

PRODUCTION PRIMAIRE ET BIOMASSE CHLOROPHYLLIENNE DANS LE LÉMAN

PRIMARY PRODUCTION AND CHLOROPHYLL *a* BIOMASS IN LAKE GENEVA

Campagne 2009

PAR

Rémy D. TADONLEKE

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

RÉSUMÉ

Les données de la campagne 2009 suggèrent que l'augmentation graduelle de la production primaire dans la zone 0 - 20 m observée jusqu'au début de l'automne était essentiellement liée à l'augmentation de la capacité photosynthétique du phytoplancton. L'évolution des variables phytoplanctoniques entre 1998 et 2009 montre que la légère tendance globale à la diminution des moyennes annuelles de production primaire et chlorophylle *a*, ainsi que de la concentration maximale de chlorophylle *a* observée entre 1998 et 2008 n'a pas été confirmée en 2009, année pendant laquelle ces variables ont plutôt augmenté. Cette situation semble liée à l'augmentation conjointe, entre 2008 et 2009, de la température des eaux et des concentrations et des stocks de phosphore dissous dans le lac.

ABSTRACT

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 2009. L'évolution des variables phytoplanctoniques au cours des 11 dernières années (1998-2009) est également présentée afin de mettre en évidence une éventuelle diminution en relation avec la restauration par réduction des apports de phosphore débutée dans les années 1970.

2. MÉTHODES

L'échantillonnage a été réalisé entre le 21 janvier et le 7 décembre 2009 aux profondeurs habituelles (0, 1, 2, 3.5, 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. Il est à noter que 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 PP a été mesurée par l'incorporation du ¹⁴C par le phytoplancton (STEEMAN-NIELSEN, 1952). La PP mesurée a été convertie en production journalière à l'aide du facteur 2.22 (PELLETIER 1983), pour comparaison avec les dix dernières années (1998-2008). Dans le cadre de la comparaison interannuelle, la biomasse chlorophyllienne et la PP ont été intégrées dans la zone 0-30 m. La PP nette annuelle a été estimée en considérant qu'elle représente 60 % de la PP annuelle mesurée (LEBOULANGER, comm. perso). 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 19 campagnes de prélèvement 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 production primaire apparaissent verticalement stratifiées très tôt dans l'année (précisément dès le 21 janvier 2009) et le restent jusqu'en octobre. Les plus fortes valeurs sont généralement enregistrées entre 2 et 7.5 m. Les valeurs de chlorophylle sont, quant à elles, très peu stratifiées verticalement. Quand elles le sont, les fortes valeurs sont généralement observées dans les profondeurs supérieures à 7.5 m.

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 blanc de 30 cm de diam.; 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: white disc of 30 cm diameter depth; nd : not determined.

DATE	ΣA (mgC·m ⁻² ·inc ⁻¹)	PPj (mgC·m ⁻² ·j ⁻¹)	Amax (mgC·m ⁻³ ·inc ⁻¹)	Chl Amax (mgC·m ⁻³)	Chl 0-20 (mgC·m ⁻²)	Tds (m)
21-janv-09	330.1	485.0	28.1	2.32	46.8	10.6
16-févr-09	163.7	199.0	12.5	2.11	40.9	13.0
02-mars-09	229.0	336.0	31.2	1.60	23.2	12.5
17-mars-09	710.2	1'047.6	69.5	4.71	86.4	8.2
06-avr-09	857.1	1'403.0	95.7	6.12	98.7	4.8
21-avr-09	1'060.9	2'084.5	135.6	7.75	134.7	2.5
12-mai-09	924.6	1'520.2	89.4	5.13	88.0	4.6
25-mai-09	636.1	997.2	64.1	1.84	36.1	10.9
18-juin-09	956.2	1'408.1	78.8	3.03	67.5	7.5
29-juin-09	671.6	2'134.8	138.5	8.52	53.3	6.0
06-juil-09	1'372.2	2'809.4	168.0	9.54	130.5	6.8
20-juil-09	1'368.2	2'202.6	123.5	6.20	115.8	6.3
13-août-09	1'088.3	1'722.6	98.9	5.00	159.6	6.3
31-août-09	1'635.0	2'385.5	170.9	7.07	101.5	7.9
09-sept-09	1'262.1	2'115.5	113.6	5.25	171.3	4.3
21-sept-09	1'391.7	2'755.3	187.0	6.30	153.3	3.5
06-oct-09	664.0	1'298.9	95.8	1.78	37.2	3.6
16-nov-09	431.7	791.1	53.0	3.45	59.1	10.0
07-déc-09	159.8	298.3	23.2	2.38	50.9	10.0

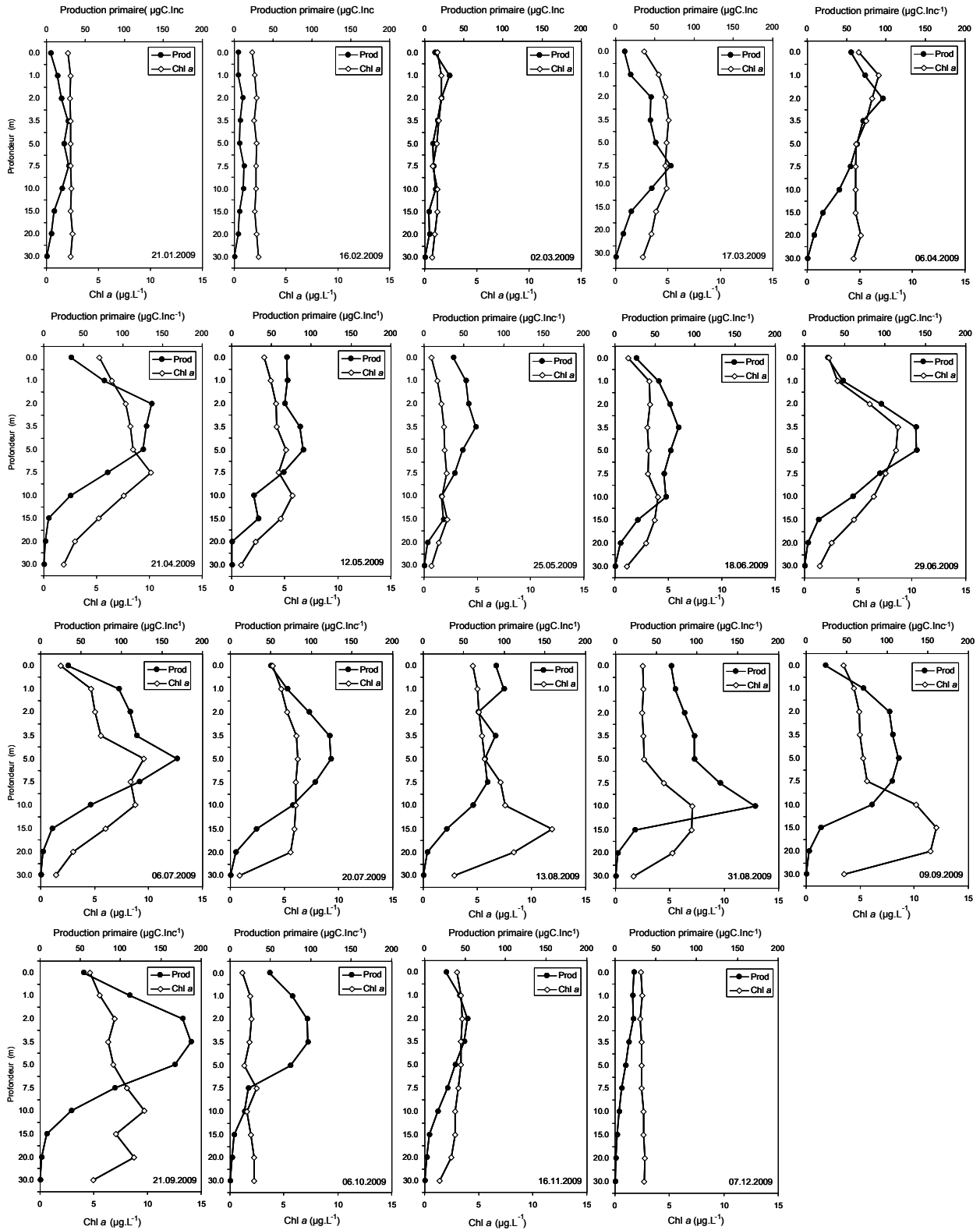


Figure 1 : Profils verticaux de la production primaire (cercle) et de la biomasse chlorophyllienne (losange) au point SHL2 du 21 janvier au 7 décembre 2009.

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 21 to December 7, 2009.

3. 2. Evolution saisonnière des variables mesurées

Les plus fortes valeurs de la transparence des eaux sont mesurées entre janvier et février, le 21 mai et après le mois d'octobre (figure 2a). La valeur du 21 mai coïncide avec le pic printanier des abondances du zooplancton crustacé (PERGA et LAINÉ, 2010 dans ce volume), et est vraisemblablement indicatrice de la phase des eaux claires. D'une façon générale, les variations saisonnières de la transparence sont associées aux variations de la biomasse chlorophyllienne et une forte corrélation négative est observée entre les deux variables ($R^2 = 0.62$) (figure 2b).

L'évolution saisonnière de la production primaire dans la zone 0 - 20 m est semblable à celle de la capacité photosynthétique du phytoplancton (ici le rapport entre la production maximale et la biomasse chlorophylle $a = P_{max}/Chl$) (figure 2c). Les valeurs augmentent globalement de janvier à début octobre puis décroissent jusqu'à la fin de l'année. Le pic de P_{max}/Chl observé le 21 mai suggère une forte prédation du zooplancton sur le phytoplancton et soutient l'idée de l'apparition de la phase des eaux claires à cette période (avril-mai), étant donné que les microorganismes augmentent généralement leur production par unité de biomasse pour compenser les pertes liées à la mortalité causée par les prédateurs. En excluant les valeurs des pics de P_{max}/Chl enregistrés le 2 mars, le 25 mai et le 06 octobre, une forte corrélation positive est observée entre P_{max}/Chl et la production primaire dans la zone 0 - 20 m ($R^2 = 0.79$), suggérant que l'augmentation de la production primaire dans la zone euphotique était inhérente à l'augmentation de la capacité photosynthétique du phytoplancton.

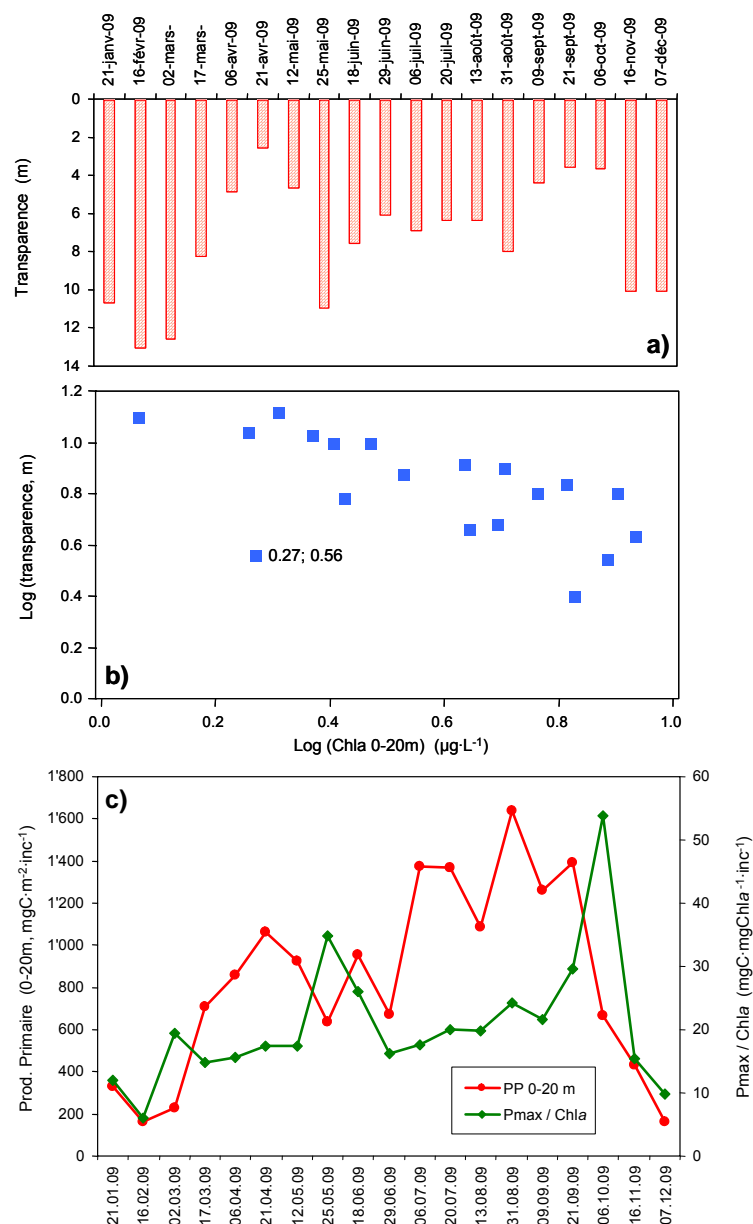


Figure 2. Variations saisonnières de la transparence des eaux et relation avec la chlorophylle a (a, b) et variations saisonnières de production primaire et de la capacité photosynthétique (c). Pour la figure 2b, les valeurs du 06 octobre 2009, exclues de l'analyse statistique, sont indiquées

Figure 2 : xxxxx

3.3 Evolution interannuelle entre 1998 et 2009

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 entre 1998 et 2009 est présentée sur la figure 3 (a, b,c). Il apparaît que ces trois variables ont augmenté en 2009 en comparaison avec l'année 2008. L'augmentation de la PP en 2009 semble donc liée non seulement à l'augmentation de la biomasse chlorophyllienne, mais aussi et surtout à l'augmentation de la productivité du phytoplancton, comme le témoigne le passage du rapport production : Chl a de 1.84 à 3.12 mgC·mgChl a⁻¹·an⁻¹ alors que la valeur de la Chl a en elle-même augmente relativement faiblement (figure 3a, c). Ce résultat est en accord avec la forte corrélation positive observée à l'échelle saisonnière entre la production primaire dans la zone 0 - 20 m et la capacité photosynthétique du phytoplancton. La comparaison des années 2001, 2007 et 2009 soutient cette conclusion, dans la mesure où ces trois années montrent des valeurs de production primaire pratiquement équivalentes (respectivement 381, 381 et 376 mgC·m⁻²·an⁻¹) alors que la valeur de la biomasse chlorophyllienne est bien plus faible en 2009 (120 mgC·m⁻²) comparée à chacune des deux autres années (188 mgC·m⁻²). Il est connu que la capacité photosynthétique du phytoplancton peut être influencée par plusieurs facteurs, parmi lesquels la température des eaux, les concentrations de nutriments à l'intérieur de la cellule et dans l'environnement et la composition du phytoplancton. Il est peu probable que la composition du phytoplancton ait joué un rôle majeur dans les variations de cette capacité photosynthétique entre 2001, 2007 et 2009, dans la mesure où le phytoplancton était dominé, en moyenne, par l'algue filamenteuse *Mougeotia gracillima* au cours de ces trois années (RIMET, 2010, ce volume).

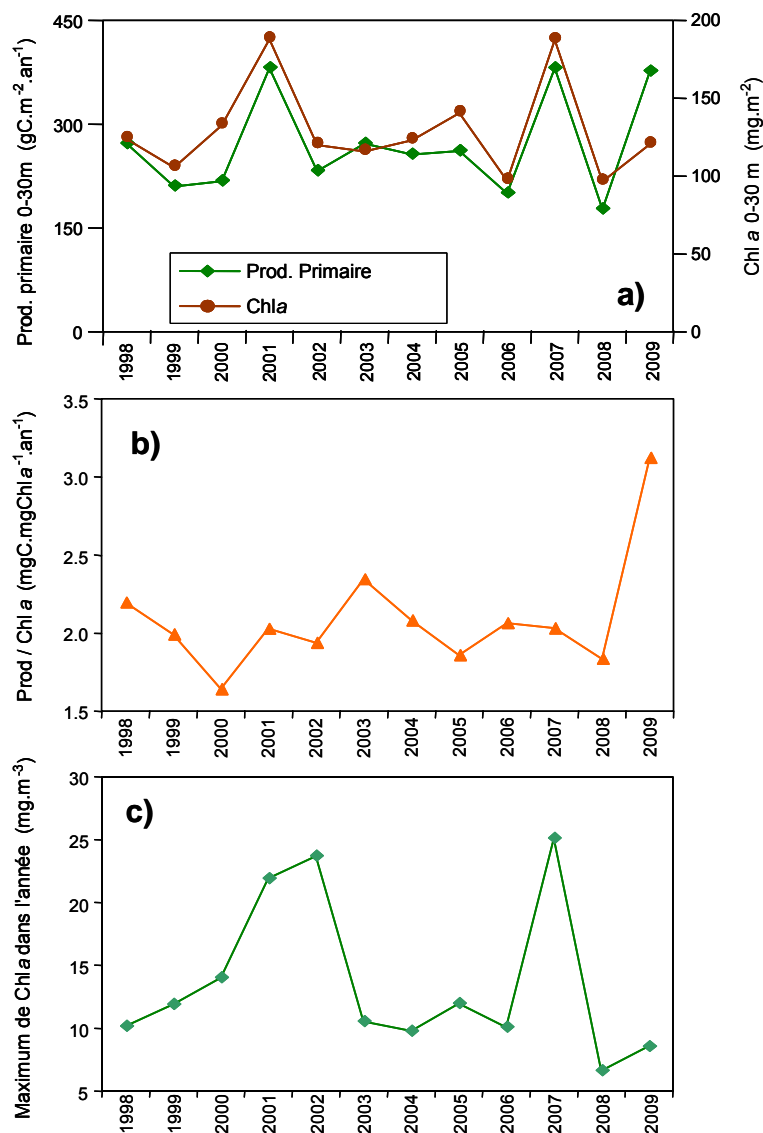


Figure 3 : Evolution inter-annuelle de la production primaire et de la biomasse chlorophyllienne (a), de la capacité photosynthétique (b) et de concentration maximale de chlorophylle a (c) au point SHL2 entre 1998 et 2009.

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 2009.

L'analyse des données physico-chimiques montre que les concentrations de phosphore dissous de la période hiver-printemps, ainsi que le stock de phosphore (qui soutiennent la croissance du phytoplancton au cours de l'année) dans les couches d'eau supérieures (0-50m) étaient plus élevés en 2009 qu'en 2008; il en était de même pour la température moyenne de l'eau en surface et l'épaisseur de la colonne d'eau brassée à la fin de l'hiver (LAZZAROTO et RAPIN, 2010, ce volume). L'analyse des données sur la période 1974-2005 a montré qu'en présence de concentrations élevées et de la disponibilité du phosphore, l'augmentation de la température stimule la productivité phytoplanctonique dans le lac Léman (TADONLEKE, 2010). Il semble donc que la combinaison de ces deux conditions environnementales (augmentation des concentrations de phosphore et de la température de 2008 à 2009) a fortement stimulé le phytoplancton en 2009.

4. CONCLUSIONS

L'analyse des données de l'année 2009 montre une forte relation statistique négative entre la biomasse chlorophyllienne totale et la transparence des eaux, ainsi qu'une forte corrélation positive entre la production primaire dans la zone 0 - 20 m et la capacité photosynthétique du phytoplancton.

L'évolution des variables entre 1998 et 2009 montre que la légère tendance globale à la diminution des moyennes annuelles de production primaire et chlorophylle a, ainsi que de la concentration maximale de chlorophylle a observée entre 1998 et 2008 n'a pas été confirmée en 2009, année pendant laquelle ces variables ont plutôt augmenté. Cette situation semble liée à l'augmentation conjointe, entre 2008 et 2009, de la température des eaux et des concentrations et des stocks de phosphore dissous dans le lac. Cette observation confirme qu'il est indispensable de baisser en deçà de la valeur qui avait été fixée ($20 \mu\text{gP}\cdot\text{L}^{-1}$) dans le plan d'action de la décennie 2001-2010, le seuil de phosphore qui permettait d'atteindre l'objectif de faire baisser la biomasse et la production phytoplanctoniques. La fixation de ce seuil de phosphore à une valeur plus basse permettra de réduire l'action négative de la remise en suspension du P des eaux profondes par le brassage, et/ou de facteurs imprévus comme le réchauffement climatique sur les réponses attendues suite à la réduction des apports de phosphore dans le lac.

Remerciements : Nous tenons à remercier Pascal CHIFFLET pour l'échantillonnage et les mesures de production primaire, Jean-Christophe HUSTACHE pour l'échantillonnage et Jean-Paul MOILLE pour les analyses de la chlorophylle a.

BIBLIOGRAPHIE

- LAZZAROTTO, J. et RAPIN, F. (2010) : Evolution physico-chimique des eaux du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2009, 31-56.
- 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. (2010) : Evolution du zooplancton du léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2009, 95-102.
- RIMET, F. (2010) : Phytoplancton du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2009, 77-88.
- STEEMAN-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.
- TADONLEKE, R.D. (2010) : Evidence of warming effects on phytoplankton productivity rates and their dependence on eutrophication status. Limnol. Oceanogr., 55, 973-982.