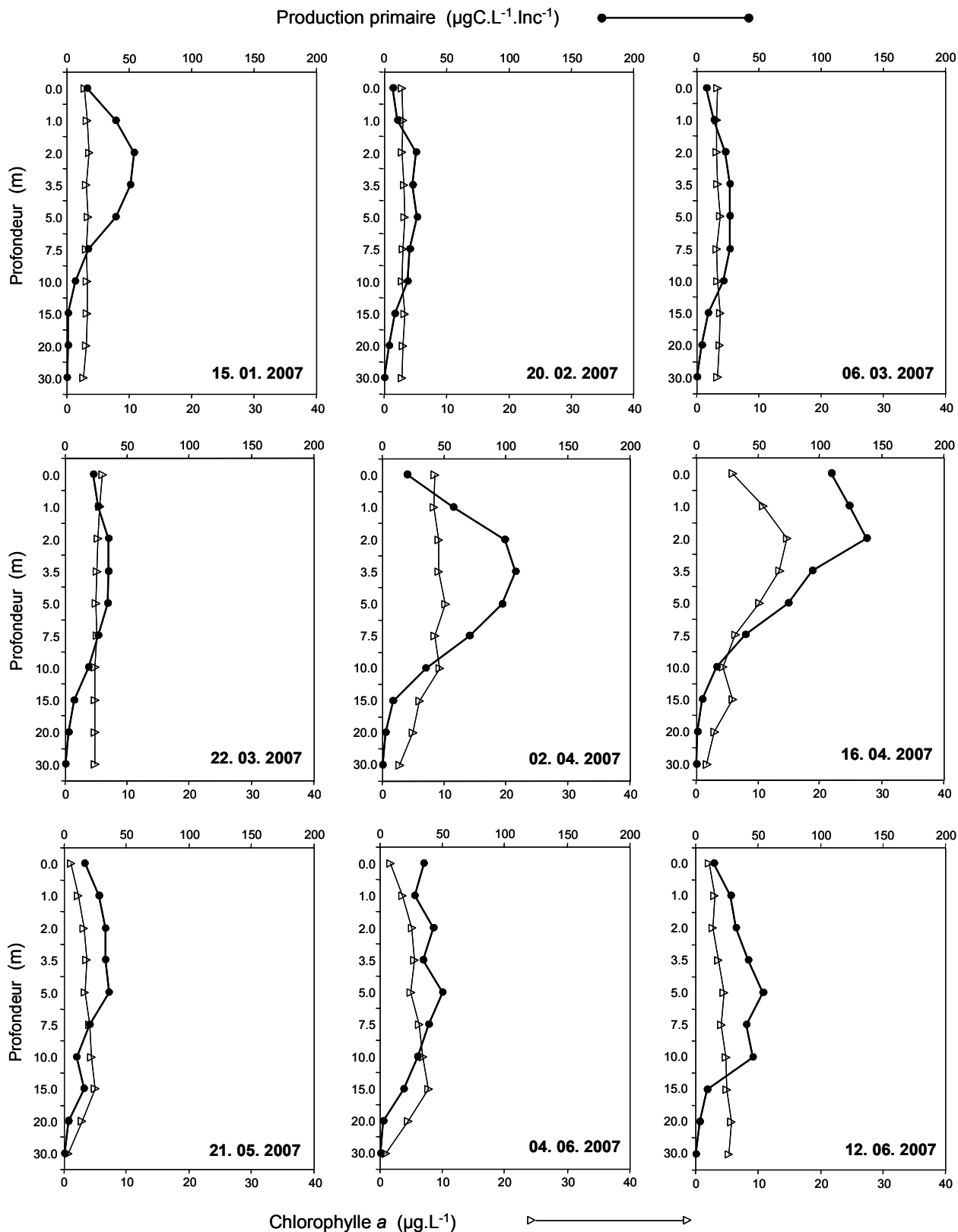


Figure 1 : Profils verticaux de la production primaire (cercle) et de la biomasse chlorophyllienne (triangle) au point SHL2 du 15 janvier au 12 juin 2007.

Figure 1 : Vertical profiles of the primary production (circle) and of the biomass expressed in terms of chlorophyll a (triangle) at point SHL2 from January 15 to June 12, 2007.

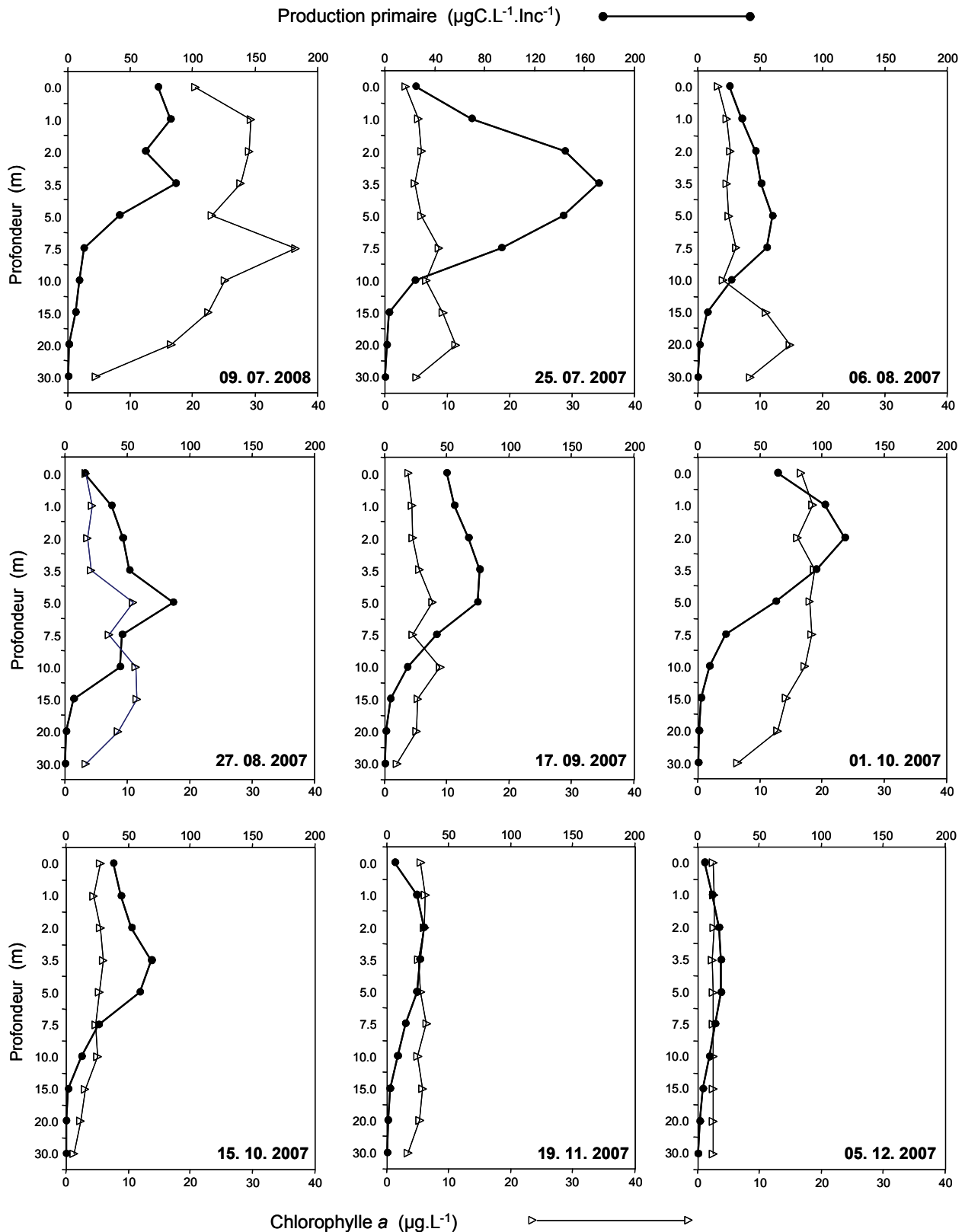


Figure 1 (suite) : Profils verticaux de la production primaire (cercle) et de la biomasse chlorophyllienne (triangle) au point SHL2 du 19 juillet au 5 décembre 2007.

Figure 1 (continued) : Vertical profiles of the primary production (circle) and of the biomass expressed in terms of chlorophyll a (triangle) at point SHL2 from July 19 to December 5, 2007.

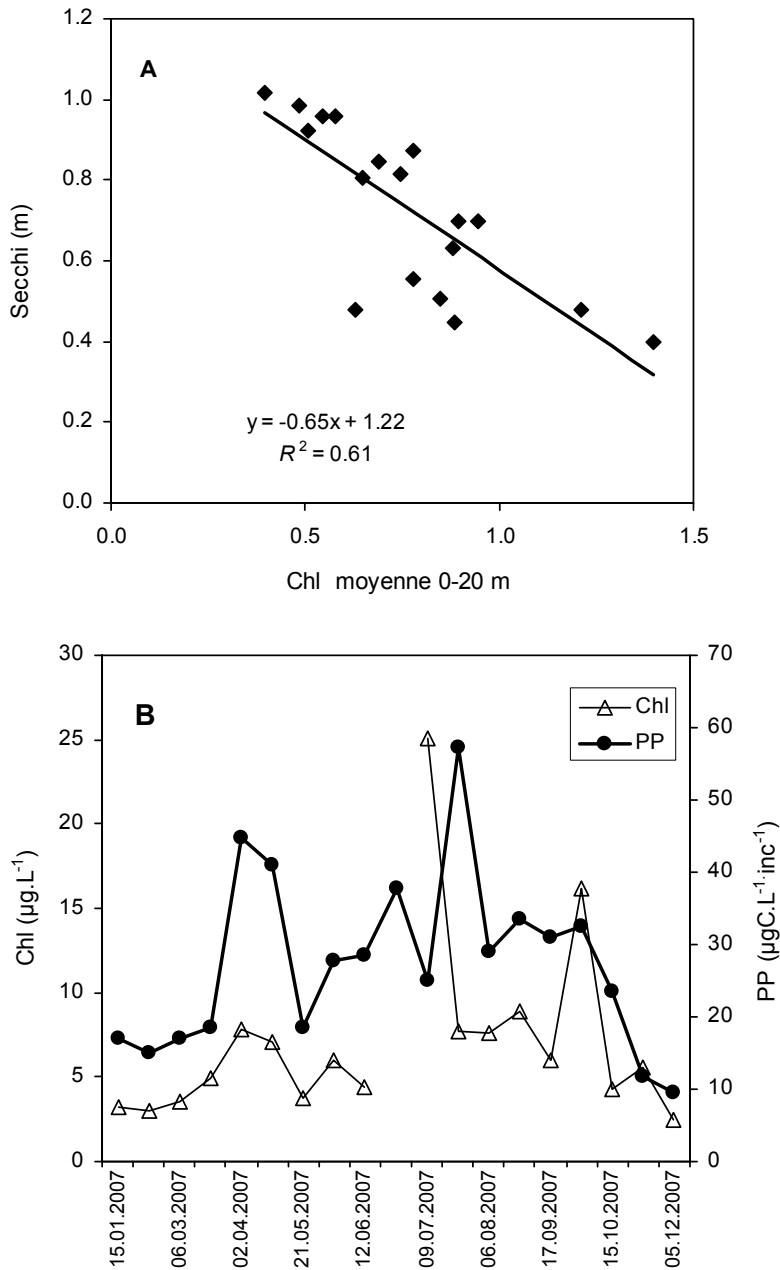


Figure 2. Relation entre la transparence de l'eau (mesurée à l'aide du disque de Secchi) et la biomasse Chlorophyllienne (A) et évolution saisonnière de la production primaire et de la biomasse chlorophyllienne (B).

Figure 2 : Relationship between the water transparency (measured using a Secchi disk) and the chlorophyll biomass (A), and seasonal change in primary production and chlorophyll biomass (B).

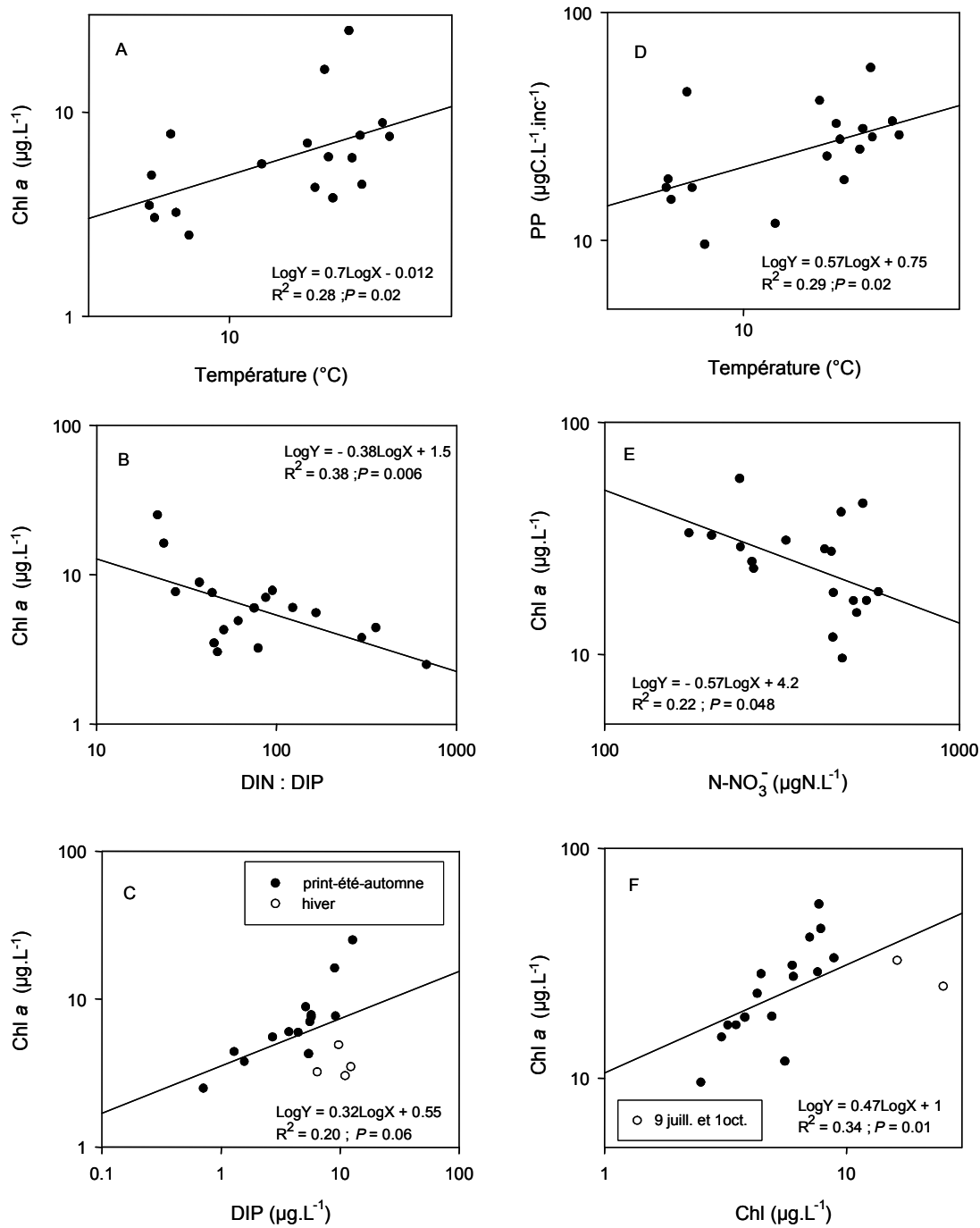


Figure 3 : Relations statistiques entre les variables phytoplanctoniques (PP et Chl a) et les variables environnementales. DIN : azote inorganique dissous ; DIP : phosphore inorganique dissous.

Figure 3 : Statistical relationships between the phytoplankton variables (PP and Chl a) and the environmental variables. DIN : dissolved inorganic nitrogen; DIP : dissolved inorganic phosphorus.

4. CONCLUSIONS

Cette étude montre que la Chl *a* était contrôlée sur la majeure partie de l'année 2007 (printemps, été et automne) par le phosphore inorganique dissous, et augmentait avec l'accroissement des concentrations de cet élément minéral. Les concentrations de cet élément semblent donc avoir atteint des niveaux qui limitent la croissance du phytoplancton.

La production primaire quant à elle a considérablement augmenté en comparaison avec les années 2003 à 2005, essentiellement en raison de l'augmentation de la biomasse phytoplanctonique.

L'augmentation interannuelle des variables phytoplanctoniques en dépit de cette apparente limitation par le phosphore soutient l'idée, précédemment évoquée, de l'intervention significative de facteurs autres que le phosphore dans la dynamique du phytoplancton dans le Léman. Certes, la réduction des apports de phosphore dans le lac doit continuer, mais il ne doit pas être perdu de vue que d'autres facteurs tels que la réduction (comparée aux décennies précédentes) de la pression de prédation par le zooplancton, l'augmentation de la température des eaux du lac et donc de la stabilité de la colonne engendrent des conditions qui peuvent être favorables à certaines algues de grande taille capables de forte compétition pour les faibles concentrations de phosphore (TADONLEKE 2007, TADONLEKE *et al.*, en prép.). La prépondérance ces dernières années des espèces filamenteuses telles que *Mougeotia gracillima* et *Plankthotrix rubescens* serait le reflet de l'existence de telles conditions et aiderait à expliquer pourquoi la biomasse phytoplanctonique continue à augmenter en dépit de la baisse des concentrations de phosphore.

BIBLIOGRAPHIE

- LAZZAROTO, J. et RAPIN, F. (2008) : Evolution physico-chimique dans les eaux du Léman. Rapp. Comm. Int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2007, 31-55.
- 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.
- RIMET, F., DRUART, J. C. et MOREAU, L. (2008) : Phytoplancton du Léman. Rapp. Comm. Int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2007, 85-95.
- STEEMAN-NIELSEN, E. (1952) : The use of radioactive carbon (¹⁴C) 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, R.D. (2007) : Production et biomasse phytoplanctoniques dans le Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2006, 93-102.