

ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION PHYTOPLANCTONIQUE DANS LE LÉMAN

Campagne 1996

PAR

Jean Pierre PELLETIER

avec la collaboration technique de

Jean-Paul MOILLE et Brigitte LE BERRE-TREVISAN

INSTITUT DE LIMNOLOGIE (INRA), BP 511, F - 74203 THONON-LES-BAINS

RÉSUMÉ

La production phytoplanctonique représente dans un grand lac comme le Léman l'essentiel de la production primaire. Elle est évaluée par la mesure de l'assimilation du carbone (traçage par le ^{14}C) à neuf profondeurs dans la zone euphotique, au cours d'une incubation in situ de quelques heures. Ce paramètre permet d'apprécier la vitesse de renouvellement de la biomasse du phytoplancton. La concentration en chlorophylle, mesurée sur les mêmes échantillons, donne une estimation de la biomasse du phytoplancton.

En 1996, la moyenne annuelle des concentrations en chlorophylle dans les dix premiers mètres atteint 6.7 mg/m^3 , valeur record mesurée dans le Léman. Ce résultat est confirmé par la très forte biomasse moyenne calculée à partir des biovolumes cellulaires. La production phytoplanctonique annuelle ($282 \text{ gC/m}^2 \cdot \text{an}$) accuse une augmentation sensible par rapport aux deux années précédentes, mais elle reste modérée compte tenu de la forte augmentation de la biomasse.

La production présente un pic élevé au printemps ($3'750 \text{ mgC/m}^2 \cdot \text{jour}$), début mai, pour une concentration en chlorophylle de 15 mg/m^3 . En revanche, elle n'atteint en automne qu'un maximum de $1'360 \text{ mgC/m}^2 \cdot \text{jour}$ pour une concentration en chlorophylle de 20 mg/m^3 . Cette faible production automnale est l'indice favorable d'une limitation du développement des algues par les phosphates, alors presque épuisés dans la couche superficielle. Cependant, la grande quantité d'algues filamenteuses observées en automne, non consommées par le zooplancton et gênantes pour la pêche professionnelle, rappelle la nécessité de réduire encore la concentration en phosphore dans l'eau du Léman.

1. INTRODUCTION

La biomasse du phytoplancton, exprimée par le biovolume cellulaire (PELLETIER et al., 1997) ou par la concentration en chlorophylle, renseigne sur le stock de phytoplancton existant à un instant donné. Ce stock disparaît de la zone euphotique sous l'effet de plusieurs processus, en particulier consommation par le zooplancton, décomposition par les bactéries et sédimentation. Son maintien apparent dans la zone euphotique résulte de la multiplication rapide des algues unicellulaires qui le constituent.

La production phytoplanctonique, encore appelée production primaire pélagique, exprime essentiellement le taux de renouvellement, remarquablement rapide, du stock de phytoplancton. Ce concept dynamique complète la notion statique de biomasse, insuffisante à elle seule pour traduire l'état trophique d'un lac.

2. MÉTHODES

Les mesures de production sont effectuées à la station de référence SHL 2, au cours des 21 campagnes prévues chaque année dans le programme d'auscultation de la CIPEL. Les méthodes utilisées n'ont pas subi de modification par rapport aux années précédentes et sont résumées ci-dessous.

La production primaire est évaluée par des mesures *in situ* de l'intensité de la photosynthèse réalisée par les algues planctoniques. Nous utilisons la méthode de STEEMANN NIELSEN (1952) qui doit sa grande sensibilité à l'emploi du ^{14}C comme traceur. Les prélèvements d'eau sont effectués à neuf profondeurs échelonnées dans la zone euphotique, jusqu'à 20 mètres de profondeur. Chaque échantillon, réparti dans 3 flacons, est enrichi en carbonate de sodium marqué au ^{14}C , puis immergé à la profondeur à laquelle il a été prélevé. L'incubation *in situ* est réalisée pendant le tiers médian de la période diurne. L'extrapolation de ces résultats à la journée entière est obtenue en multipliant la production globale mesurée par le coefficient 2.22, déterminé expérimentalement au cours de journées à ensoleillement standard. Après incubation, le phytoplancton contenu dans chaque flacon est recueilli sur une membrane filtrante de 0.8 micromètre de porosité et la quantité de ^{14}C incorporé dans le phytoplancton est mesurée par scintillation en milieu liquide. La connaissance du taux d'incorporation du ^{14}C d'une part et de la concentration du carbone minéral dissous dans l'eau d'autre part permet de calculer la quantité de carbone assimilé par photosynthèse (PELLETIER, 1983).

La concentration en chlorophylle *a* est mesurée sur les mêmes échantillons d'eau, par analyse au spectrophotomètre, après séparation du phytoplancton par filtration sur filtre en fibre de verre (Whatman GF/C) et extraction des pigments cellulaires dans un mélange hydro-acétonique (10/90), selon la méthode de STRICKLAND et PARSONS (1968).

3. RÉSULTATS

Profils verticaux

Les figures 1 et 2 représentent simultanément les variations depuis la surface jusqu'à 30 mètres de la biomasse du phytoplancton (exprimée en concentration de chlorophylle) et de la production primaire (exprimée en carbone assimilé pendant la période d'incubation). Les paramètres correspondants sont récapitulés dans le tableau 1.

La biomasse et la production du phytoplancton, très faibles durant l'hiver, commencent à augmenter vers la mi-mars pour atteindre début mai leurs plus fortes valeurs à proximité immédiate de la surface : 26 mg/m³ de chlorophylle et 550 mgC/m³.incubation à 2 mètres de profondeur, le 6 mai. La production globale s'élève alors à 3'750 mgC/m².jour pour une concentration moyenne en chlorophylle de 15 mg/m³ dans les dix premiers mètres. Le phytoplancton bénéficie à cette période d'une grande disponibilité en sels nutritifs (phosphates, nitrates et silice) et de conditions climatiques favorables. La transparence tombe à 1.9 mètre.

La phase des eaux claires est très marquée au début de juin : la concentration en chlorophylle dans la colonne d'eau reste inférieure à 1 mg/m³ et est du même ordre de grandeur que les concentrations les plus faibles mesurées en hiver. Cette quasi-disparition de la biomasse algale est due à la très forte activité de broutage du zooplancton herbivore, notamment des daphnies, particulièrement abondantes en 1996 à cette époque (BALVAY, 1997). Une telle abondance d'herbivores ne permet pas la reconstitution des stocks de phytoplancton et la production est maintenue à un niveau très bas malgré la grande quantité d'énergie disponible pour la photosynthèse au cours des jours longs qui caractérisent le mois de juin. En conséquence, le lac retrouve une grande transparence (8.9 mètres début juin, 7.6 mètres à la mi-juin).

Le phytoplancton se développe à nouveau début juillet, le profil de production étant encore caractérisé à 2 mètres de profondeur par un pic aigu (290 gC/m³.incubation, pour une concentration en chlorophylle de 16 mg/m³). Ce pic, semblable aux pics qui caractérisent plus généralement les profils de production de printemps, résulte d'une forte régénération des sels nutritifs dans la couche supérieure au cours d'une phase des eaux claires particulièrement longue.

TABLEAU 1 - Paramètres de production primaire (Léman, SHL 2, 1996)

Date	ΣA mgC/m ² .inc	PP _j mgC/m ² .j	A _{max} mgC/m ³ .inc	Chl A _{max} mg/m ³	Chl 0-10 mg/m ²	Chl 0-30 mg/m ²	T _{DS} m
15.01	63	139	6	0.9	10.3	33.3	11.5
12.02					10.2	31.5	13.4
05.03	199	441	11	1.3	12.4	38.6	13.0
18.03	636	1'411	51	5.1	50.3	124.1	6.8
09.04	727	1'615	96	11.0	85.2	187.5	4.4
22.04	944	2'096	193	14.4	79.0	133.9	2.5
06.05	1'691	3'753	549	26.0	151.7	261.5	1.9
20.05	1'146	2'543	224	10.6	102.8	153.6	2.7
03.06	194	430	22	0.8	8.8	28.2	8.9
17.06	478	1'062	51	3.6	23.8	39.1	7.6
02.07	934	2'073	291	16.1	129.2	174.8	3.0
15.07	1'405	3'120	145	11.7	127.0	259.8	5.5
05.08	850	1'888	134	5.2	49.1	86.2	5.1
19.08	1'057	2'346	130	9.2	112.5	198.3	3.6
04.09	949	2'107	136	15.2	141.4	329.8	3.6
24.09	441	979	105	12.0	130.2	220.6	3.7
14.10	615	1'364	81	20.2	201.3	513.8	4.0
21.10					55.7	164.7	7.1
04.11	281	624	27	3.2	32.2	89.6	8.0
27.11					7.9	23.1	8.9
11.12	63	140	9	1.4	14.3	38.8	11.2

Symboles utilisés :

- ΣA : Production intégrale, exprimée en mg de C assimilé par mètre carré pendant la période d'incubation. Cette valeur correspond à l'aire délimitée par le profil vertical et les axes
- PP_j : Production primaire journalière calculée : $PP_j = 2.22 \Sigma A$
- A_{max} : Valeur maximale d'assimilation relevée sur un profil, exprimée en mg de C assimilé par mètre cube d'eau pendant la période d'incubation
- Chl A_{max} : Concentration en chlorophylle *a* (mg/m³) correspondant à A_{max}
- Chl 0-10 : Concentration en chlorophylle *a* (mg/m²) dans la couche surface - 10 mètres
- Chl 0-30 : Concentration en chlorophylle *a* (mg/m²) dans la couche surface - 30 mètres
- T_{DS} : Transparence exprimée en mètres, mesurée à l'aide du disque de Secchi.

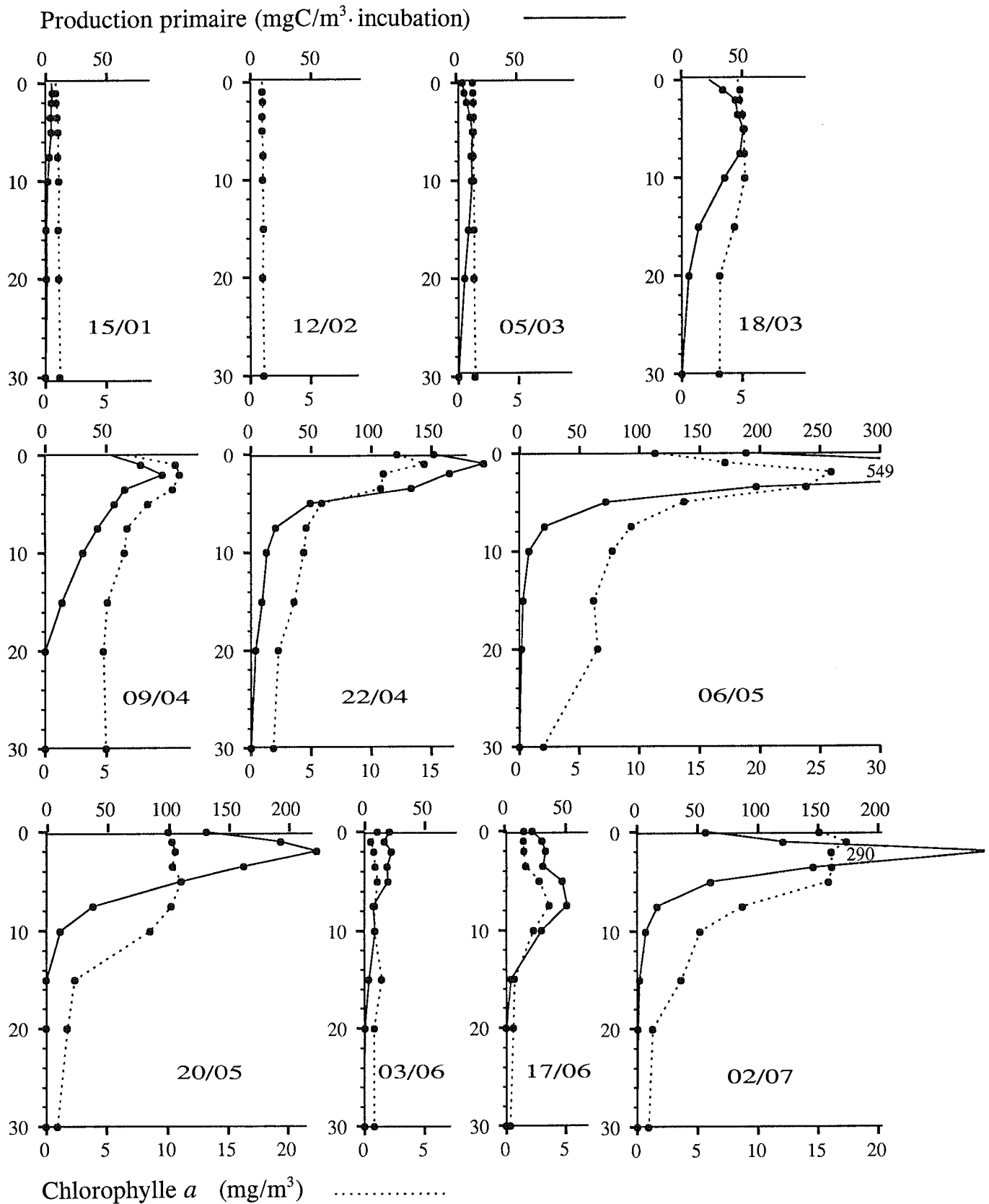


Figure 1 : Profils verticaux de production primaire (trait plein, échelle supérieure) et de chlorophyll *a* (pointillés, échelle inférieure). La période d'incubation est le tiers médian de la période diurne. (Léman, SHL 2, de janvier à juillet 1996)

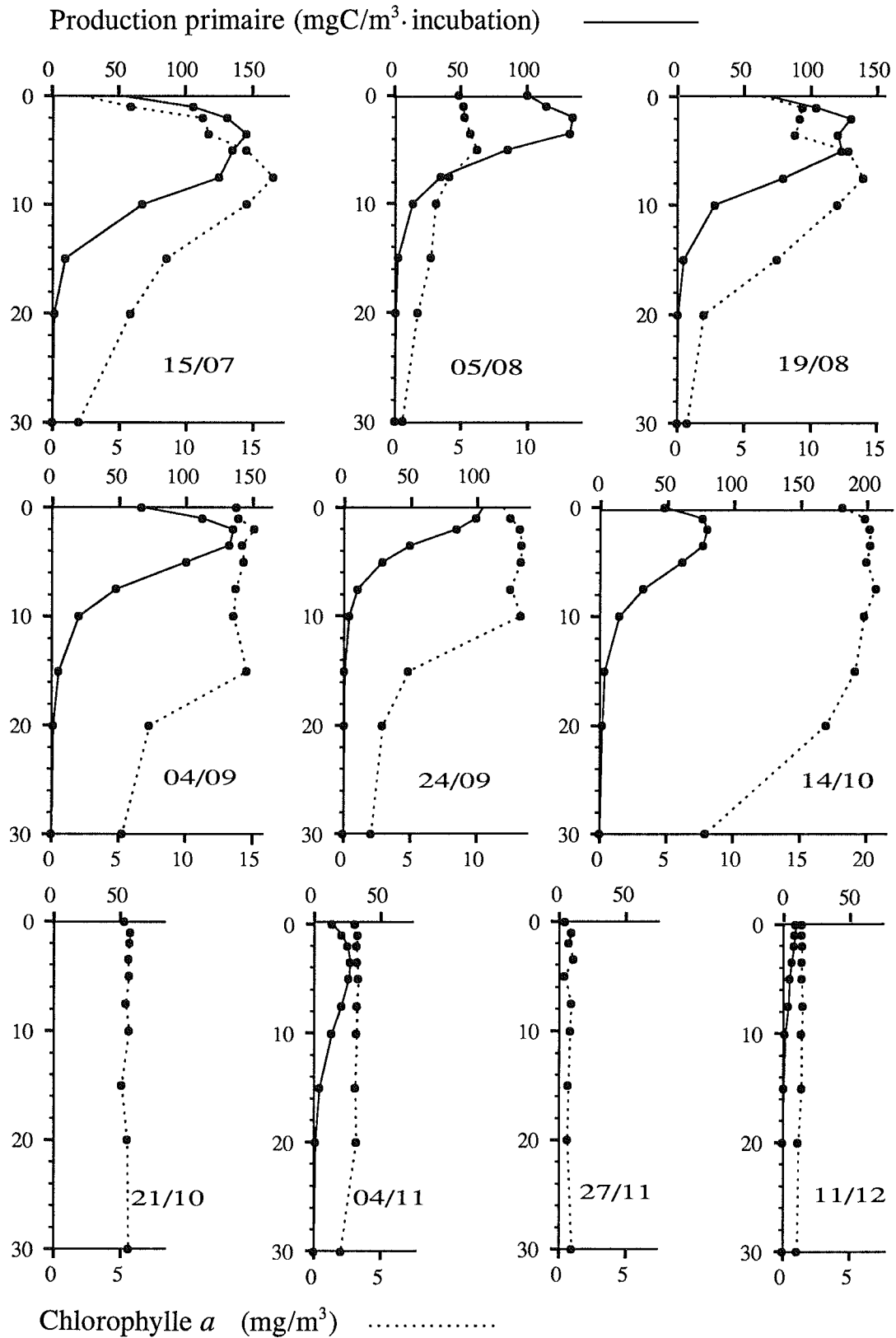


Figure 2 : Profils verticaux de production primaire (trait plein, échelle supérieure) et de chlorophylle *a* (pointillés, échelle inférieure). La période d'incubation est le tiers médian de la période diurne. (Léman, SHL 2, de juillet à décembre 1996)

Mais par la suite, au cours de l'été et au début de l'automne, les pics de production s'atténuent. La production diminue malgré une augmentation de la biomasse. Cette tendance aboutit à mi-septembre à une situation bien caractérisée. La biomasse est devenue très importante dans les 20 premiers mètres. Le peuplement est alors largement dominé par une algue verte filamenteuse (*Mougeotia gracillima*, classe des conjuguées), qui constitue des colonies filamenteuses qui ne sont pratiquement pas consommées par le zooplancton. En outre, ces algues filamenteuses gênent considérablement la pratique de la pêche professionnelle en s'accrochant aux mailles des filets (grands pics) qui deviennent alors inefficaces. Cette biomasse importante se renouvelle peu, comme en témoigne le profil de production. La faible production observée en début d'automne traduit l'effet limitant des nutriments, les phosphates étant alors presque totalement épuisés dans la zone trophogène (BLANC et al., 1997). Ce constat est un indice positif de l'évolution du Léman.

Variations saisonnières

La figure 3 représente les variations au cours de la campagne 1996 de quatre paramètres globaux : la production primaire intégrée verticalement et exprimée par unité de surface, la teneur en chlorophylle dans les 10 et 30 premiers mètres, également exprimée par unité de surface, ainsi que la transparence. Ces courbes résument l'analyse des variations saisonnières des profils verticaux.

Le pic de phytoplancton de printemps se caractérise par une biomasse modérée et par une forte production. Après la phase des eaux claires bien marquée début juin, la production reste élevée en juillet. En revanche, le pic spectaculaire de biomasse observé à mi-septembre donne lieu à un pic de production modéré, par suite de la limitation par les facteurs nutritifs.

Production annuelle

La moyenne annuelle pondérée de la concentration en chlorophylle dans les 10 premiers mètres atteint 6.7 mg/m^3 , valeur encore jamais atteinte dans le cas du Léman (tableau 2). Ce résultat est confirmé par la moyenne annuelle très élevée des biomasses évaluées à partir des biovolumes cellulaires (PELLETIER et al., 1997).

La production annuelle brute est obtenue par intégration des valeurs journalières sur l'année. La production nette, directement utilisable par les herbivores, détritivores et décomposeurs, est calculée en retranchant 40 % à la production brute; cet abattement correspond aux pertes de carbone par respiration. Pour la campagne 1996, la production primaire annuelle nette ainsi calculée atteint $282 \text{ gC/m}^2.\text{an}$ (tableau 2). Cette valeur est en augmentation sensible par rapport aux deux années précédentes, particulièrement basses. Elle s'inscrit dans la gamme des variations observées de 1986 à 1993, si l'on exclut la valeur exceptionnellement élevée obtenue en 1991.

Cependant, eu égard à la très forte biomasse du phytoplancton exprimée par les concentrations en chlorophylle ou calculées par les biovolumes cellulaires, la production reste modérée. Ce résultat s'explique par la diminution de la part du nanophytoplancton.

TABLEAU 2 - Evolution à long terme de la production primaire annuelle et de la concentration annuelle moyenne en chlorophylle *a* (Léman, SHL 2)

Année	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
Production primaire annuelle nette ($\text{gC/m}^2.\text{an}$)	174	185	279	299	295	293	258	359	268	295	223	205	282
Chlorophylle <i>a</i> (0 - 10 m) moyenne annuelle (mg/m^3)	5.6	6.4	5.5	6.1	5.8	4.4	4.8	5.6	5.1	5.0	5.2	5.5	6.7

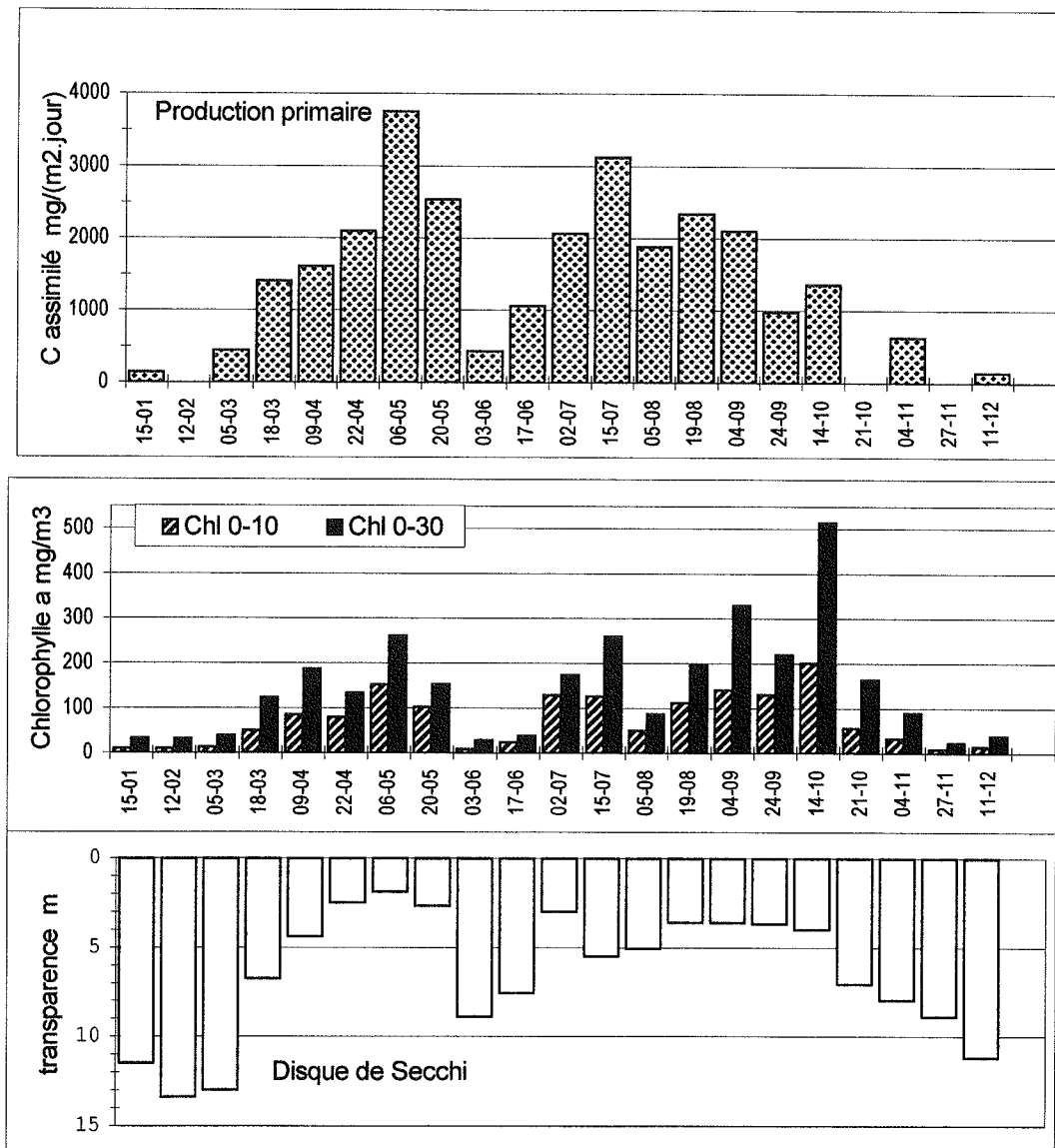


Figure 3 : Variations saisonnières de la production primaire journalière, de la teneur en chlorophylle *a* dans les couches 0-10 et 0-30 mètres, et de la transparence mesurée au disque de Secchi. (Léman, SHL 2, 1996).

4. DISCUSSION ET CONCLUSIONS

De 1980 à 1995, la concentration en phosphore total diminue progressivement dans l'ensemble de la masse d'eau du Léman, pour se stabiliser semble-t-il en 1996 (BLANC et al., 1997). Contrairement à l'évolution régulière des nutriments, l'évolution de la biomasse du phytoplancton (moyenne annuelle) présente des fluctuations interannuelles marquées. Une telle variabilité est liée aux conditions climatiques qui peuvent changer d'une année à l'autre. Cependant, sur les longues séries chronologiques, de grandes tendances apparaissent.

La biomasse totale du phytoplancton, très élevée en 1975 et 1976, a tendance à décroître par la suite jusqu'en 1991. Au cours de la même période, la biomasse du nanophytoplancton tend au contraire à s'accroître. Du fait de leur petite taille, les algues nanoplanctoniques sont consommées préférentiellement par le zooplancton et présentent de fortes capacités de développement. Il en résulte une augmentation de la production phytoplanctonique. Cette situation est bien marquée en 1991, année de forte production caractérisée par une faible biomasse d'un phytoplancton largement dominé par le nanoplancton.

De 1992 à 1996, une évolution inverse paraît se dessiner. La biomasse phytoplanctonique augmente alors que celle du nanophytoplancton stagne ou diminue. La production reste modérée. L'année 1996 confirme cette tendance. Le phytoplancton est caractérisé par une très forte biomasse où le nanoplancton est peu représenté. Bien qu'en augmentation par rapport à l'année précédente, la production annuelle reste modérée, compte tenu de la très forte biomasse. En particulier, le maximum de production observé en automne est restreint, en dépit du pic de biomasse spectaculaire qui lui correspond. Cette faible production automnale est l'indice d'une limitation du développement des algues par les phosphates, alors presque épuisés dans la couche superficielle (BLANC et al., 1997). Un tel constat est un élément positif de l'évolution du Léman.

D'une façon générale, l'évolution du phytoplancton au cours des cinq dernières années aboutit à une situation proche de celle observée à la fin des années 60, alors que la concentration en phosphore total dans les eaux du Léman était du même ordre de grandeur qu'actuellement. La composition spécifique du peuplement confirme ce constat. Les grandes quantités d'algues filamenteuses présentes en automne et la gêne qui en résulte pour la pêche professionnelle rappellent que la concentration en phosphore dans l'eau du Léman doit encore être réduite, conformément aux objectifs de la CIPEL.

BIBLIOGRAPHIE

- BALVAY, G., (1997) : Evolution du zooplancton du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1996.
- BLANC, P., CORVI, C., KHIM-HEANG, S. et RAPIN, F., (1997) : Evolution physico-chimique des eaux du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1996.
- PELLETIER, J.P. (1983) : Mesure de la production primaire en milieu aquatique ; problèmes méthodologiques et éléments d'interprétation. Revue française des sciences de l'eau, 2, 339-366.
- PELLETIER, J.P., DRUART, J-C. et REVACLIER, R. (1997) : Evolution du phytoplancton du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1996.
- 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 sea water analysis. Bull. Fish. Res. Bd Canada, 167, 311 p.