

SYNDICAT MIXTE DU LAC D'ANNECY

**SUIVI SCIENTIFIQUE
DU LAC D'ANNECY**

Rapport 2007



Syndicat Mixte du Lac d'Annecy
7 Rue des Terrasses B.P. 39
74962 CRAN-GEVRIER CEDEX
Tél : 04 50 66 77 77



Station d'Hydrobiologie Lacustre
75 Avenue de Corzent B.P. 511
74203 THONON-LES-BAINS CEDEX
Tél : 04 50 26 78 00

SYNDICAT MIXTE DU LAC D'ANNECY

SUIVI DE LA QUALITE DES EAUX DU LAC D'ANNECY

RAPPORT 2007

Rédigé par :

Daniel GERDEAUX (coordination et édition)
Jean-Claude DRUART (phytoplancton)
Leslie LAINE (zooplancton)
Jérôme LAZZAROTTO (physico-chimie)
Marie-Elodie PERGA (zooplancton)
Frédéric RIMET (phytoplancton)

Rapport validé par :

- Gérard BLAKE – Université de Savoie, Le Bourget-du-Lac
- Janusz DOMINIK – Institut Forel, Versoix (CH)
- Dominique FONTVIEILLE – Université de Savoie, Le Bourget-du-Lac
- Emmanuel NAFFRECHOUX – Université de Savoie, Le Bourget-du-Lac
- Thomas PELTE – Agence de l'Eau RM&C, Lyon
- Jean PERFETTA – Service Cantonal de l'Ecologie de l'Eau, Genève (CH)
- François RAPIN – CIPEL, Nyon (CH)

à la date du 10 septembre 2008

GERDEAUX D., DRUART J.C., LAINE L., LAZZAROTTO J., PERGA M.E. et RIMET F., 2008. Suivi de la qualité des eaux du lac d'Annecy. Rapport 2007. SILA (éd.) et INRA-Thonon. 70 pages et annexes.



Syndicat Mixte du Lac d'Annecy
7 Rue des Terrasses B.P. 39
74962 CRAN-GEVRIER CEDEX
Tél : 04 50 66 77 77

Rapport téléchargeable en format PDF sur
le site Internet du SILA : www.sila.fr



Station d'Hydrobiologie Lacustre
75 Avenue de Corzent B.P. 511
74203 THONON-LES-BAINS CEDEX
Tél : 04 50 26 78 00

Carte d'identité du lac



Nom : Lac d'Annecy
Né il y a 18 000 ans
des fontes glaciaires

Mensuration :

Longueur : 14,6 km

Largeur : de 0,8 à 3,2 km

Surface : 27 km²

Altitude : 446,97 m

Profondeur moyenne : 41 m

Profondeur maximale : 65m

(Le Boubioz : 78,70 m)

Volume d'eau douce :

1 124 500 000 m³

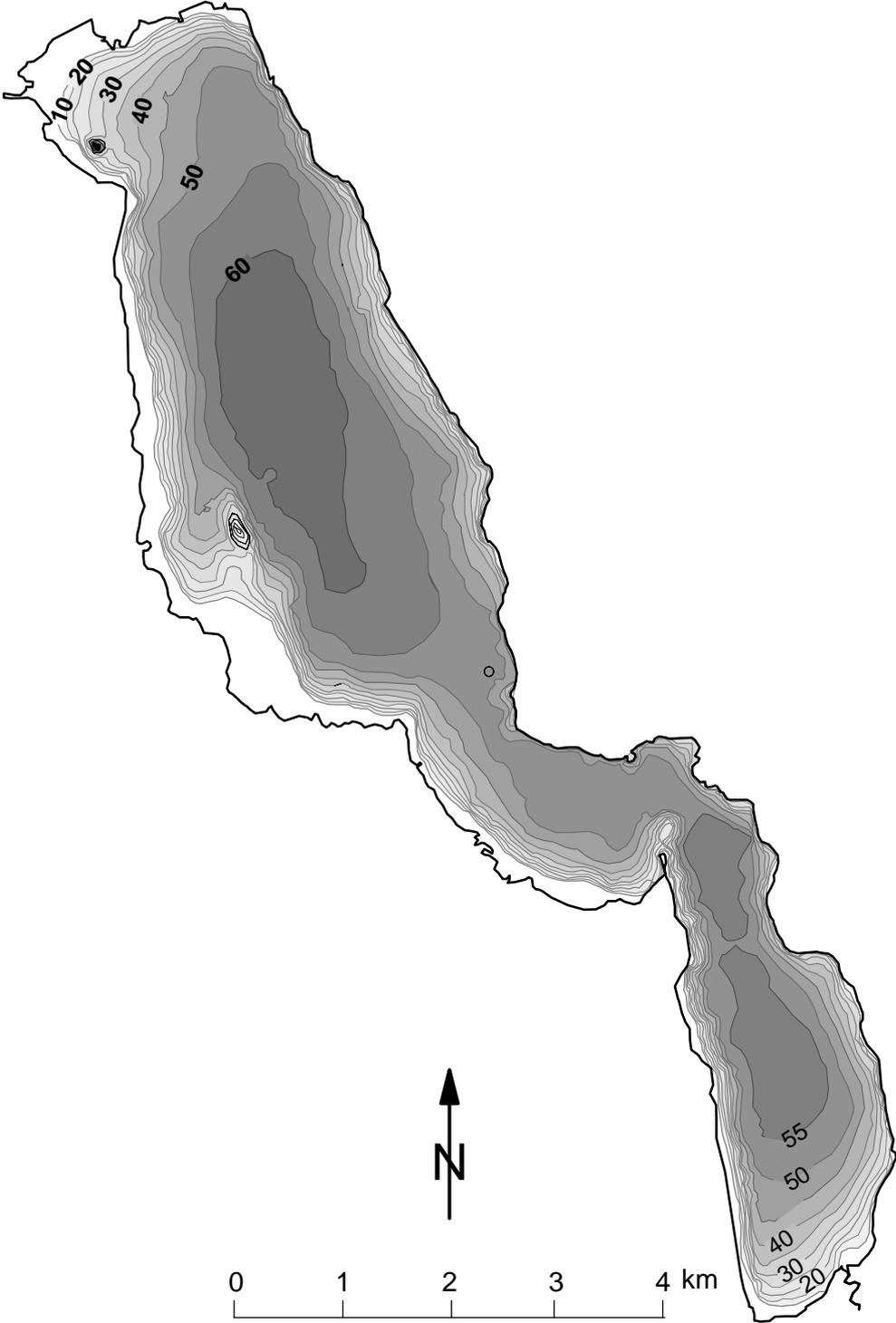
Signe particulier :

En bonne santé

LES DIFFERENTES COLLECTIVITES ADHERENTES AU SILA POUR LA COMPETENCE « AMENAGEMENT ET PROTECTION DU LAC »



CARTE BATHYMETRIQUE DU LAC D'ANNECY



SOMMAIRE

Introduction.....	1
Chapitre 1 : Etudes physico-chimiques	
I.1 Transparence.....	4
I.2 Température.....	7
I.3 Oxygène dissous.....	11
I.4 Conductivité.....	17
I.5 Turbidité.....	19
I.6 Azote.....	21
I.7 Phosphore.....	23
I.8 Rapport « N/P ».....	24
I.9 Evolution interannuelle de l'azote et du phosphore.....	25
I.10 Silice.....	30
I.11 Stocks du lac en cations et en anions.....	32
I.12 Conclusion.....	34
Chapitre 2 : Etudes biologiques	
II.1 Méthodes d'étude du plancton.....	35
II.1.1 Phytoplancton.....	35
II.1.2 Zooplancton.....	37
II.2 Le Phytoplancton.....	38
II.2.1 Richesse spécifique du phytoplancton.....	38
II.2.2 Grand Lac.....	41
II.2.3 Petit Lac.....	51
II.2.4 Comparaisons des données obtenues sur chaque lac.....	59
II.2.5 Conclusion du chapitre phytoplancton.....	60
II.3 Le Zooplancton.....	62
II.3.1 Composition et évolution à long terme de la communauté zooplanctonique.....	62
II.3.2 Dynamique saisonnière en 2007.....	64
Conclusion générale.....	69
Dossier I : Météorologie et climatologie	
Dossier II : Carte du bassin versant du lac d'Annecy	
Dossier III : Courbes des débits des principaux affluents	
Dossier IV : Articles de presse relatifs au lac d'Annecy en 2007	

INTRODUCTION

Dès 1966 le Syndicat Intercommunal des Communes Riveraines du lac d'Annecy (SICRLA) a entrepris la réalisation d'un suivi de la qualité physico-chimique des eaux du lac d'Annecy. Ensuite le phytoplancton a été ajouté aux paramètres, puis le zooplancton. Le suivi interrompu de 1982 à 1986 a été repris par le Syndicat Intercommunal du lac d'Annecy (SILA) devenu actuellement le Syndicat Mixte du Lac d'Annecy. Le protocole de suivi est le même depuis 1990.

Ce suivi à long terme permet de disposer d'une série de paramètres physico-chimiques et biologiques du plan d'eau. Des tendances et des anomalies par rapport à un fonctionnement « moyen » peuvent ainsi être mises en évidence et des éléments de compréhension des phénomènes observés peuvent être donnés.

Le lac d'Annecy est un écosystème complexe qui dépend non seulement du fonctionnement de ses composantes internes, mais aussi des apports de son bassin versant, du climat. La géomorphologie du lac fait que les eaux profondes du Grand Lac sont souvent désoxygénées dès l'automne¹. Il est ainsi très sensible aux effets du brassage hivernal qui réoxygène ses eaux.

L'écosystème subit de nombreuses influences des activités humaines. Localement certains paramètres peuvent être contrôlés comme l'ont été les apports en eaux usées par la construction du grand collecteur. Globalement, le lac subit le réchauffement de la planète et des apports par l'air et l'eau qui ne sont pas ou peu maîtrisables par les collectivités locales.

Le suivi de l'année 2007 a été confié à la Station d'Hydrobiologie Lacustre de l'INRA à Thonon-les-Bains qui a bénéficié de l'appui du Syndicat Mixte du Lac d'Annecy pour toutes les interventions nécessaires à la bonne exécution des diverses campagnes. Les résultats sont présentés dans ce rapport qui a été validé par le Comité Scientifique. Ce dernier oriente si besoin les études futures.

Quinze campagnes ont été réalisées dans la zone de profondeur maximale du Grand Lac et du Petit Lac pour les analyses physico-chimiques et biologiques. La réalisation et le contrôle des mesures et des prélèvements ont été effectués par les

¹ Pinault, J.L., and Berthier, F. 2007. A methodological approach to characterize the resilience of aquatic ecosystems with application to Lake Annecy, France. *Water Resources Research* 43(1).

techniciens de la Station d'Hydrobiologie Lacustre INRA - Thonon, avec la collaboration du SILA. L'assistance technique (mise à disposition du bateau) a été assurée par le SILA. Les analyses chimiques ont été réalisées par l'équipe du laboratoire de chimie. Quelques données sont manquantes suite à des difficultés techniques ponctuelles.

Les données météorologiques locales sont reprises des bilans de Météo France que nous remercions et des données de pluviométrie du SILA (cf. dossier 1). L'année 2007 est une année climatologique « arrosée » marquée par un hiver particulièrement doux et un été maussade.

CHAPITRE I

ETUDES PHYSICO-CHIMIQUES

L'année 2007 a fait l'objet d'un suivi physico-chimique au cours de 15 campagnes de prélèvements effectuées dans le Grand Lac et le Petit Lac.

Les prélèvements sont effectués aux profondeurs de 3m, 10m, 15m, 30m, 45m et le fond (55 m pour le Petit Lac et 65 m pour le Grand Lac). La profondeur de prélèvement est contrôlée par une sonde de pression couplée à la bouteille de prélèvement. A chaque campagne, les paramètres suivants sont dosés sur les échantillons prélevés : phosphore total, orthophosphate, azote nitrique, azote ammoniacal, azote total, silice réactive et les carbonates (le titre alcalimétrique complet). Durant deux campagnes dans l'année, les éléments majeurs (chlorure, sulfate, calcium, magnésium, sodium et potassium) sont analysés. Les méthodes utilisées pour ces analyses chimiques sont présentées dans les annexes.

Lors de chaque campagne de prélèvement pour le Petit Lac et pour le Grand Lac, un profil de sonde physico-chimique est aussi effectué, indiquant l'évolution de la température, la saturation en oxygène dissous, la conductivité, la turbidité et la chlorophylle a tout au long de la colonne d'eau.

Le présent chapitre présente les évolutions saisonnières des paramètres observés, ainsi que les tendances interannuelles. Ces évolutions dépendent de l'hydrologie et des apports de rivières, de l'activité biologique du lac et des facteurs météorologiques (vents, température...).

I.1. TRANSPARENCE

La transparence est la mesure de la profondeur moyenne de disparition dans l'eau du disque de Secchi (disque lesté de couleur blanche de 30 cm de diamètre). La présence de particules (algues et MES provenant des cours d'eau) influe sur cette mesure.

La transparence est mesurée à chaque campagne de prélèvement dans le Grand Lac et le Petit Lac et donne une information sur la densité d'algues en présence. Les mesures de transparence des campagnes de 2007 sont représentées sur le Tableau 1 et sur la Figure 1.

Tableau I. 1 : Résultats des mesures de transparence en mètre en 2007

	Petit Lac	Grand Lac
17-janv.-07	10,2	9,8
19-févr.-07	9,4	9,7
13-mars-07	6,2	7,2
10-avr.-07	9,5	10,1
24-avr.-07	10,5	10,1
10-mai-07	8,6	7,7
22-mai-07	7,2	7,5
13-juin-07	5,1	6,0
3-juil.-07	5,0	6,0
16-juil.-07	3,1	5,6
13-août-07	4,6	4,7
20-sept.-07	-	3,8
16-oct.-07	4,5	5,0
13-nov-07	9,0	8,9
18-déc.-07	5,9	9,4
<i>Nombre</i>	14	15
<i>Moyenne</i>	7,1	7,4
<i>Minimum</i>	3,1	3,8
<i>Maximum</i>	10,5	10,1

Suivi du lac d'Annecy 2007

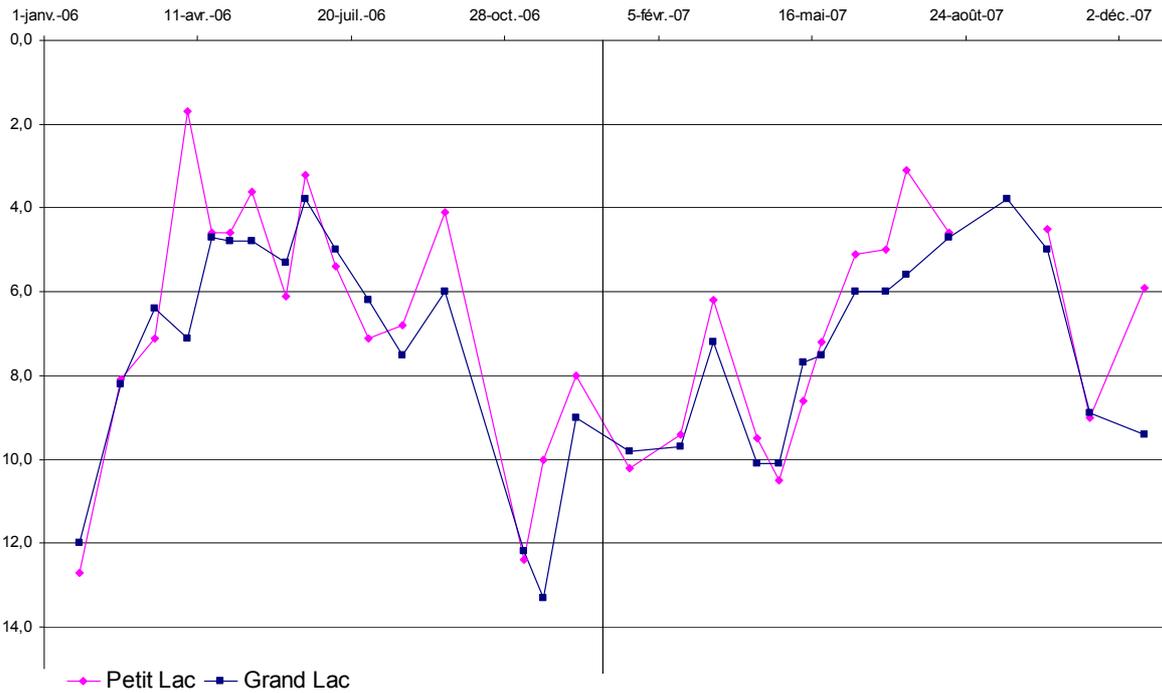


Figure I. 1 : Evolution de la transparence en mètres de 2006 à 2007

Les moyennes de transparence sont du même ordre de grandeur que celles des années précédentes, la gamme de variations des valeurs ponctuelles se réduisant légèrement (fig I.2).

La transparence indique une charge en particules importante au mois de mars puis du mois de mai jusqu'en fin d'année dans l'épilimnion¹. Cette dynamique est directement corrélée avec l'activité photosynthétique continue et les apports de particules du bassin versant (cf. dossier I météo).

La transparence du Petit Lac est du même ordre de grandeur que celle du Grand Lac. Cependant elle est plus influencée par les apports du bassin versant lors des pluies.

La Figure I.2 indique l'évolution depuis 1995 de la transparence dans le Petit Lac et dans le Grand Lac. Cette figure indique que les maxima de début d'année sont relativement faibles par rapport aux années précédentes. La tendance de la

¹ Epilimnion : couche supérieure du lac à température homogène, très variable au cours de l'année

dynamique saisonnière à évoluer vers une transparence faible du printemps à l'automne sans variations importantes se confirme cette année.

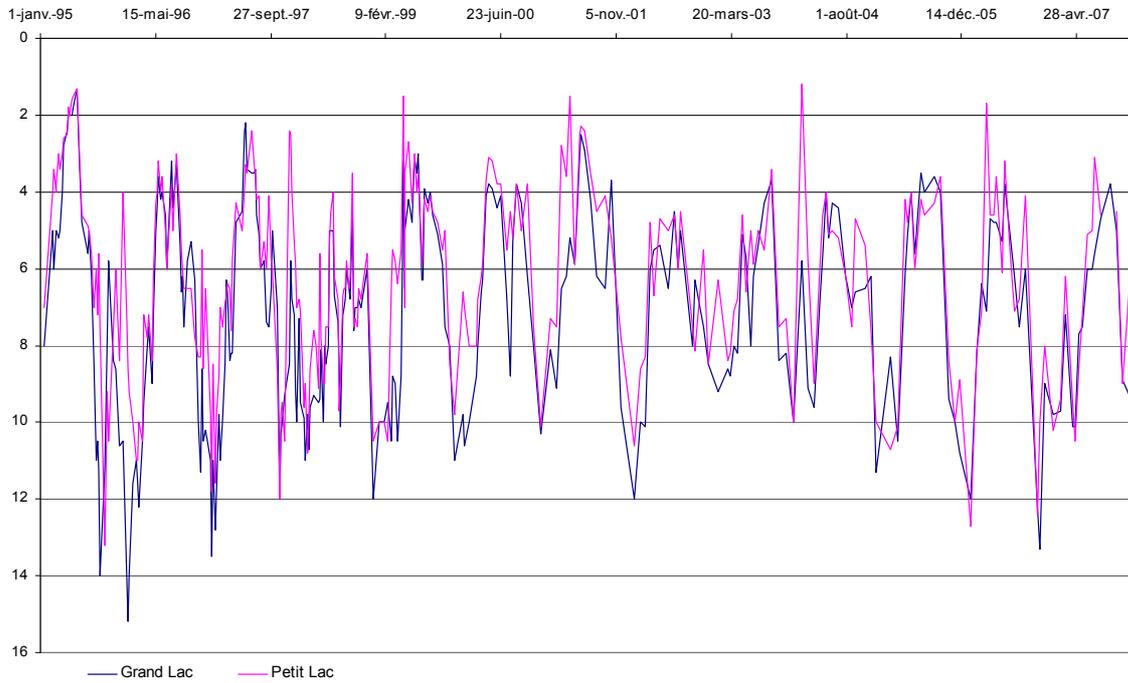


Figure I. 2 : Evolution de la transparence de 1995 à 2007

I.2. TEMPERATURE

La température du lac est l'un des principaux paramètres explicatifs du comportement biologique de l'écosystème. La température de la colonne d'eau est mesurée à chaque profil de sonde lors de chaque campagne de prélèvement dans le Petit Lac et le Grand Lac. Les figures I.3 et I.4 représentent l'évolution des profils de température.

En 2007, l'homogénéisation thermique du lac n'a pas été complète, elle est observée de façon partielle lors de la campagne du 19 février avec une température de 6,2 °C en surface à 5,2 °C au fond du Grand Lac. Du fait de ces températures clémentes, le brassage de début d'année est partiel. Il est observé lors de la campagne du 13 mars. La Figure I.5 représente le profil sonde lors de ce brassage partiel. A la même date, la surface commence à se réchauffer avec une température de 7,0 °C en surface, soit très supérieure au brassage observé en mars 2006 avec 4,4 °C tout le long de la colonne d'eau.

La figure I.6 indique que les températures moyennes sur toute la hauteur d'eau au moment du brassage observées lors de l'hiver 2007 sont significativement plus élevées que les années précédentes, surtout après l'hiver particulièrement froid de 2006.

Le réchauffement des eaux superficielles continue avec un maximum le 13 août de 21,3 °C. La stratification de la colonne d'eau est nette dès le mois d'avril. L'épilimnion augmente au fur et à mesure de l'année en température et en profondeur pour atteindre au maximum 21,3 °C sur 5 mètres le 13 août, soit beaucoup moins que le maximum des années précédentes (25°C le 31 juillet 2006 sur 7 mètres dans le Grand Lac). La stratification se maintient le reste de l'année. Elle atteint une profondeur maximum le 16 octobre avec un épilimnion de 14 m et une température de 16,0 °C. La dynamique de température de la colonne d'eau de cette année se distingue des années précédentes. L'hiver a été plus chaud, donc l'homogénéisation thermique et le brassage incomplets. L'été a été moins chaud et a limité le réchauffement de l'épilimnion.

Suivi du lac d'Annecy 2007

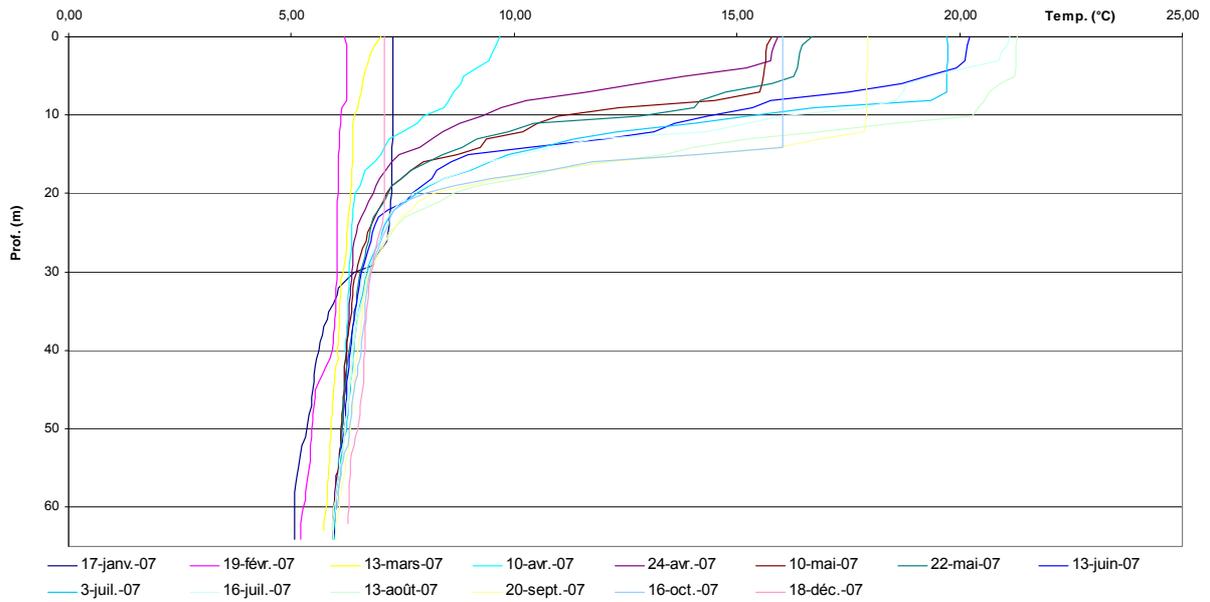


Figure I. 3 : Profils de température (°C) dans le Grand Lac en 2007

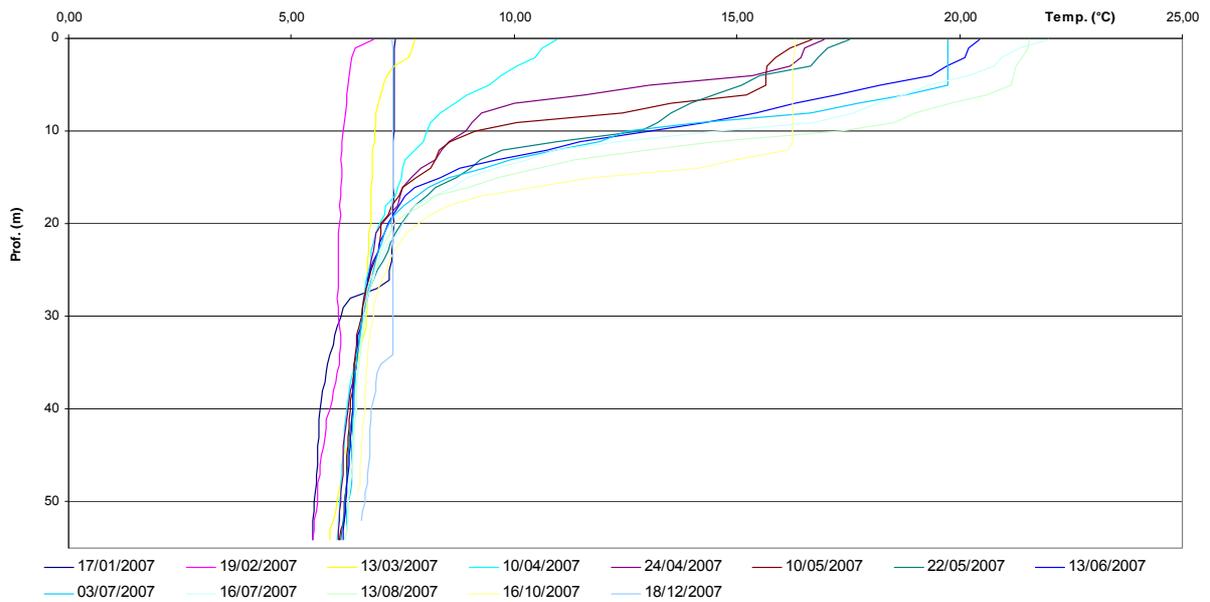


Figure I. 4 : Profils de température (°C) dans le Petit Lac en 2007

Suivi du lac d'Annecy 2007

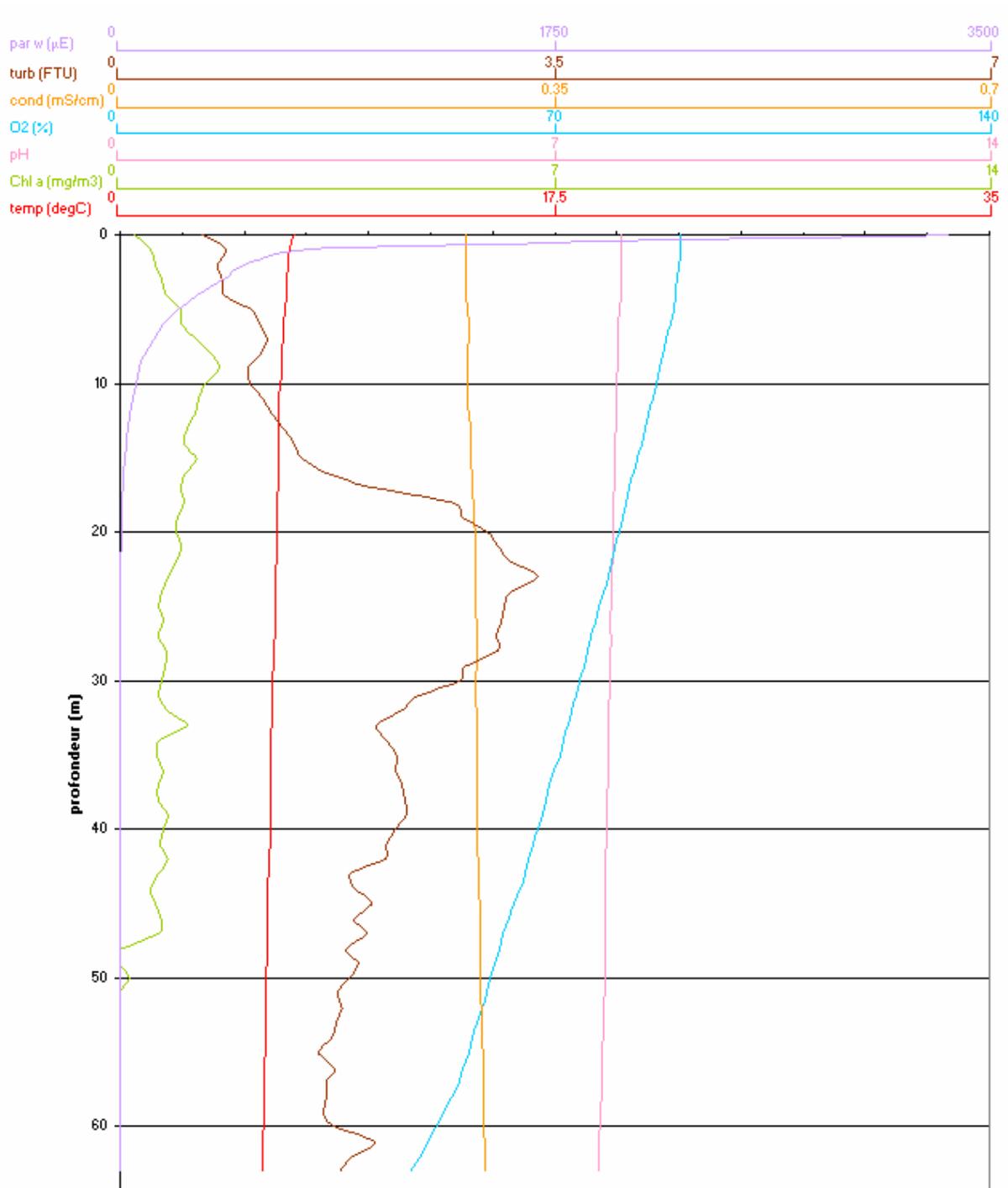


Figure I. 5 : Profil de sonde le 13 mars 2007 après le brassage partiel

Suivi du lac d'Annecy 2007

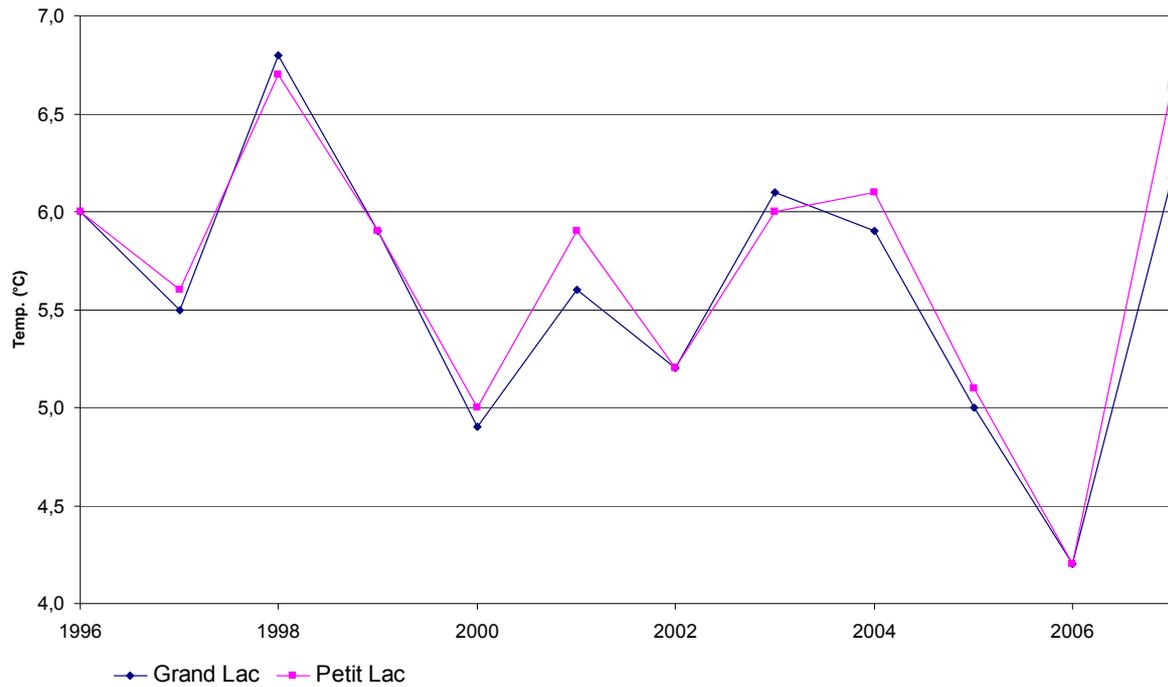


Figure I. 6 : Evolution de la température (°C) moyenne sur toute la hauteur d'eau au brassage du Grand Lac et du Petit Lac de 1996 à 2007

I.3. OXYGENE DISSOUS

L'oxygène dissous est mesuré à chaque profil de sonde de manière continue le long de la colonne d'eau du Grand Lac et du Petit Lac. Il est aussi mesuré sur chaque échantillon de prélèvement ponctuel (3, 10, 15, 30, 45 m et fond du lac) dans le Grand Lac et le Petit Lac par la méthode de titration de Winkler. Les dosages chimiques donnent une mesure fiable de la quantité d'oxygène dissous, les profils sonde permettent de visualiser la répartition relative de la saturation en oxygène mais ne peuvent être utilisés pour quantifier de manière absolue et fiable cette saturation, d'autant plus dans les zones de changement rapide de concentration compte-tenu du délai de réponse du capteur.²

Les figures I.7 et I.8 représentent les profils en oxygène dissous (% de saturation en O₂) dans le Grand Lac et le Petit Lac. La concentration au fond du lac en début d'année était de 0,19 mgO₂/L dans le Grand Lac et 1,55 mgO₂/L dans le Petit Lac. Le brassage, bien qu'incomplet, a permis une réoxygénation partielle du fond et le 13 mars on observe une concentration en oxygène dissous de 4,85 mgO₂/L au fond du grand Lac et 6,49 mgO₂/L au fond du Petit Lac. La réoxygénation continue au mois d'avril pour atteindre 6,33 mgO₂/L au fond du Grand Lac et 5,80 mgO₂/L au fond du Petit Lac. Les figures I.9 I.10 mettent en évidence la différence de réoxygénation des eaux du fond par rapport à 2006 et aux années précédentes.

L'activité biologique de dégradation de la matière organique entraîne la désoxygénation dans l'hypolimnion. Cette désoxygénation est perceptible à partir du 24 avril dans l'hypolimnion et se poursuit toute l'année pour atteindre un minimum de 0,10 mgO₂/L le 13 novembre au fond du Grand Lac. La figure I.10 représente l'évolution de la concentration en oxygène dissous depuis 1996 et met en évidence le caractère exceptionnel de la faible réoxygénation de l'année 2007.

Dans ces conditions réductrices, les sels de fer et de manganèse sont réduits et libèrent le phosphore retenu dans les sédiments. De la même manière l'azote ammoniacal, forme réduite de l'azote, présente des concentrations de plus en plus importantes dans l'hypolimnion au cours de l'année. L'évolution interannuelle de

² Toutes les valeurs citées dans ce rapport, hors données de profils, sont issues des analyses Winkler et non des données de la sonde.

l'effet de la désoxygénation du fond sur la charge interne, soit le relargage du phosphore total, et sur la réduction de l'azote est représentée sur la figure I.11. Comme l'année précédente, le fond du Grand Lac a été désoxygéné à partir du mois d'août. Le relargage de phosphore est assez limité par rapport aux années précédentes. La concentration maximale de phosphore total au fond du Grand Lac est de 26 µgP/L le 16 octobre, soit très inférieure aux 475 µgP/L, maximum observé en 2006 le 13 décembre. Les maxima de concentration d'azote ammoniacal (forme réduite de l'azote nitrique) dans l'hypolimnion sont de 259 µgN/L le 13 novembre dans le Grand Lac à 65 m et 50 µgN/L dans le Petit Lac à 55m ; les concentrations en azote nitrique sont alors très faibles au fond du le Grand Lac.

Dans l'épilimnion et le métalimnion qui se forment en début d'année, l'activité photosynthétique entraîne une augmentation des concentrations en oxygène dissous visible dès le mois d'avril sur les profils de sonde des figures I.7 et I.8. Le graphique I.12 représente l'évolution dans les couches superficielles (3 m, 10 m, 15 m et 30 m) de la concentration en oxygène dissous (dosage Winkler). Les maxima de sursaturation en oxygène dissous sont observés le 10 mai à 15 m avec 13,6 mgO₂/L et le 16 juillet à 15 m avec 12,3 mgO₂/L dans le Grand Lac. Ces sursaturations sont beaucoup plus faibles qu'en 2006 (maximum de 16 mgO₂/L à 10 m en août 2006), les températures de l'été 2007 ayant été relativement faibles par rapport aux moyennes saisonnières.

La production d'oxygène dissous produit par l'activité phytoplanctonique dans la couche euphotique dure une grande partie de l'année et est observable avec un faible pic à 10 m jusqu'au mois d'octobre.

En conséquence de cette activité, le carbone organique total augmente après le brassage partiel à partir du mois d'avril jusqu'à 15 m (Figure I.13). Cette augmentation est significative mais limitée par rapport à 2006 : le maximum atteint est de 2,3 mgC/L à 15 m le 13 août 2007 contre 2,6 mgC/L à 15 m le 25 octobre 2006.

Suivi du lac d'Annecy 2007

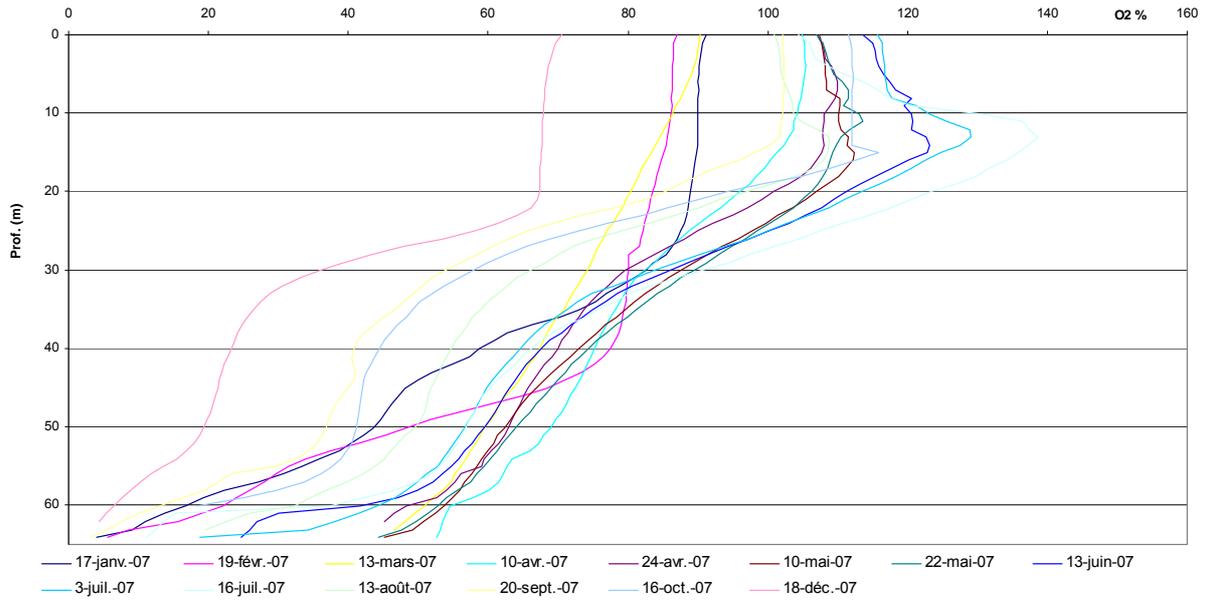


Figure I. 7 : Profil d'oxygène dissous (% de saturation en O₂) dans le Grand Lac en 2007

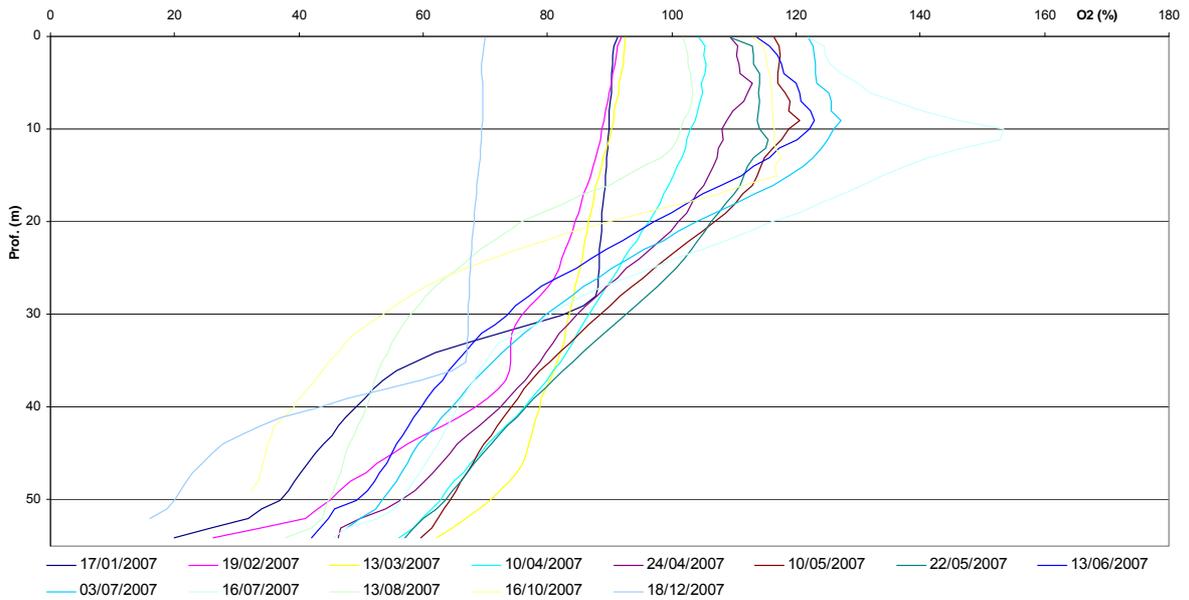


Figure I. 8 : Profils en oxygène dissous (% de saturation en O₂) dans le Petit Lac en 2007

Suivi du lac d'Annecy 2007

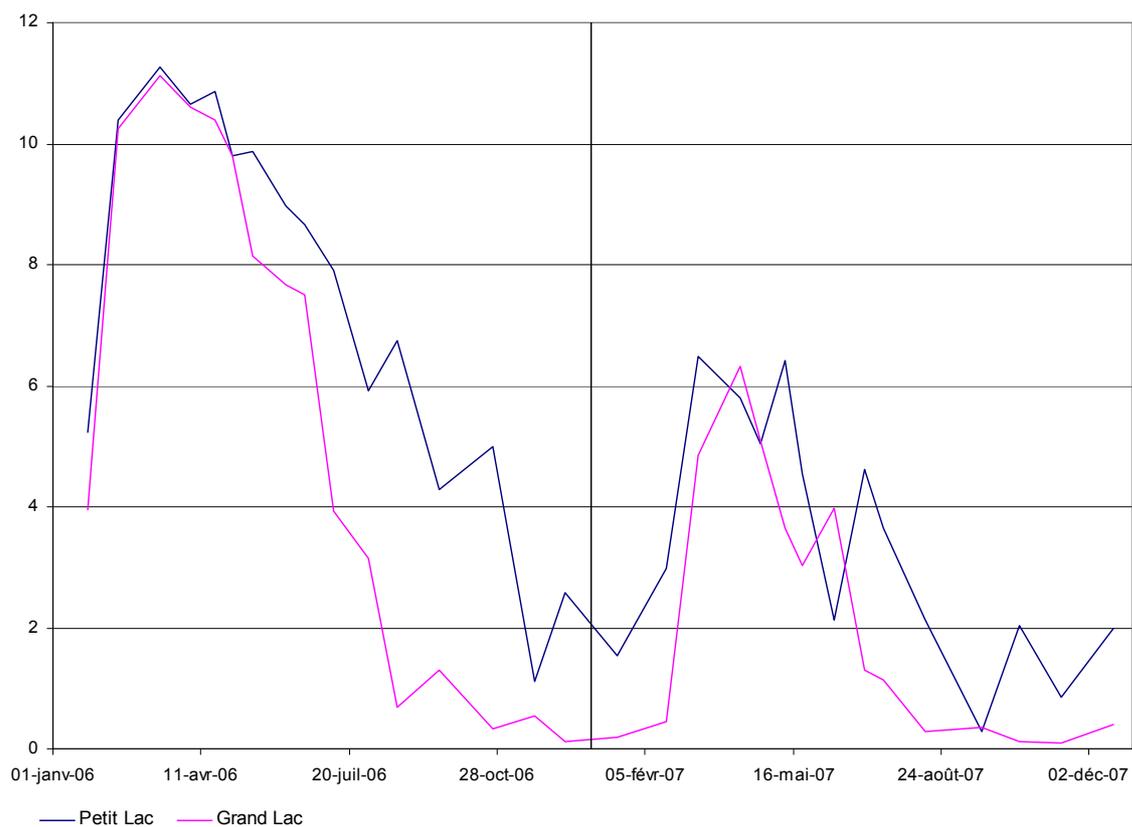


Figure I. 9 : Evolution de la concentration en oxygène dissous (mgO₂/L) au fond du Grand Lac et du Petit Lac en 2006 et 2007

Figure I. 11 : Evolution de l'azote ammoniacal et du phosphore total au fond du Grand Lac de 1996 à 2007

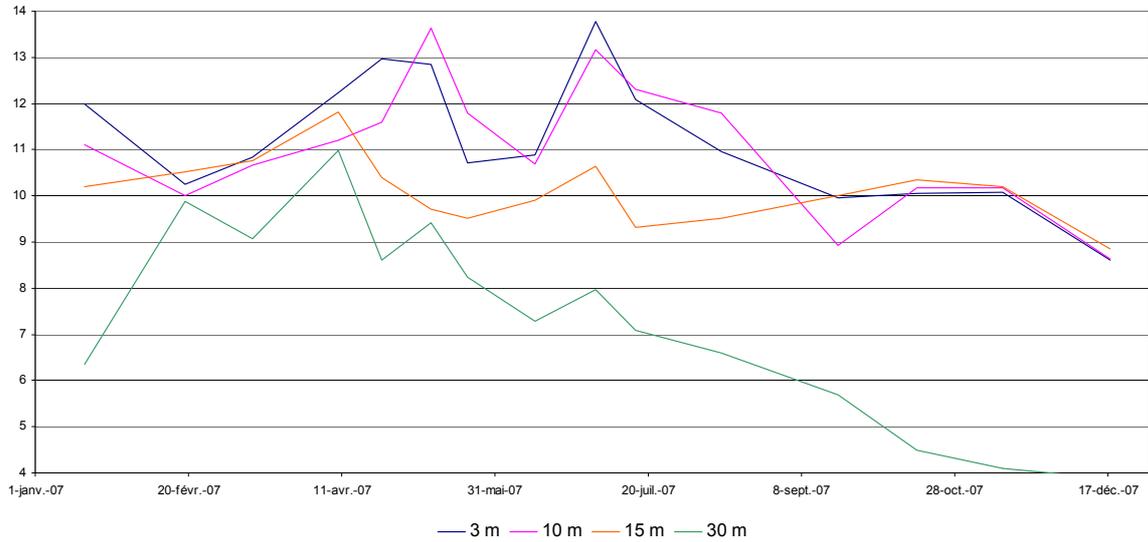


Figure I. 12 : Evolution de la concentration en oxygène dissous en mgO₂/L aux profondeurs 3 m, 10 m, 15 m et 30 m dans le Grand Lac en 2007

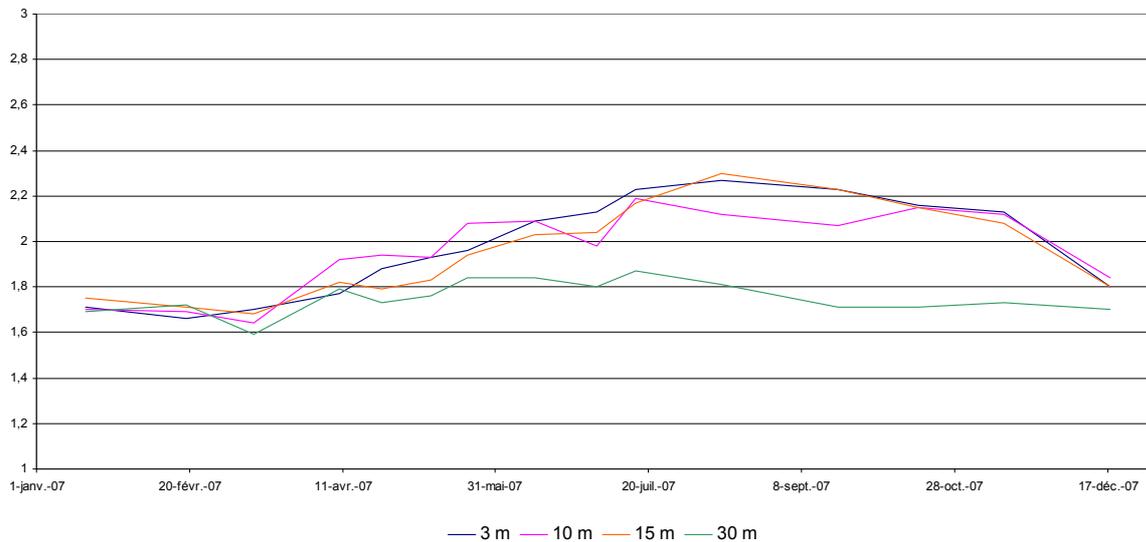


Figure I. 13 : Evolution de la concentration en carbone organique total en mgC/L aux profondeurs 3 m, 10 m, 15 m et 30 m dans le Grand Lac en 2007

I.4. CONDUCTIVITE

La conductivité est mesurée à chaque profil de sonde. Ce paramètre quantifie la somme des sels dissous présents dans l'eau. Cette mesure est dépendante de la température et est exprimée par convention à 25 °C.

Les figures I.14 et I.15 représentent les profils de conductivité dans le Grand Lac et le Petit Lac en 2007.

Le brassage du mois de mars bien que faible a toutefois permis une homogénéisation partielle de la conductivité de l'ensemble de la colonne d'eau du Grand Lac et du Petit Lac entre 0,279 et 0,294 mS/cm alors que le 17 janvier la conductivité était homogène jusqu'à 20 m à 0,266 mS/cm puis augmentait significativement jusqu'au fond du Grand Lac. Le brassage partiel a donc, comme pour les nutriments et l'oxygène dissous, redistribué en partie le stock de sels dissous dans la colonne d'eau.

Au fur et à mesure que la stratification avance et que l'activité photosynthétique s'intensifie, la conductivité diminue dans l'épilimnion. Cette diminution est provoquée par la consommation de CO₂ par la photosynthèse. Le CO₂ étant consommé, l'équilibre acido-basique du milieu est modifié et le pH augmente. En augmentant il modifie à son tour l'équilibre calco-carbonique et favorise la précipitation et la sédimentation de carbonate de calcium. Le calcium influençant significativement la conductivité, sa précipitation entraîne une diminution de cette dernière. Ce phénomène peut être observé sur les profils sonde à partir du 10 mai aux alentours de 12 m, puis s'intensifie avec l'augmentation de la production phytoplanctonique pour atteindre un minimum de 0,243 mS/cm le 16 octobre de la surface à 14 m dans le Grand Lac. Cette valeur minimale de conductivité est plus élevée que les années précédentes.

A l'inverse, la conductivité augmente dans l'hypolimnion au cours de l'année. Cette augmentation est la conséquence de la désoxygénation, qui entraîne le relargage de plusieurs sels dont des sels de fer, et de la minéralisation.

Suivi du lac d'Annecy 2007

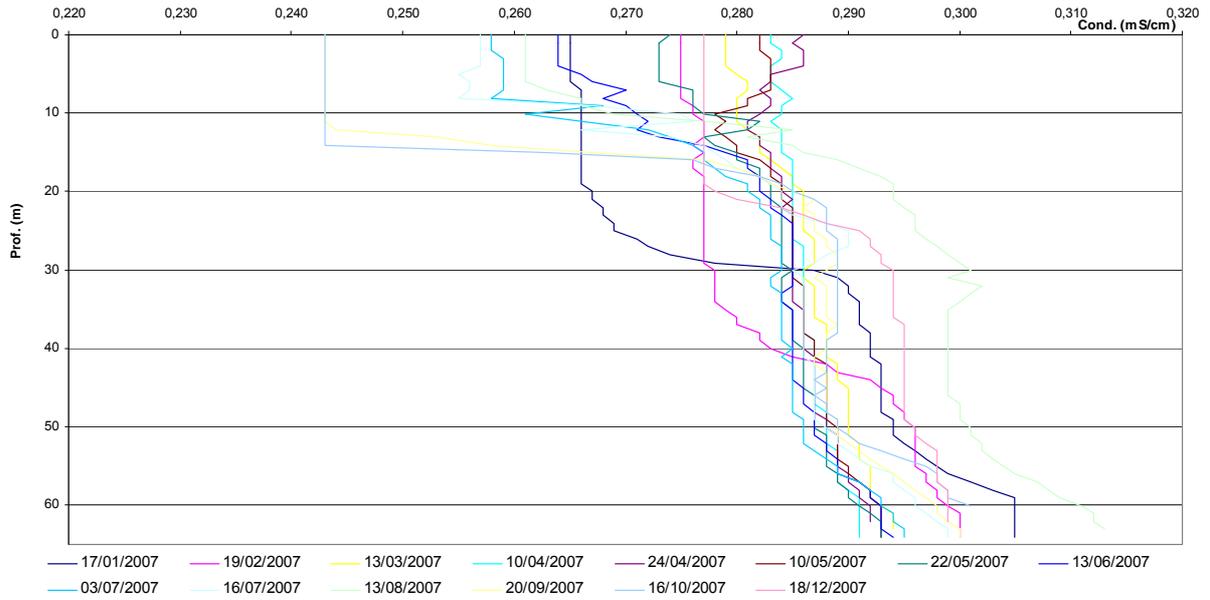


Figure I. 14 : Profils de conductivité (mS/cm) dans le Grand Lac en 2007

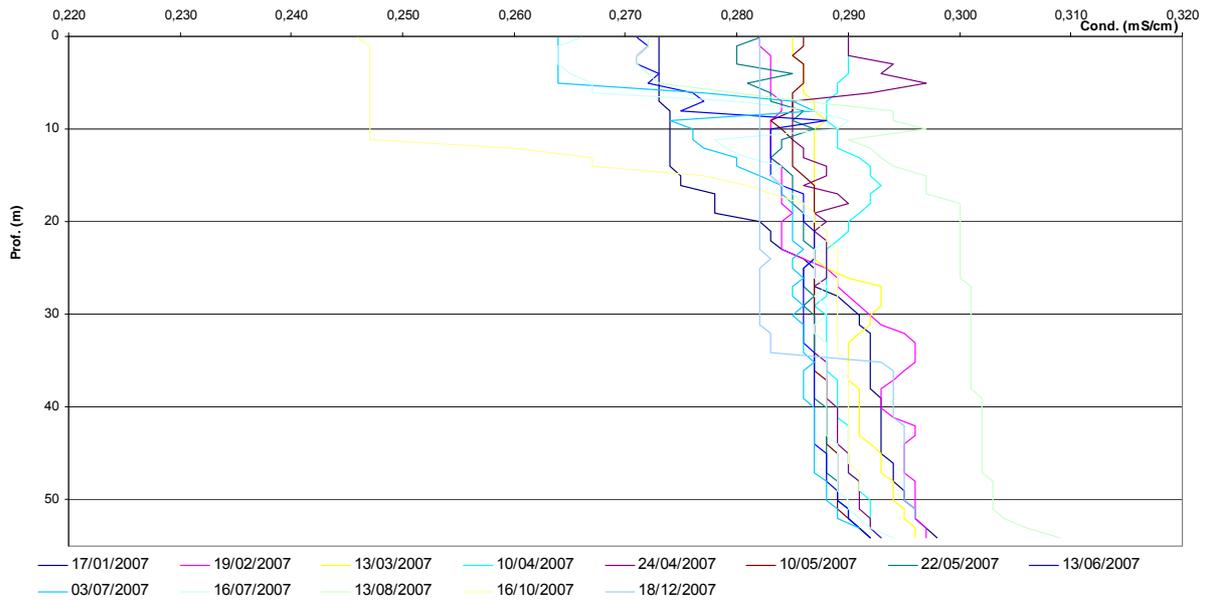


Figure I. 15 : Profil de conductivité (mS/cm) dans le Petit Lac en 2007

I.5. TURBIDITE

La turbidité est la mesure de la transmission de la lumière à 90° du rayon incident. Un profil de turbidité est effectué sur le Grand Lac et le Petit Lac lors de chaque campagne à l'aide de la sonde multiparamètre. La turbidité de l'eau est provoquée par la présence de particules, des algues ou des matières en suspension apportées par les cours d'eau. La turbidité est exprimée en FTU (Formazine Turbidity Unit). A la différence de la transparence, la mesure de la turbidité n'intègre pas l'épaisseur de la couche d'eau mais donne une valeur à chaque profondeur.

Les figures I.16 et I.17 représentent les profils de turbidité dans le Grand Lac et dans le Petit Lac en 2007.

Les pics de turbidité dans l'épilimnion indiquent la présence de phytoplancton comme on peut l'observer le 13 juin dans le Grand Lac avec 4,7 FTU à 13 m et dans le Petit Lac avec 8,2 FTU à 6 m le 3 juillet. Il faut cependant indiquer que seul le nanoplancton influence significativement la turbidité comme la transparence et non le microplancton.

Les particules provoquant les pics de turbidité peuvent aussi provenir du bassin versant lors d'évènement pluvieux comme le 19 février (cf. dossier I météo).

Les fortes valeurs de turbidité au fond du lac en début d'année et dans une moindre mesure en fin d'année mettent en évidence la chute des particules détritiques ainsi que la précipitation d'hydroxydes, comme les oxy-hydroxydes de manganèse, suite à la réduction du manganèse contenu dans les sédiments..

Suivi du lac d'Annecy 2007

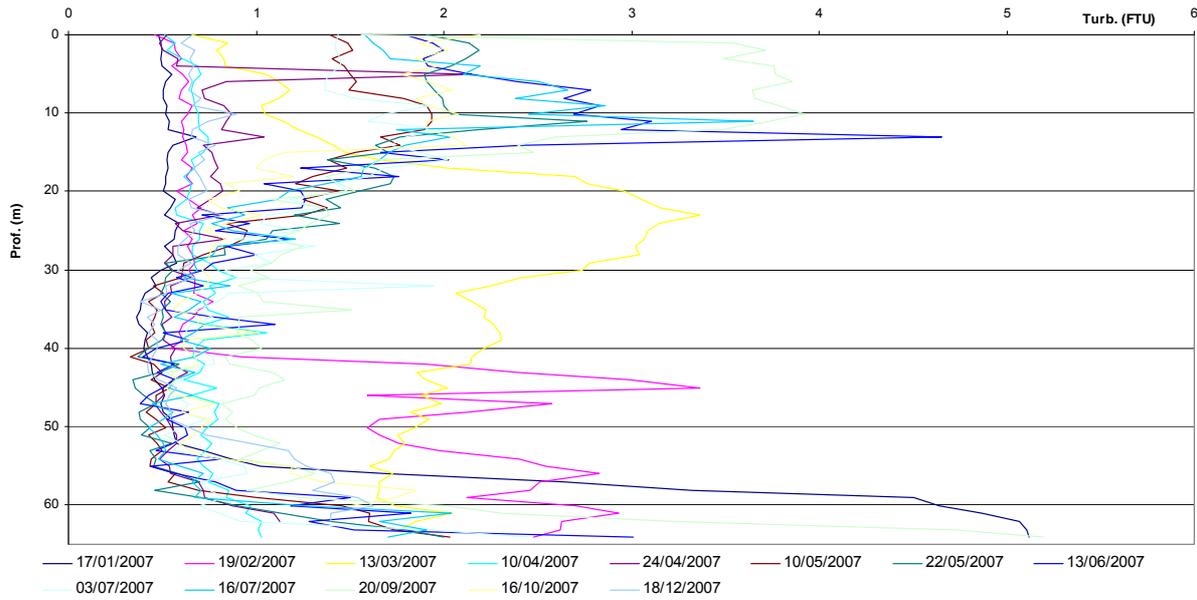


Figure I. 16 : Profils de turbidité (FTU) dans le Grand Lac en 2007

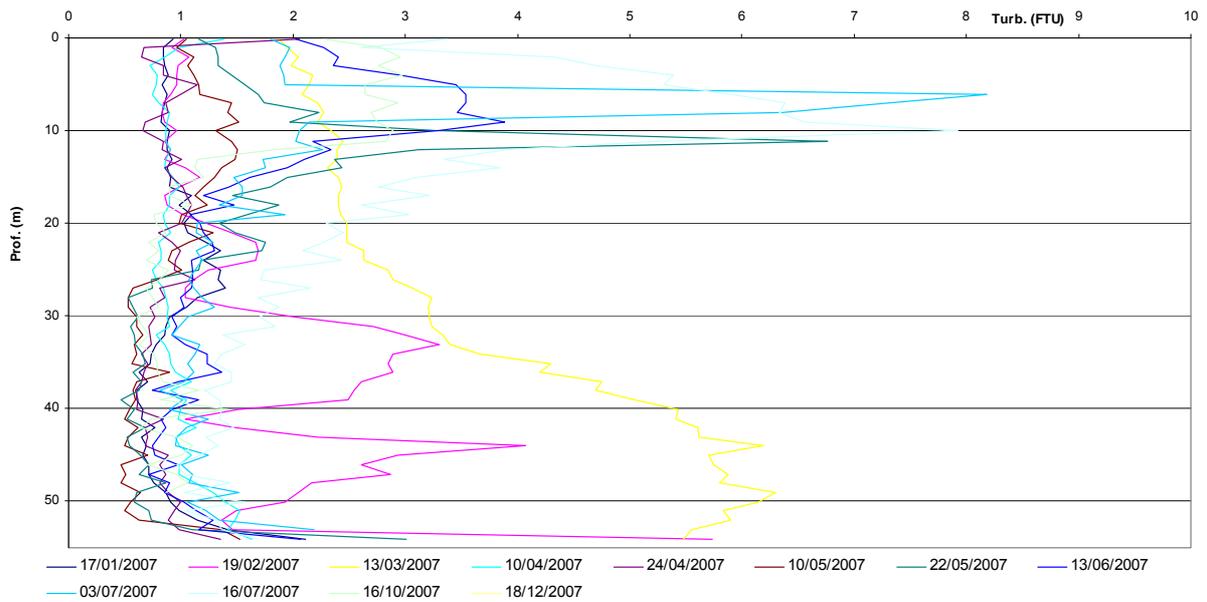


Figure I. 17 : Profils de turbidité (FTU) dans le Petit Lac en 2007

I.6. AZOTE

L'azote est présent dans le lac sous différentes formes minérales à différents degrés d'oxydation (azote nitrique, azote ammoniacal, azote nitreux) et organique. L'azote nitreux étant négligeable par rapport aux autres formes, nous analysons l'azote total (minéral + organique), l'azote ammoniacal (NH_4^+) et l'azote nitrique (NO_3^-). L'azote organique est évalué par différence entre l'azote total et l'azote minéral ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$). Les graphiques de concentrations des formes de l'azote par campagne sont disponibles en annexe.

Après le brassage partiel, lorsque le stock de nutriments a été remis à disposition, la concentration en azote nitrique, nutriment azoté principal, est presque homogène dans la colonne d'eau entre 0,27 et 0,31 mgN/L dans le Petit Lac et le Grand Lac le 10 avril. Ces concentrations sont équivalentes aux années précédentes, le stock ne varie pas significativement. L'azote nitrique est ensuite consommé dans l'épilimnion jusqu'à 15 m comme nous le constatons sur la figure I.18 pour atteindre de très faibles concentrations en automne. Les concentrations minimales dans l'épilimnion sont observées le 16 octobre avec 0,01 à 0,03 mgN/L de la surface à 15m.

L'azote ammoniacal présente une dynamique intéressante dans l'épilimnion car il est rejeté, entre autres, par le zooplancton. Le maximum dans l'épilimnion est observé à 15 m dans le Grand Lac le 16 octobre avec 17 $\mu\text{gN/L}$, soit une valeur faible par rapport à l'année précédente. Le reste de l'année l'azote ammoniacal se maintient à des concentrations faibles dans l'épilimnion.

Suivi du lac d'Annecy 2007

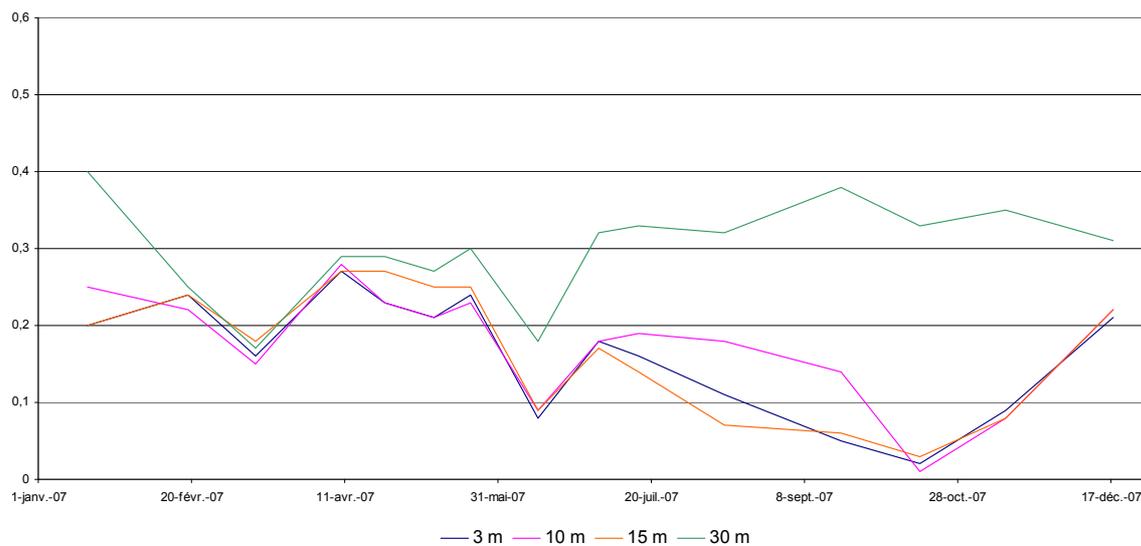


Figure I. 18 : Evolution de la concentration en azote nitrique en mgN/L aux profondeurs 3 m, 10 m, 15 m et 30 m dans le Grand Lac en 2007

I.7. PHOSPHORE

Comme l'azote, le phosphore est présent sous différentes formes dans le lac. Nous analysons la forme soluble réactive, considérée comme orthophosphate, et le phosphore total, comportant le phosphore dissous et le phosphore particulaire. Le lac d'Annecy présente des concentrations faibles en phosphore total et très faibles en orthophosphate, de telle sorte que les dynamiques de l'orthophosphate, forme directement biodisponible du phosphore, sont difficiles à étudier.

Après le brassage et l'homogénéisation de la colonne d'eau, le stock de phosphore ainsi remis à disposition correspond à une concentration moyenne de 6,9 $\mu\text{gP/L}$ en phosphore total et 2,5 $\mu\text{gP/L}$ en orthophosphate dans le Grand Lac et 11,5 $\mu\text{gP/L}$ et 4 $\mu\text{gP/L}$ respectivement dans le Petit Lac. Cependant à cette date le Petit Lac apparaît très chargé en particules (figure I.17) et cette importante concentration de phosphore total provient en partie du phosphore particulaire apporté par le bassin versant. Dans l'épilimnion, les concentrations diminuent et fluctuent à des valeurs très faibles de l'ordre du $\mu\text{gP/L}$, mis à part le 20 septembre à 3 m qui présente une concentration maximale de 10 $\mu\text{gP/L}$ (Figure I.19).

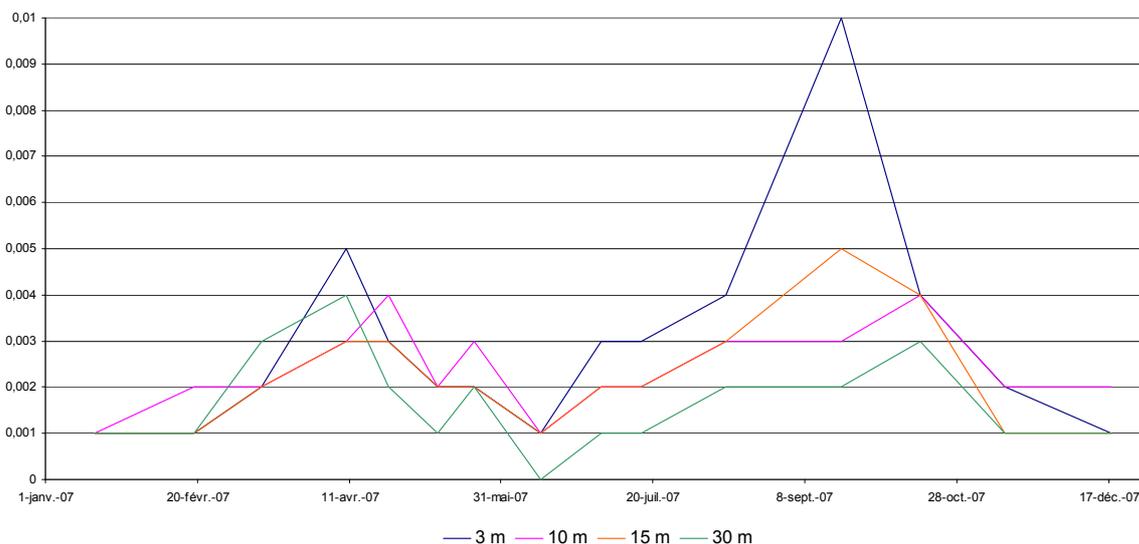


Figure I. 19 : Evolution de la concentration en orthophosphate en mgP/L aux profondeurs 3 m, 10 m, 15 m et 30 m dans le Grand Lac en 2007

I.8. RAPPORT 'N/P'

La valeur du rapport azote/phosphore (N/P) dans l'eau permet de distinguer l'élément nutritif limitant la production photosynthétique. Le rapport optimal moyen N/P requis pour la croissance des algues est estimé à 16 atomes d'azote pour 1 atome de phosphore, soit un rapport en masse de 7/1.

Le tableau I.2 présente le rapport azote minéral/orthophosphate ($[\text{NH}_4^+] + [\text{NO}_3^-]/[\text{PO}_4^{3-}]$) calculé sur la moyenne des concentrations mesurées dans la couche euphotique (3 m, 10 m et 15 m) dans le Grand Lac et le Petit Lac en 2007. Ce rapport concerne donc les formes nutritives directement biodisponibles.

Tableau I. 2 : Rapport azote minéral/orthophosphate dans la couche euphotique (moyenne 3 m, 10 m et 15 m)

Date	Grand Lac	Petit Lac
17-janv.-07	220	103
19-févr.-07	176	156
13-mars-07	83	78
10-avr.-07	76	100
24-avr.-07	74	46
10-mai-07	114	147
22-mai-07	104	97
13-juin-07	89	63
3-juil.-07	81	69
16-juil.-07	71	45
13-août-07	37	42
20-sept.-07	15	66
16-oct.-07	6	43
13-nov.-07	54	102
18-déc.-07	166	117

Le rapport azote minéral/orthophosphate présente une dynamique corrélée à l'activité phytolanc tonique : il est élevé lors des périodes de faible production et diminue lors des productions importantes. Ce tableau indique le rapport $[\text{Nmin}]/[\text{PO}_4]$ est toujours supérieur à 7 sauf le 16 octobre dans le Grand Lac, le phosphore est toujours le facteur limitant de la production photosynthétique, et au mois d'octobre l'azote nitrique a été fortement consommé et prend la place temporairement de facteur limitant mais le facteur de contrôle reste le phosphore à l'échelle annuelle.

I.9. EVOLUTION INTERANNUELLE DE L'AZOTE ET DU PHOSPHORE

Après le brassage, lorsque la colonne d'eau est homogène, le stock de nutriments disponibles pour les algues et remis à disposition par le brassage peut être estimé.

Le tableau I.3 présente l'évolution du stock de phosphore total et orthophosphate depuis 1991.

Les évolutions de 1993 à 2007 des concentrations moyennes des formes de l'azote et du phosphore dans la couche euphotique du Grand Lac (3m, 10 m et 15 m) et des rapports $[N_{min}]/[PO_4^{3-}]$ et $[N_{tot}]/[P_{tot}]$ sont représentées dans les figures I.20, I.21 et I.22. Les dynamiques de consommation des nutriments dans la couche euphotique se distingue légèrement des années précédentes : les concentrations en azote nitrique sont faibles en automne et les concentrations en phosphore sont encore très faibles en fin d'année.

La variabilité des nutriments après le brassage partiel et le début de l'activité photosynthétique indique un réapprovisionnement partiel des nutriments consommés.

Tableau I. 3 : Evolution de la concentration moyenne de la surface au fond du Grand Lac et du Petit Lac en phosphore total et orthophosphate au brassage de 1991 à 2007

		Portho	Ptotal
févr-91	Petit Lac	3,0	6,3
	Grand Lac	2,8	6,0
févr-92	Petit Lac	0,5	8,2
	Grand Lac	0,0	7,2
mars-93	Petit Lac	4,5	10,7
	Grand Lac	5,2	10,5
mars-94	Petit Lac	2,7	7,7
	Grand Lac	1,2	7,0
févr-95	Petit Lac	4,0	9,5
	Grand Lac	2,8	8,0
févr-96	Petit Lac	2,8	8,0
	Grand Lac	2,5	6,0
févr-97	Petit Lac	1,8	4,7
	Grand Lac	1,0	2,7
mars-98	Petit Lac	1,0	4,0
	Grand Lac	4,0	4,0
févr-99	Petit Lac	2,0	6,0
	Grand Lac	3,0	6,0
mars-00	Petit Lac	2,0	6,5
	Grand Lac	1,7	6,8
mars-01	Petit Lac	1,8	6,0
	Grand Lac	4,0	8,2
févr-02	Petit Lac	1,7	4,0
	Grand Lac	1,3	3,3
janv-03	Petit Lac	2,2	4,2
	Grand Lac	1,2	4,0
janv-04	Petit Lac	8,2	11,3
	Grand Lac	2,5	6,3
mars-05	Petit Lac	1,0	4,8
	Grand Lac	1,0	5,3
mars-06	Petit Lac	3,0	8,3
	Grand Lac	1,7	5,7
mars-07	Petit Lac	3,6	11,5
	Grand Lac	2,5	6,9
Moyenne 1991 – 2007	Petit Lac	2,7	7,2
	Grand Lac	2,3	6,1

Suivi du lac d'Annecy 2007

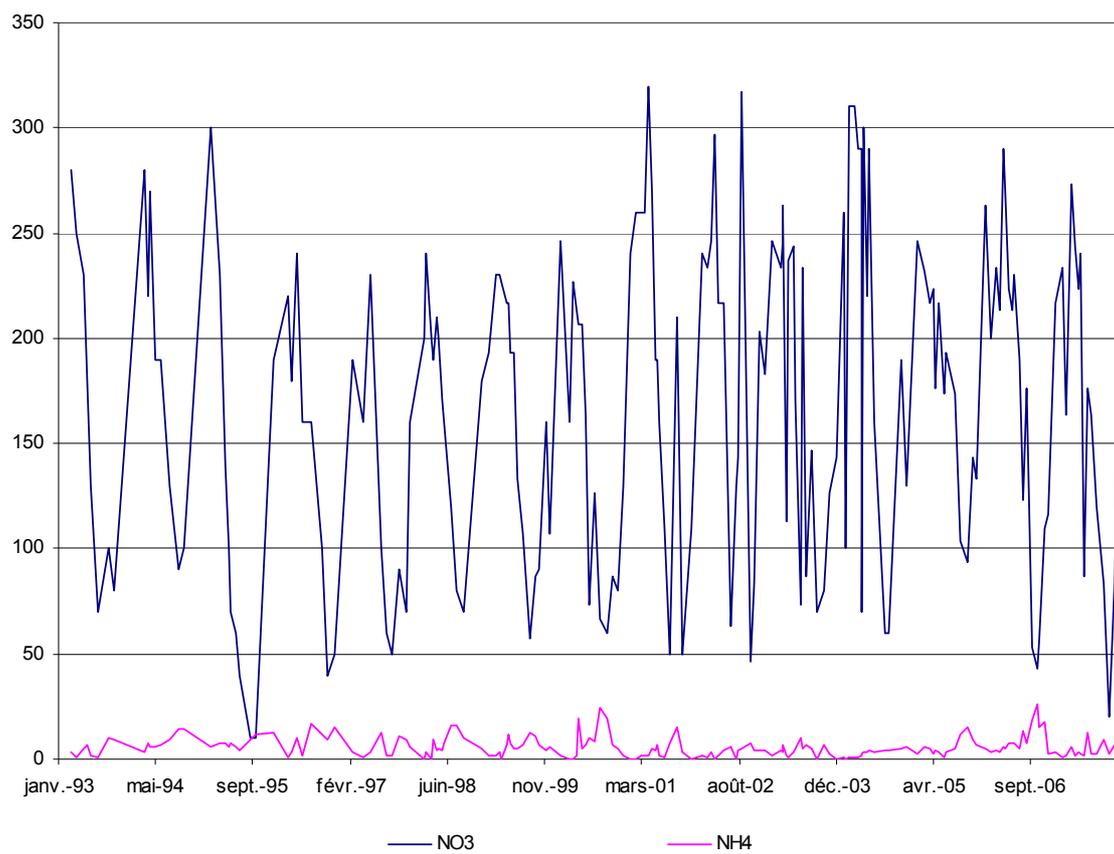


Figure I. 20 : Evolution des formes de l'azote ($\mu\text{gN/L}$) de 1993 à 2007 en moyenne dans la couche euphotique du Grand Lac

Suivi du lac d'Annecy 2007

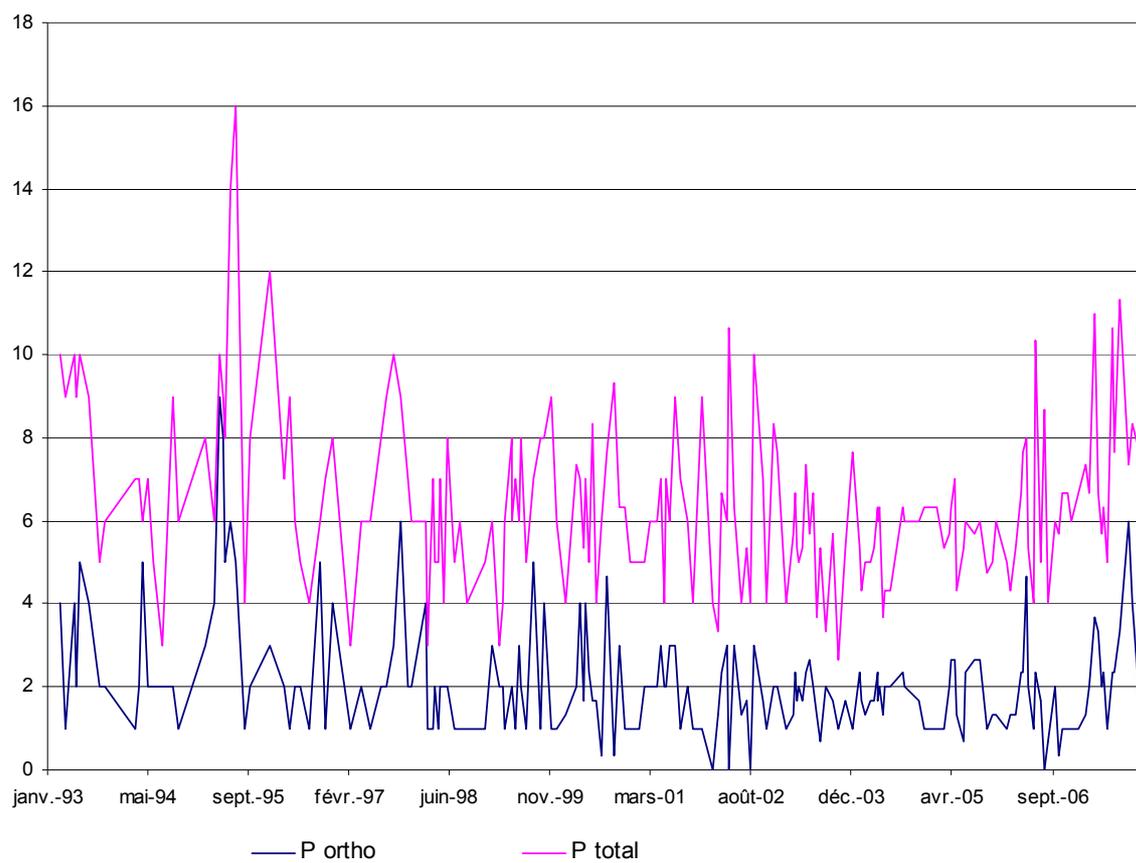


Figure I. 21 : Evolution des formes du phosphore ($\mu\text{gP/L}$) de 1993 à 2007 en moyenne dans la couche euphotique du Grand Lac

Suivi du lac d'Annecy 2007

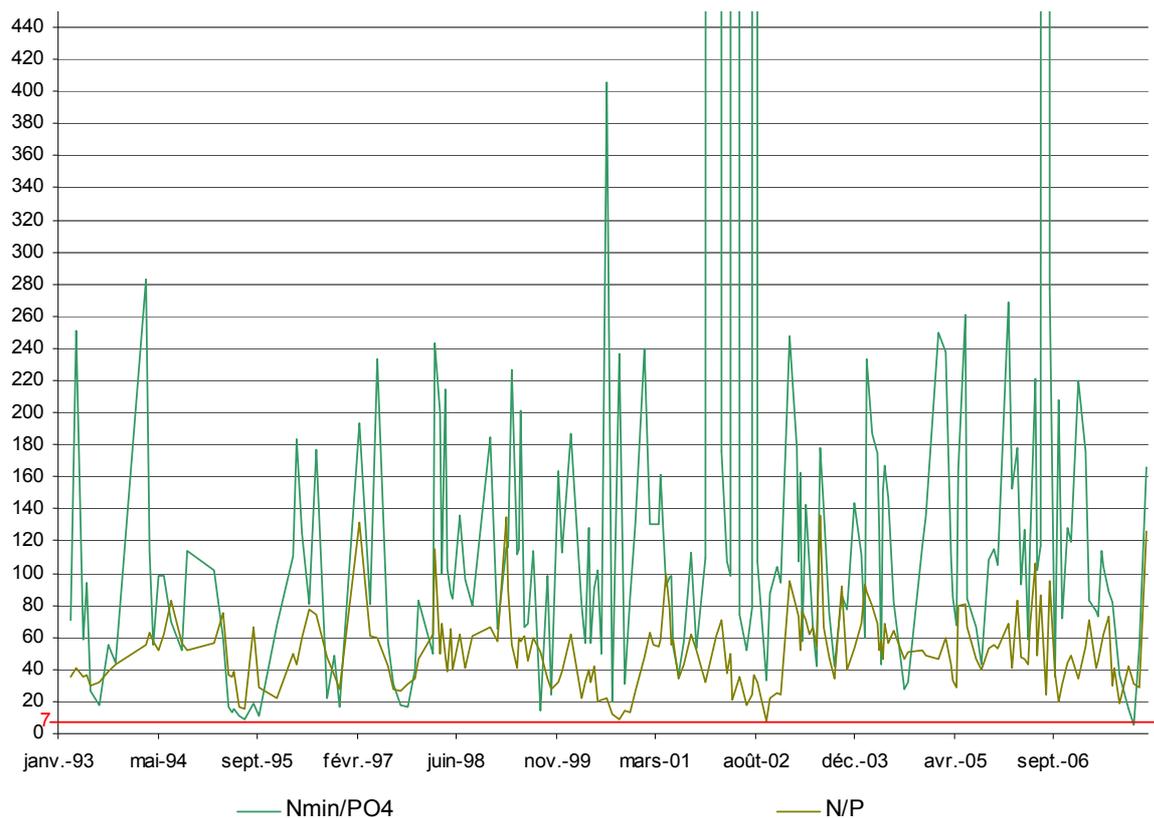


Figure I. 22 : Evolution du rapport azote/phosphore de 1993 à 2007 en moyenne dans la couche euphotique du Grand Lac

I.10. SILICE

La silice est un nutriment essentiel des diatomées qui l'utilisent pour la construction de leurs frustules. Les graphiques de concentrations des formes de la silice par campagne sont disponibles en annexe.

De la même manière que pour les autres nutriments, le brassage hivernal a remis à disposition le stock de silice réactive pour l'année 2007. La concentration moyenne observée après le brassage était de 3,23 mgSiO₂/L. Cette valeur est du même ordre de grandeur que les années précédentes (mis à part en 2006 où la concentration en silice était faible). La silice réactive est consommée à partir du mois d'avril, dès le début de la stratification, puis fortement à partir du mois de juillet pour atteindre un minimum le 16 octobre de 0,29 mgSiO₂/L en surface du Grand Lac et 0,16 mgSiO₂/L en surface du Petit Lac (Figure I.23). Cette consommation est significative et similaire de 3 à 15m mais n'atteint pas la couche de 30 m.

Dans l'hypolimnion, les frustules des diatomées sédimentées se dissolvent dans les conditions chimiques et biologiques du fond du lac. On peut alors observer une augmentation de la concentration en silice réactive dans le fond du Grand Lac comme on le constate sur la figure I.24. Les maxima sont observés à la fin de l'année avec 11,0 mgSiO₂/L le 13 novembre dans le Grand Lac et 6,15 mgSiO₂/L dans le Petit Lac le 18 décembre.

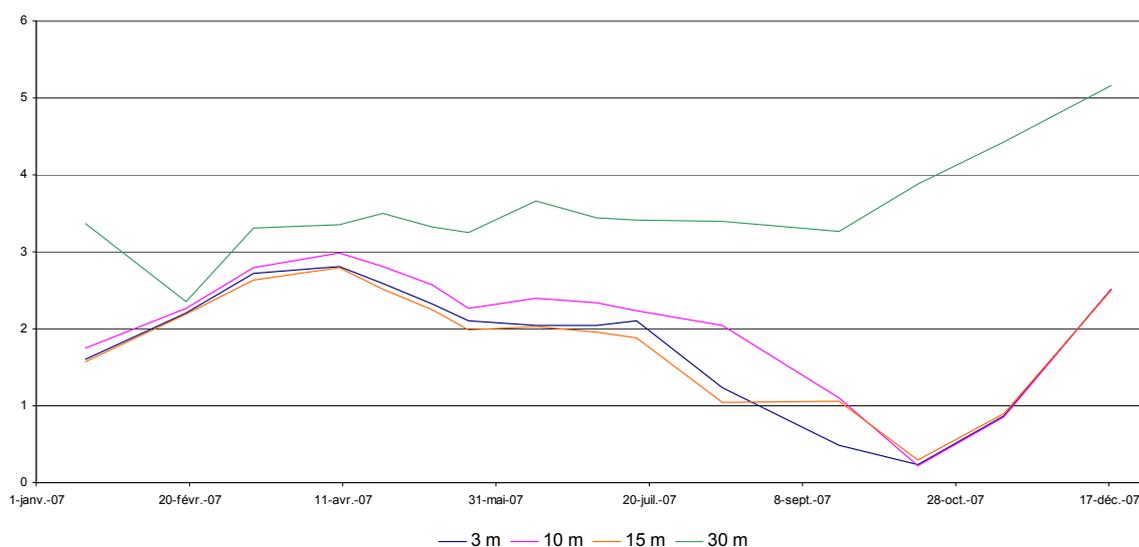


Figure I. 23 : Evolution de la concentration en silice réactive en mgSiO₂/L aux profondeurs 3 m, 10 m, 15 m et 30 m dans le Grand Lac en 2007

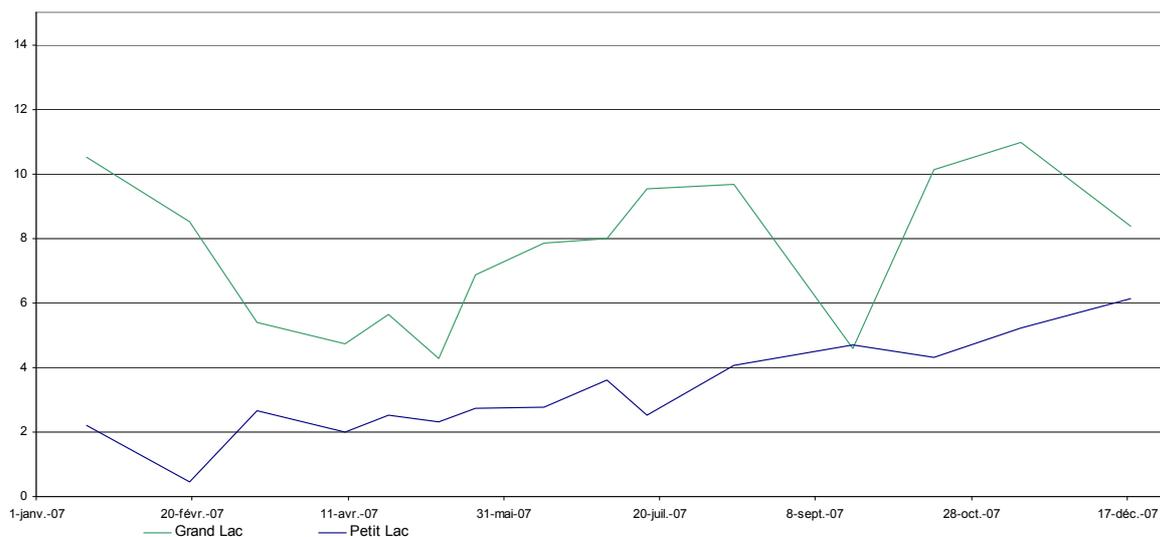


Figure I. 24 : Evolution de la concentration en silice réactive (mgSiO₂/L) au fond du Grand Lac et du Petit Lac en 2007

I.11. STOCKS DU LAC EN CATIONS (Ca, Mg, Na, K) ET EN ANIONS (Cl, SO₄)

A partir de l'année 2003, les stocks des ions majeurs (cations : calcium, magnésium, sodium, potassium et anions : chlorure, sulfate) sont calculés à partir de campagnes d'analyses complètes. Les résultats pour les années 2003 à 2007 sont représentés sur le tableau I.4.

Ces six ions sont répartis de façon homogène le long de la colonne d'eau, mis à part le calcium durant la photosynthèse : ce dernier est en effet en plus faible concentration en surface car il précipite sous forme de calcaire (cf. I.4.).

Ces stocks ne varient pas de manière significative entre 2003 et 2007 comme on l'observe sur la figure I.25.

Tableau I. 4 : Stocks des cations et anions majeurs de 2003 à 2007

		Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄
2003	Stock GL en tones	53065	4624	2881	730	4288	7882
	Stock GL en mg/L	47,1	4,01	2,56	0,65	3,80	6,99
2004	Stock GL en tones	53453	4509	2841	850	4466	8050
	Stock GL en mg/L	47,4	4,00	2,52	0,75	3,96	7,14
2005	Stock GL en tones	51619	4637	2985	806	4975	8276
	Stock GL en mg/L	45,8	4,11	2,65	0,72	4,41	7,34
2006	Stock GL en tones	53467	4618	3289	891	5192	8218
	Stock GL en mg/L	47,4	4,10	2,92	0,79	4,60	7,29
2007	Stock GL en tonnes	56021	3976	3208	818	5081	8090
	Stock GL en mg/L	49,7	3,53	2,85	0,73	4,51	7,18

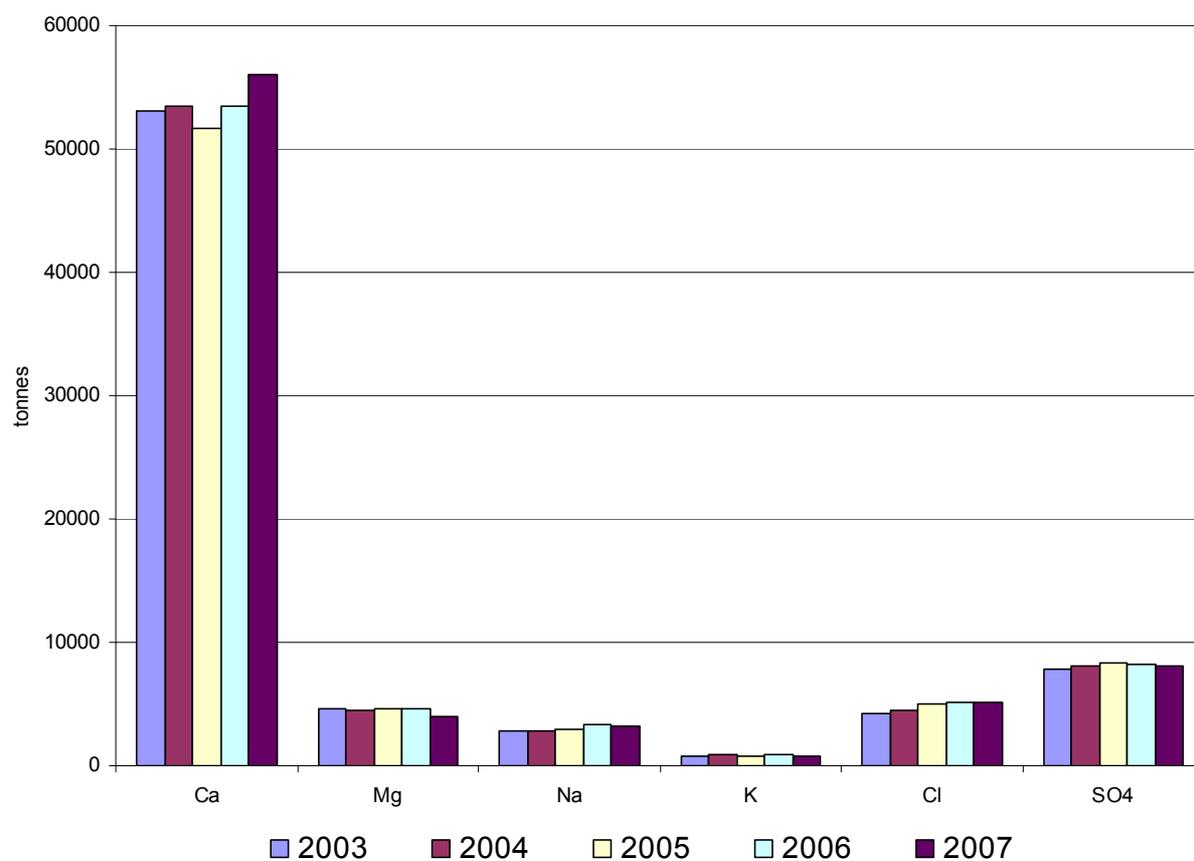


Figure I. 25 : Evolution interannuelle des stocks de calcium, magnésium, sodium, potassium, chlorure et sulfate de 2003 à 2007

I.12. CONCLUSION

L'année 2007 se distingue des autres années de la chronique du fait de conditions climatiques différentes. L'hiver 2006-2007 a été particulièrement doux, puis les températures estivales ont été plus faibles de 1°C en moyenne que les normales saisonnières. L'homogénéisation thermique n'a donc pas été complète et le brassage a été fortement limité. Cependant le fond du lac a été réoxygéné, mais significativement moins que les années précédentes. Le brassage a partiellement redistribué les nutriments.

La stratification apparaît dès le mois d'avril ainsi que la consommation des nutriments dans l'épilimnion par la production phytoplanctonique. L'appauvrissement en nutriments de l'épilimnion augmente au cours de l'année jusqu'à la couche de 30 m jusqu'à des valeurs extrêmement faibles en automne notamment pour l'azote nitrique.

La sursaturation en oxygène dissous produite par l'activité phytoplanctonique atteint un maximum en mai, cependant elle est significativement moins importante que les années précédentes. L'ensemble des indicateurs chimiques tend à représenter une activité phytoplanctonique plus faible que les années précédentes. La désoxygénation de l'hypolimnion est visible immédiatement après le brassage et entraîne des conditions fortement réductrices au fond du lac. Ce phénomène entraîne le relargage du phosphore, cependant les concentrations de phosphore observées sont plus faibles qu'en 2006 mais du même ordre que les années 2004 à 2005.

Les stocks en ions majeurs du lac restent constants et traduisent la stabilité géochimique des apports du bassin versant.

CHAPITRE II

ETUDES BIOLOGIQUES

II.1. METHODES D'ETUDE DU PLANCTON

II.1.1. PHYTOPLANCTON

En 2007, 15 campagnes de prélèvements ont été effectuées dans chacune des deux zones du lac d'Annecy appelées Grand Lac et Petit Lac. Les échantillons d'eau brute ont été prélevés dans la couche 0-18 m avec un appareil intégrateur (Brevet INRA, 1978) (photo 1). Après la récolte, les échantillons sont immédiatement fixés au lugol, réactif iodo-ioduré qui assure la conservation du phytoplancton et colore l'amidon des cellules, ce qui rend leur identification plus aisée.



Photo 1 : Appareil intégrateur

En plus des prélèvements d'eau brute dans la strate 0-18m, un second prélèvement est réalisé avec un filet à vide de maille de 60 μm (photo 2) dans la strate

d'eau 0-50 m ; ce prélèvement est fixé immédiatement sur le terrain au formol (5%). Il permet de compléter qualitativement l'analyse du phytoplancton effectuée sur l'eau brute car certains organismes peuvent être localisés plus profondément.



Photo 2 : Filets jumelés à plancton

Les échantillons d'eau brute fixés au lugol sont préparés selon la technique d'Utermöhl (1958), méthode maintenant normalisée au niveau français et européen (Norme NF EN 15204, AFNOR, 2006). Un sous-échantillon de 50 ml est versé dans un cylindre surmontant une chambre de sédimentation et laissé à sédimenter pendant 24 heures à l'abri de la lumière (le lugol se dégrade à la lumière et perd son effet conservateur) et de la chaleur (photo 3). Ce laps de temps permet aux algues, même les plus légères, de sédimenter au fond de la cuvette. Puis on glisse la partie cylindrique sur le côté de la chambre pour la remplacer par une lamelle de couverture en verre. Enfin, la lame est déposée délicatement sur un microscope inversé ZEISS AXIOVERT 135 afin de procéder à l'examen qualitatif et quantitatif du phytoplancton. La valeur 0,2 attribuée aux taxons (taxon = unité d'identification, genre, espèce ou variété) observés en dehors du dénombrement.



Photo 3 : Chambre de sédimentation (Photo A. Rolland)

Les abondances sont exprimées en nombre de cellules algales ou de colonies par millilitre d'eau brute. A partir d'une masse volumique du phytoplancton voisine de l'unité, la connaissance des biovolumes individuels permet l'évaluation de la biomasse de chaque espèce, puis par cumul celle des diverses classes du phytoplancton : classes de taille (nano- et microplancton) et classes taxonomiques des algues planctoniques. Les biomasses sont mesurées en mg/m³ de poids frais.

La biomasse nanoplanctonique est calculée avec une longueur de cellule ou colonie inférieure ou égale à 20µm et un volume inférieur à 10 000µm³ (WETZEL, 2001). Le microplancton est constitué d'algues de plus grande taille, bien que visibles seulement au microscope.

Les moyennes annuelles présentées dans les divers tableaux correspondent à des moyennes arithmétiques de tous les prélèvements effectués dans l'année.

II.1.2. ZOOPLANCTON

L'échantillonnage, mensuel puis bi-mensuel à partir d'avril jusqu'à la fin de l'année, s'effectue à deux stations pélagiques (GL : grand lac et PL : petit lac) à l'aide d'un filet de maille de 200 µm lors de trait verticaux réalisés depuis 50 mètres de profondeur jusqu'en surface.

Les échantillons sont fixés au formol à 5% puis mis à décanter durant 24 heures dans des entonnoirs cylindro-coniques gradués, à l'abri des vibrations, afin de mesurer le biovolume sédimenté. Le volume du phytoplancton déposé au dessus du zooplancton n'est pas pris en compte. Par la suite, les microcrustacés sont dénombrés par espèce et stade de développement. Le dénombrement des crustacés est réalisé sous microscope standard à partir d'un sous-échantillon. Les Cladocères *Bythotrephes longimanus* et *Leptodora kindtii* sont quant à eux, dénombrés dans l'intégrité du prélèvement.

Pour chaque catégorie taxonomique, le nombre d'individus a été ramené à l'unité de surface selon la formule suivante :

$$K2 = (N_{ind} \times Vol_{flacon} \times 50) / (Vol_{comp} \times 4.81)$$

Où: N_{ind} est le nombre d'individus dénombrés dans le sous-échantillon, Vol_{flacon} est le volume de l'échantillon ajusté (en ml), Vol_{comp} est le volume du sous-échantillon (en ml), 50 est la hauteur du prélèvement (en m) et 4.81, le volume filtré par le filet (en m³).

II.2. LE PHYTOPLANCTON

II.2.1. RICHESSE SPECIFIQUE DU PHYTOPLANCTON

Les nombres de taxons recensés dans le Grand Lac et le Petit Lac sont répartis pour 2007 par groupes systématiques dans le tableau II.1 (le détail des listes taxonomiques se trouve en annexe C).

Tableau II.1 : *Nombre de taxons phytoplanctoniques observés en 2007.*

CLASSES ALGALES	Grand Lac 0-18 m	Petit Lac 0-18 m	Taxons communs aux deux lacs	Total par Classe
CYANOBACTERIES	11	13	7	16
DINOPHYCEES	8	8	7	9
CRYPTOPHYCEES	4	4	4	4
CHRYSOPHYCEES	20	17	15	22
DIATOMOPHYCEES	27 (10)	24 (6)	12 (5)	37 (10)
CHLOROPHYCEES	23	25	14	32
ZYGOPHYCEES	4	4	3	5
TOTAL TAXONS	97	95	62	125

() : diatomées centriques

En 2007, 125 taxons (liste complète en annexe A) ont été recensés dans les deux lacs. Cette valeur est stable par rapport à celle enregistrée l'année dernière (123 espèces en 2005). La diversité spécifique est pratiquement identique dans chaque lac : 97 et 95 taxons. La figure II.0 présente l'évolution de la diversité selon l'indice de Shannon¹ de 1996 à 2007. On observe que l'indice de Shannon est quasi identique entre le Petit et le Grand lac en 2007.

Globalement, entre 1996 et 2007, les variations de l'indice de Shannon sont assez modestes (valeurs comprises entre 2.7 et 3.0). Seules deux années présentent des valeurs plus faibles (2.0), il s'agit des années 2001 dans le Petit Lac et 2002 dans le Grand lac qui ont vu une petite diatomée centrique (*Cyclotella cyclopuncta*) largement dominer le compartiment phytoplanctonique.

¹ L'indice de Shannon est un indice de diversité, qui prend en compte le nombre d'individu et le nombre de taxons. Il varie de 0 pour une communauté composée d'un seul taxon, à des valeurs élevées pour une communauté composée d'un nombre élevé de taxons et pour lesquels ce nombre d'individus est équivalent. $H = -\text{Somme} (ni/n \cdot \ln (ni/n))$ avec ni : nombre d'individus pour le taxon i , et n le nombre d'individus total.

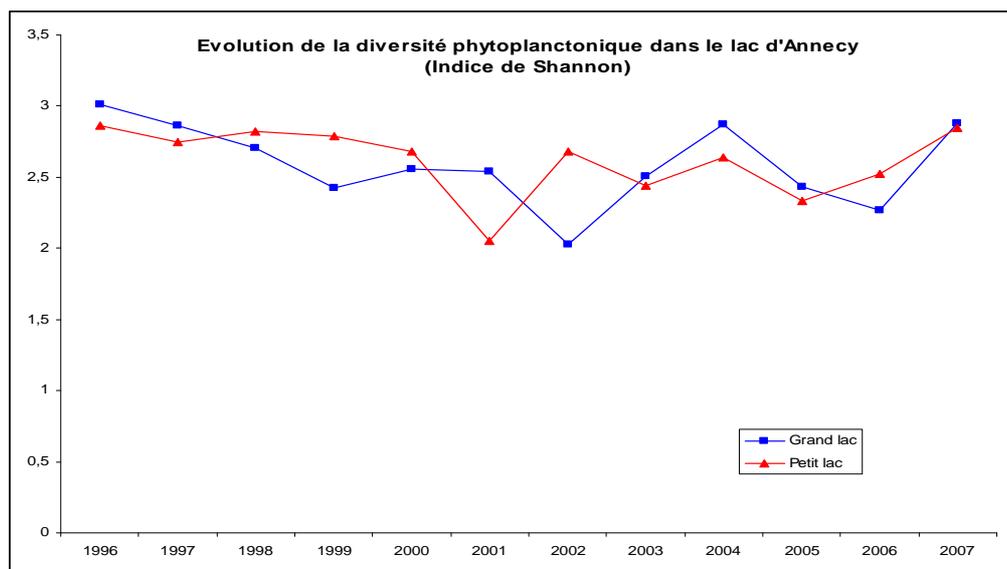
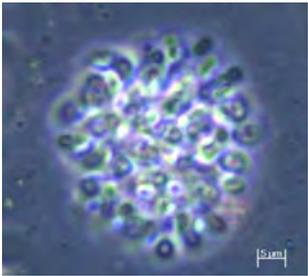
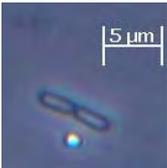
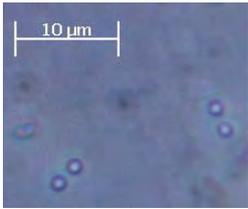
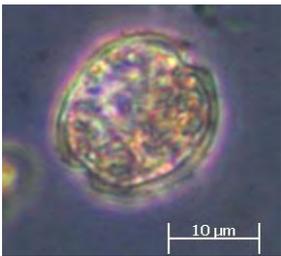
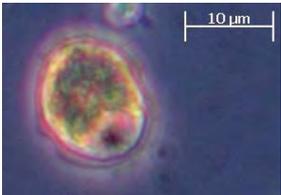
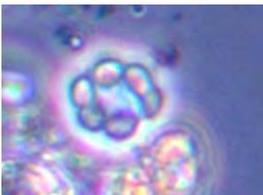
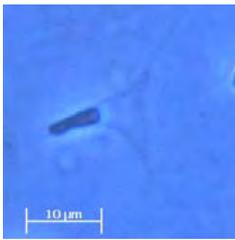
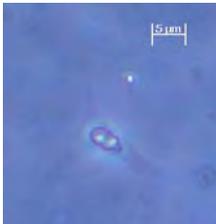
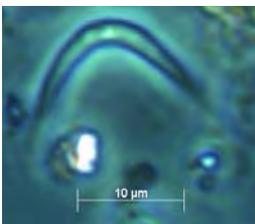
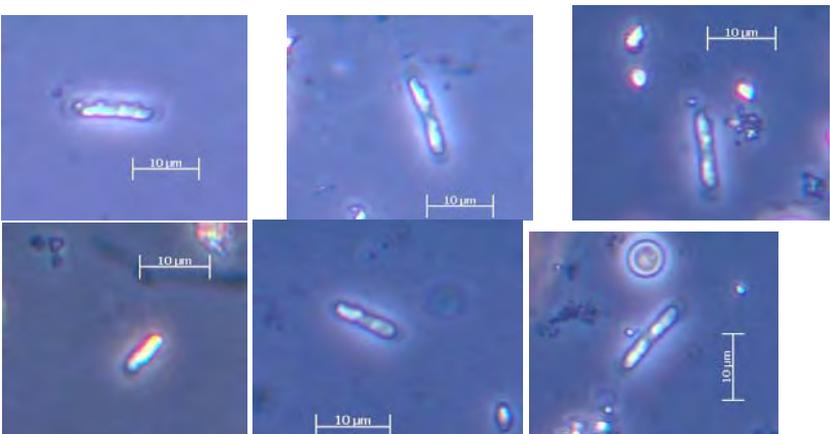
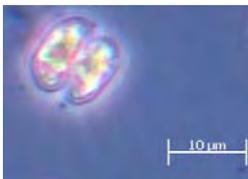
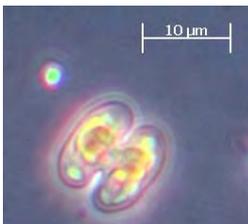


Figure II.0 : Evolution de la diversité phytoplanctonique dans le lac d'Annecy. L'indice de diversité de Shannon a été calculé sur les biomasses moyennes annuelles dans le Petit lac et dans le Grand lac.

62 taxons sont communs aux deux lacs (70 en 2006). Comme les années précédentes, la diversité spécifique des diatomées (37 taxons) est en régression par rapport à l'année 2006 (44 taxons). Viennent ensuite dans l'ordre les chlorophycées (32 contre 26 en 2006), les chrysophycées (22 contre 22), les cyanobactéries (16 contre 11), les dinophycées (9 contre 9), les conjuguées (5 contre 6) et les cryptophycées (4 contre 5). A noter que les euglénophycées et les xanthophycées sont encore absentes cette année.

18 taxons nouveaux pour le lac d'Annecy ont été découverts en 2007 : *Synechococcus* sp., *Synechocystis parvula*, *Aphanocapsa planctonica* (cyanobactéries), *Gymnodinium lantzschii* var. *minor* nov. var (dinophycées), cf. *Pseudopedinella* sp., *Chrysolykos skujae* (chrysophycées), *Stephanodiscus hantzschii*, *S. minutulus*, *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae*, *Navicula gregaria*, *Eolimna minima*, *Gyrosigma nodiferum* (bacillariophycées), *Monoraphidium arcuatum*, *Planktosphaeria gelatinosa*, *Scenedesmus ovalternus*, *Didymocystis fina*, *Stichococcus bacillaris* (Chlorophycées), *Cosmarium abbreviatum* f. *minor* (desmidiacée). La plupart de ces taxons sont présentés sur les photos 4 à 21.

 <p>Photo 4 : <i>Aphanocapsa planctonica</i></p>	 <p>Photo 5 : <i>Synechococcus elongatus</i></p>	 <p>Photo 6 : <i>Synechocystis parvula</i></p>
  <p>Photo 7 à 8 : <i>Gymnodinium lantzschii</i> var. <i>minor</i> nov. var.</p>	 <p>Photo 9 : Cf. <i>Pseudopedinella</i> sp.</p>	  <p>Photo 10 à 11 : <i>Chrysolynos skujae</i></p>
 <p>Photo 12 : <i>Monoraphidium arcuatum</i></p>	 <p>Photo 13 : <i>Planktosphaeria gelatinosa</i></p>	
 <p>Photo 14 à 19 : <i>Stichococcus bacillaris</i></p>		  <p>Photo 20 à 21 : <i>Cosmarium abbreviatum</i> f. <i>minor</i></p>

II.2.2. GRAND LAC

II.2.2.1. EVOLUTION DE L'ABONDANCE DES DIFFERENTES CLASSES

Les observations les plus remarquables sont analysées dans la couche 0-18 m pour le Grand Lac (Figure II.1).

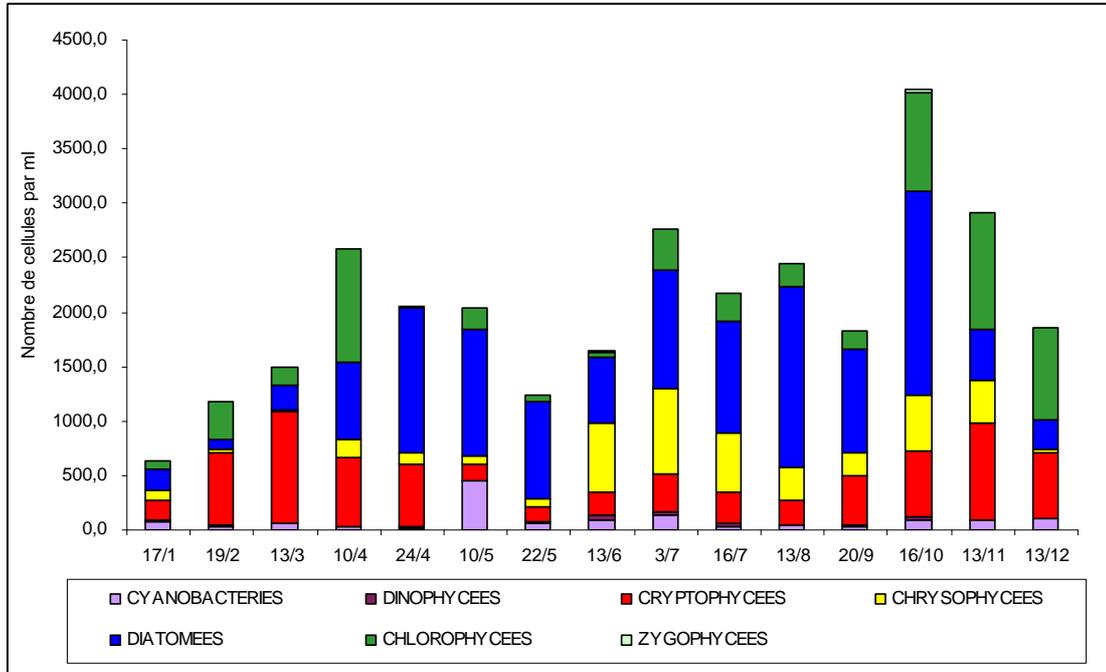


Figure II.1 : Variations saisonnières de l'abondance du phytoplancton (nombre de cellules par ml) dans la strate 0-18 m du Grand Lac en 2007

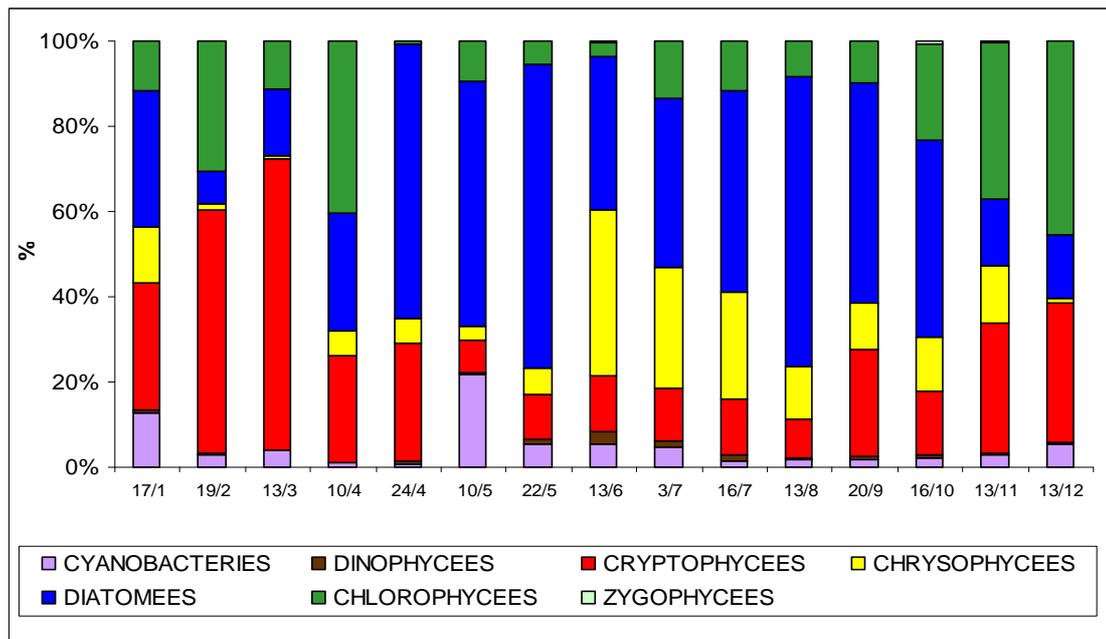


Figure II.2 : Variations saisonnières de l'abondance relative du phytoplancton (exprimée en pourcentage) dans la strate 0-18 m du Grand Lac en 2007

CYANOBACTERIES

La diversité spécifique en cyanobactéries dans le Grand Lac a augmenté entre 2006 et 2007 pour atteindre 10 taxons (contre 7 en 2006), l'abondance relative des cyanobactéries a également augmenté en 2007 année pour atteindre 4,3% contre 2,6% en 2006 (et seulement 0,4% en 2005). En termes de nombre de cellules, *Synechocystis parvula* (photo 6) est la cyanobactérie la plus abondante dans le lac (1,6%) ; il s'agit une espèce unicellulaire de très petite taille (diamètre des cellules de l'ordre de 1µm) qui représente une quantité de biomasse négligeable. Il est probable que cette espèce était présente les années antérieures, mais qu'elle n'avait pas été dénombrée.

DINOPHYCEES (ou péridiniens)

Les dinophycées sont des algues brunes présentant une thèque cellulosique (cf. photos 7 et 8). La diversité spécifique est réduite, seuls 8 taxons sont présents dans le Grand Lac. Elles représentent moins de 1%, valeur sensiblement équivalente à 2006. En 2007, nous avons observé un taxon présentant les mêmes caractéristiques morphologiques que *Gymnodinium lantzschii*, mais présentant des tailles inférieures à celles indiquées dans la littérature. Nous avons donc identifié ce taxon sous une dénomination différente : *Gymnodinium lantzschii* var. *minor* nov. var..

CRYPTOPHYCEES

Cette classe présente une diversité faible (4 espèces en 2007, tout comme en 2006) ; elle apparaît cependant comme un groupe au développement important. Elle arrive en deuxième position pour l'abondance des individus avec 22,7%, tout comme en 2006 (11,8%). Les petites espèces qui la composent sont présentes toute l'année. Elles montrent un fort développement surtout en début et en fin d'année : *Rhodomonas minuta* présente deux pics de développement en mars et octobre, de façon assez similaire, *Rhodomonas minuta* var. *nannoplanctonica* présente deux pics, de février à avril et de novembre à décembre.

CHRYSOPHYCEES

20 taxons ont été identifiés dans le Grand Lac en 2007, il s'agit d'une diversité proche de celle de 2006 (19 taxons rencontrés). Son abondance, 13% en 2007, est en proche de celle de 2006 (11%). Ses diverses composantes (genres : *Bicoeca*, *Bitrichia*, *Chrysolykos*, *Desmarella*, *Dinobryon*, *Kephyrion*, *Erkenia*, entre autres) se développent tout au long de l'année mais principalement entre le 13 juin et le 13 octobre. *Dinobryon divergens* est l'espèce dominante de cette classe ; ce taxon était le plus abondant du compartiment phytoplanctonique le 13 juin (photo 22). Il ne représente cependant que 4,6% du peuplement algal annuel.

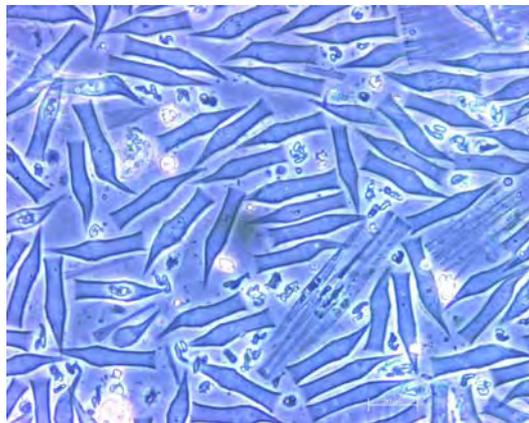


Photo 22 : *Dinobryon divergens*, Grand Lac le 13/06/07, l'échantillon de filet (60 µm).

Deux nouveaux taxons ont été recensés dans cette classe : cf. *Pseudopedinella* sp. (photo 9) et *Chrysolykos skujae* (photos 10 et 11).

DIATOMOPHYCEES (ou diatomées)

De la même manière que les années précédentes, ces algues brunes dominent largement le compartiment phytoplanctonique. En 2007, cette classe présente une abondance plus faible qu'en 2006 (41%, contre 70% en 2006). Elles sont présentes tout au long de l'année mais principalement au printemps (64% le 10 avril, 71% le 22 mai) et aussi en automne (46% le 16 octobre). 27 taxons, dont 9 de diatomées centriques, ont été identifiés ; la diversité spécifique est proche de celle de 2006 et 2005 (33 taxons et 31 taxons respectivement). Les espèces principales sont *Cyclotella cyclopuncta* (26% du phytoplancton) et *Fragilaria crotonensis* (8%).

Plusieurs taxons ont été identifiés pour la première fois sur le lac d'Annecy ; certaines sont benthiques telles : *Navicula gregaria*, *Eolimna minima*, *Gyrosigma nodiferum* (photo 23), les autres sont planctoniques : *Stephanodiscus hantzschii*, *S. minutulus*.



Photo 23 : *Gyrosigma nodiferum*, observé pour la première fois dans le Grand Lac le 13/11/2007

CHLOROPHYCEES

Avec 23 taxons rencontrés, la diversité spécifique de cette classe est stable et proche des années précédentes (20 en 2006, 19 en 2005). Avec 19%, son abondance relative annuelle est en forte augmentation par rapport à celle de 2006 (4.4%). On observe son abondance maximale en début d'année (prélèvement du 10 avril) et en fin d'année (octobre à décembre). *Chlorella vulgaris* (11,6%) est le taxon le plus abondant de cette classe.

ZYGOPHYCEES (= Conjuguées ou Desmidiacées)

Cette classe présente une faible diversité (4 taxons) et une abondance faible (0,2%). Ces valeurs sont proches de celles de 2006 (4 taxons recensés également, et une abondance de 0,1%).

EUGLENOPHYCEES et XANTHOPHYCEES

Ces deux classes sont absentes dans nos investigations cette année.

La figure II.3 présente l'abondance relative des principales espèces présentes dans le Grand Lac d'Annecy.

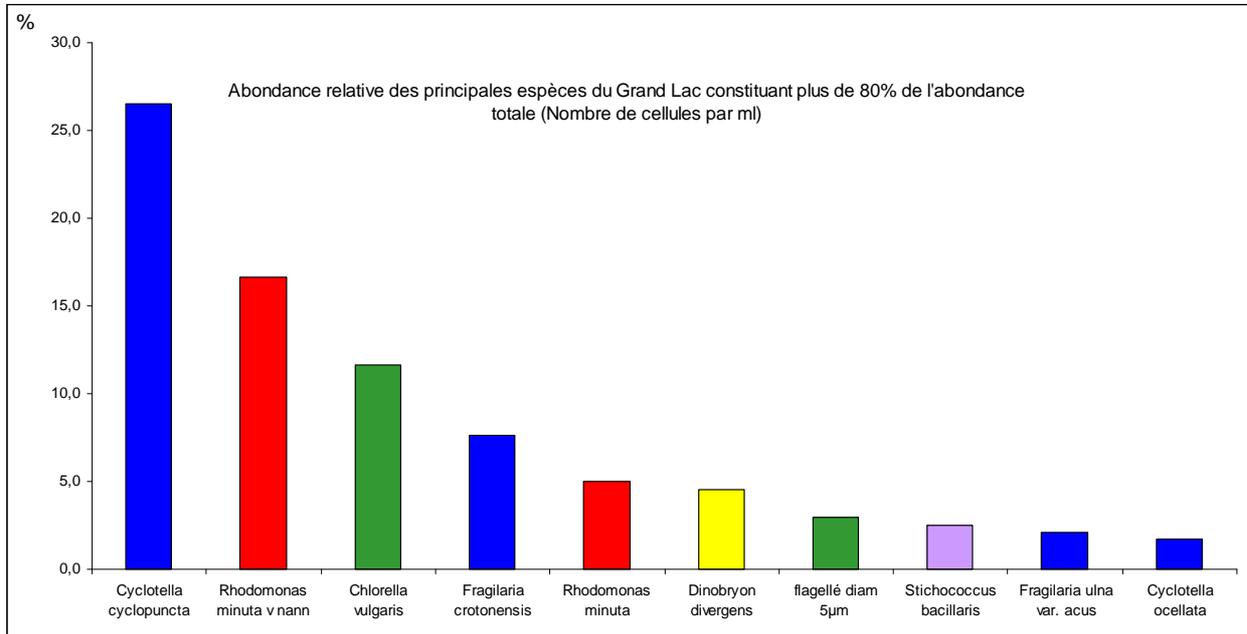


Figure II.3 : Abondance relative (en nombre d'individus par ml) des espèces capitalisant plus de 80% du peuplement du Grand Lac d'Annecy en 2007.

En 2007, sur 96 taxons recensés dans le Grand Lac, 10 constituent plus de 80% du peuplement phytoplanctonique (5 en 2006). Seule 1 espèce –*Cyclotella cyclopuncta*– représente à elle seule plus de 25% de l'abondance totale du phytoplancton.

II.2.2.2. BIOMASSE DU PHYTOPLANCTON DANS LE GRAND LAC

L'estimation de la biomasse globale du phytoplancton peut résulter du dosage de la concentration en chlorophylle dans un volume d'eau déterminé (biomasse pigmentaire), mais elle ne peut être qu'approximative en raison de la plus ou moins grande richesse en chlorophylle des différentes espèces phytoplanctoniques. L'évaluation des biovolumes cellulaires (Biovolume d'une espèce = volume cellulaire x nombre d'individus dénombrés) conduit à une meilleure connaissance de cette biomasse.

II.2.2.2.1. Biomasses du nano et du microphytoplancton

Tableau II.2 : Evolution en % des biomasses du microplancton et du nanophytoplancton dans le Grand Lac dans la couche 0-20m de 2001 à 2005 et 0-18m de 2006 à 2007.

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Moyenne 2001-2007
Microplancton	65	55	53	68	80	65	74	66
Nanoplancton	35	45	47	32	20	35	25	34

Cette année, la proportion de la biomasse du microplancton est plus faible que celle de 2006. Globalement, par rapport aux autres années depuis 2001, la proportion du microplancton est plus élevée que la moyenne interannuelle 2001-2007.

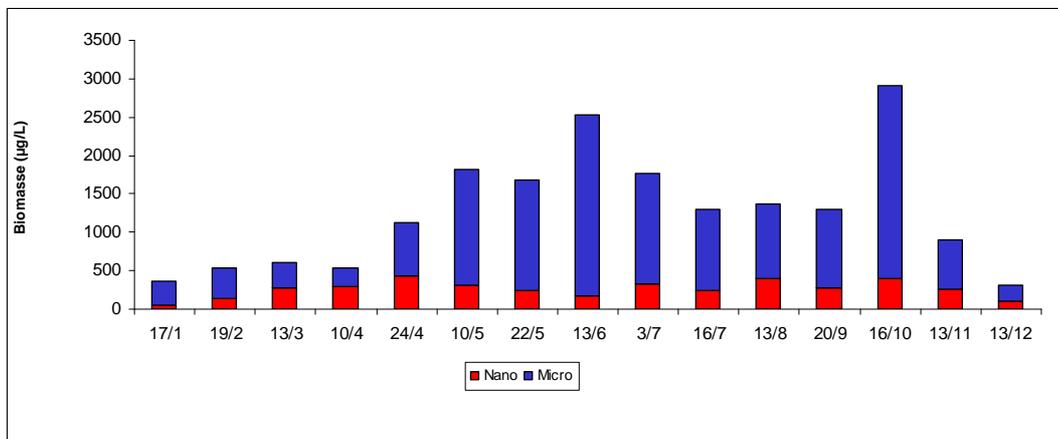


Figure II.4 : Variations saisonnières de la biomasse (matière fraîche) par classe de taille dans le Grand Lac à 0-18m en 2007

Le taxon présentant la plus forte biomasse dans le nanophytoplancton est *Cyclotella cyclopuncta* (10% de la biomasse moyenne annuelle), tout comme en 2006 (sa biomasse représentait alors 7,2%) (Figure II.5).

La biomasse du nanoplancton est faible par rapport au microplancton (23% contre 77%). Le nanoplancton présente une phase d'augmentation entre le 17 janvier et le 24 avril, puis une phase de régression jusqu'au 13 juin. Puis pendant la phase estivale, l'évolution du nanoplancton est assez irrégulière. A partir du 10 septembre, sa biomasse diminue jusqu'au 13 décembre.

Le microplancton présente une biomasse importante essentiellement pendant la période estivale, jusqu'en automne (10 mai au 16 octobre). En dehors de cette période, sa biomasse est faible. Il est essentiellement représenté par deux cyanobactéries coloniales, deux diatomées, une chrysophycée et une dinophycée (Figure II.5). Par rapport à 2006, le microphytoplancton a un nombre plus important de taxons abondants

(6 taxons ayant une abondance totale de 57% en 2007, contre seulement 2 taxons présentant une abondance totale de 57% en 2006).

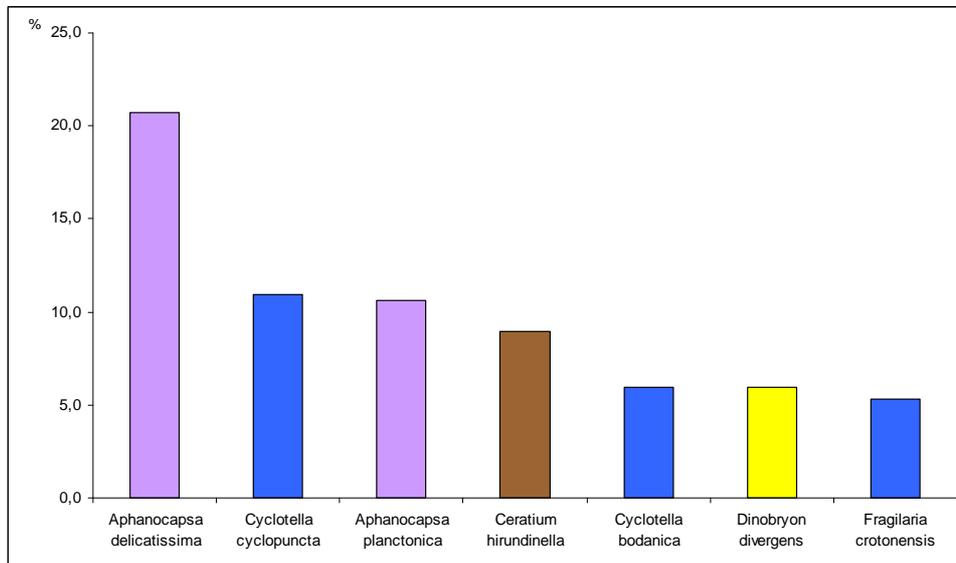


Figure II.5 : Biomasse relative (exprimée en pourcentage) des principales espèces phytoplanctoniques du Grand Lac d'Annecy durant l'année 2007

II.2.2.2.2. Importance relative des différentes classes d'algues.

La biomasse annuelle moyenne phytoplanctonique dans le Grand Lac est en augmentation entre 2006 et 2007 (1389 contre 856 mg/m³ en 2006). Cette biomasse se trouve dans la gamme de variation des biomasses, et est très proche de la moyenne des biomasses interannuelles 1996-2007 (1393 mg/m³) (Figure II.7). Ce qui fait l'originalité de 2007, est l'abondance de la classe des cyanobactéries (34% de la biomasse annuelle), seule l'année 1999 présente une abondance de cyanobactéries comparable (27%), la moyenne interannuelle étant de 8%. Ces cyanobactéries sont non toxiques, de petite taille et ne sont pas favorisées par un rapport N/P faible (il ne s'agit pas de cyanobactéries hétérocystées fixatrices d'azote atmosphérique). Les diatomées arrivent en deuxième position (33%), ce qui est relativement faible, car la moyenne interannuelle est de 53%. Viennent ensuite les dinophycées (14%), les chrysophycées (9%), les cryptophycées (8%), les chlorophycées (1%) et enfin les zygothécées (<1%).

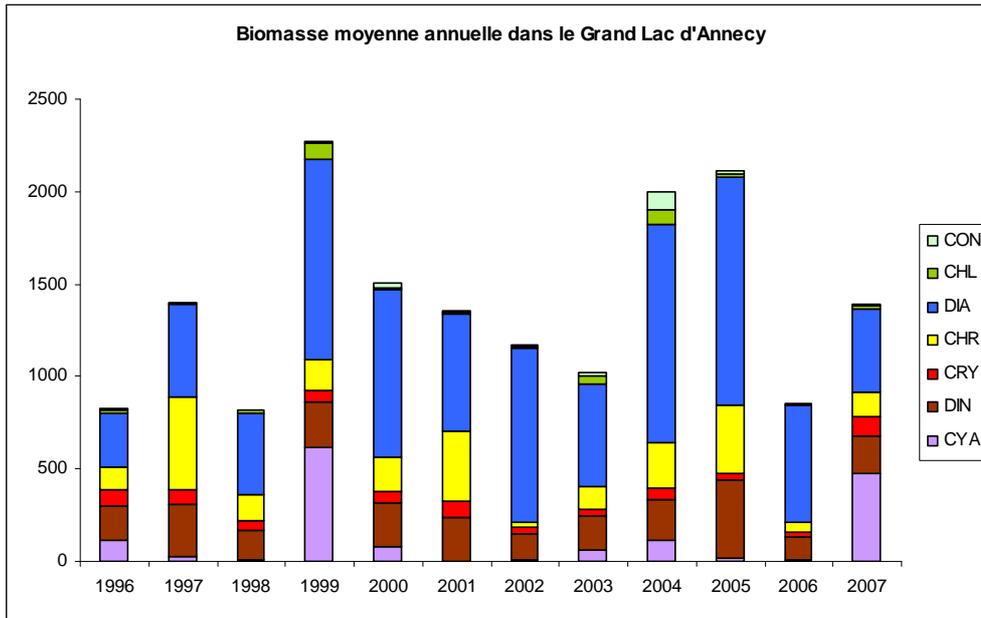


Figure II.7 : Evolution de la biomasse pondérée du phytoplancton par année pour les différentes classes.

II.2.2.2.3. Les principales espèces et leur biomasse relative

En 2007, sur 96 espèces (96 également en 2006), 7 espèces constituent environ 68% de la biomasse totale dont 6 espèces microplanctoniques, *Aphanocapsa delicatissima* (11%), *A. planctonica* (11%), *Ceratium hirundinella* (9%), *Cyclotella bodanica* (6%), *Dinobryon divergens* (6%), *Fragilaria crotonensis* (5%), et 1 espèce nanoplanctonique, *Cyclotella cyclopuncta* (11%) (Figure II.5).

L'annexe 5 donne la liste de toutes les espèces composant la biomasse totale du phytoplancton.

II.2.2.2.4. Variations saisonnières de la biomasse phytoplanctonique

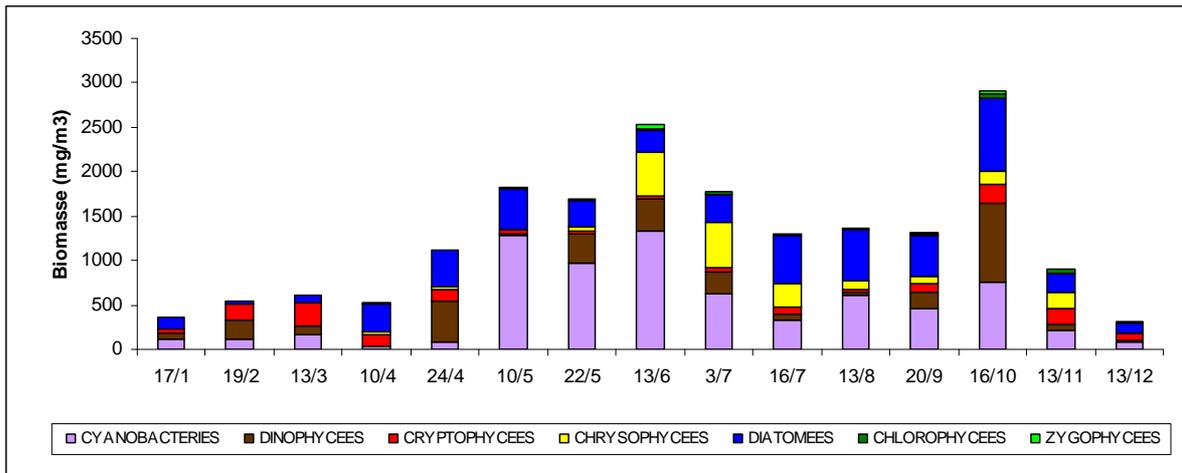


Figure II.8 : Variations saisonnières de la biomasse du phytoplancton (matière fraîche) par classes d'algues dans le Grand Lac en 2007.

On peut distinguer plusieurs phases dans les variations saisonnières de la biomasse phytoplanctonique (Figure II.8) :

*la **phase hivernale**, caractérisée par une faible production phytoplanctonique, est courte et correspond au prélèvement du 17 janvier (360 mg/m³).

*la **phase printanière** démarre tôt, avec la présence de diatomées (*Cyclotella bodanica*, *C. cyclopuncta*, *Fragilaria crotonensis*) et de cryptophycées (*Rhodomonas minuta* et *R. minuta* var. *nannoplanctonica*). Cette phase perdure du 19 février au 24 avril. La biomasse reste faible pendant cette période et commence à augmenter en avril.

*la **phase des eaux claires** a pour caractéristiques d'avoir une biomasse minimale pour une transparence maximale. Il faut souligner que la phase des eaux claires est surtout une caractéristique des lacs eutrophes et mésotrophes (Sommer et al. 1986). Le lac d'Annecy est oligotrophe, pour l'année 2007, la phase des eaux claires est difficile à placer. On peut cependant noter qu'un changement important de communauté apparaît entre le 24 avril et le 10 mai.

*la **phase estivale** démarre le 10 mai et perdure jusqu'au 20 septembre. Elle est caractérisée par une nette augmentation de la biomasse, la valeur maximale est atteinte le 13 juin (2535 mg/m³). Il s'agit d'une valeur de biomasse proche des celles

généralement observées dans le Grand Lac à cette période. Cette valeur de biomasse est essentiellement le fait de deux cyanobactéries coloniales (*Aphanocapsa delicatissima* et *A. planctonica*), d'une chrysophycée (*Dinobryon divergens*) et une dinophycée (*Peridinium inconspicuum*).

* la **phase automnale** observée du 16 octobre au 13 novembre. Le prélèvement du 16 octobre présente une biomasse supérieure élevée (2915 mg/m³), cette biomasse est le faite de la présence de Périдиниens de grande taille (*Peridinium willei*, *Ceratium hirundinella*).

* la **phase hivernale** est retrouvée lors du prélèvement du 13 décembre, avec un cortège de taxons proches de celui du mois de janvier.

En 2007, la biomasse annuelle moyenne du phytoplancton (1271 mg/m³) est en augmentation par rapport à 2006 (866 mg/m³), elle est cependant proche de la biomasse moyenne interannuelle (1393 mg/m³). La biomasse printanière moyenne (700 mg/m³) est faible par rapport aux années précédentes (2006 : 1489 mg/m³, 2005 : 2230 mg/m³). La biomasse estivale moyenne (1683 mg/m³) est plus forte qu' en 2006 (431 mg/m³) mais proche des années 2005 et 2004 (1984 mg/m³ en 2005 et 1847 mg/m³ en 2004).

Le rapport (Biomasse Printanière moyenne/Biomasse Estivale moyenne) est de 0.41, valeur nettement plus faible qu'en 2006 (1.01) et 2005 (1.12), ceci indique un développement algal printanier faible, qui est principalement à relier à un démarrage très précoce de la phase printanière.

II.2.3. PETIT LAC

II.2.3.1. EVOLUTION DE L'ABONDANCE DES DIFFERENTES CLASSES

Les observations les plus remarquables sont analysées dans la couche 0-18m pour le Petit Lac (Figure II.9 et Figure II.10).

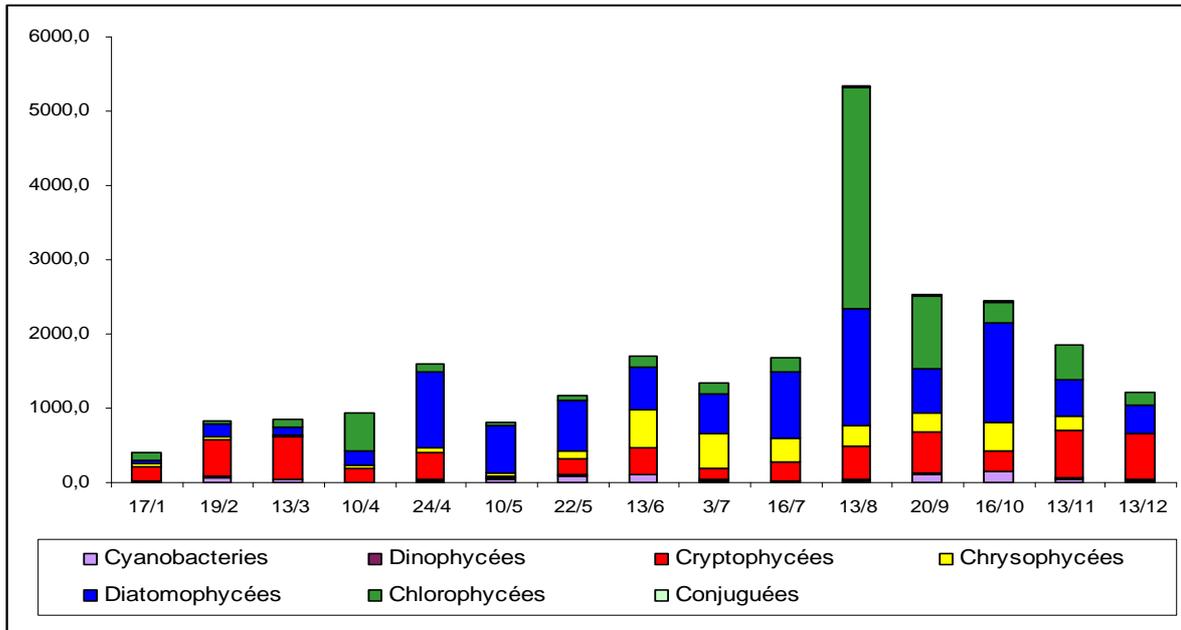


Figure II.9 : Variations saisonnières de l'abondance du phytoplancton (nombre de cellules par ml) dans le Petit Lac en 2007.

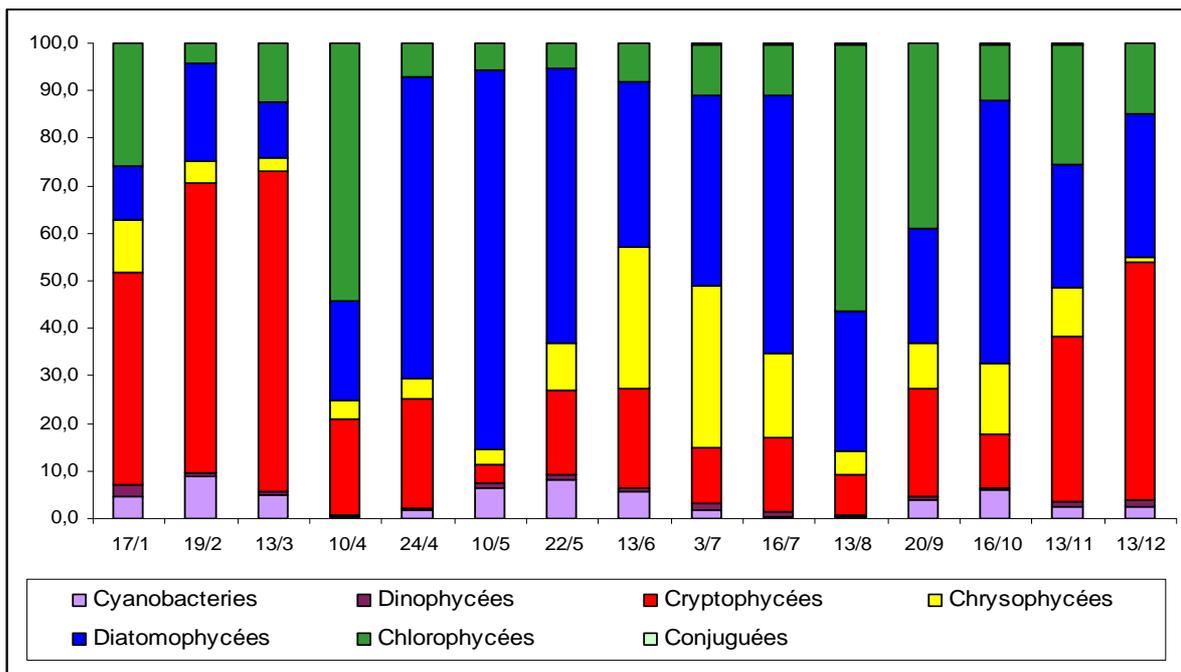


Figure II.10 : Variations saisonnières de l'abondance relative du phytoplancton (exprimée en pourcentage) du Petit Lac en 2007.

CYANOBACTERIES

Représentées par 13 espèces dans le Petit Lac, elles montrent un développement plus important que les autres années (3.1% contre 1,5% en 2006 et 0,6% en 2005). Dans le Grand Lac, les cyanobactéries représentent 4,3% de l'abondance totale du phytoplancton.

DINOPHYCEES (ou péridiniens)

Comme dans le Grand Lac, les dinophycées sont présentes toute l'année mais en faible quantité (0,7 %). L'abondance relative totale de cette classe est identique à celle de 2005 (1,1 %). Avec 8 taxons, la richesse spécifique de cette classe est quasi identique à celles observée en 2006 (9 taxons) et à 2005 (7 taxons).

CRYPTOPHYCEES

Les 4 taxons observés dans le Petit lac sont les mêmes que ceux du Grand Lac ; leurs abondances sont sensiblement les mêmes que dans le Grand Lac (21,9% dans le Petit Lac contre 22,7% dans le Grand Lac). Cette classe montre un développement tout au long de l'année, mais elle est surtout abondante pendant les mois d'hiver (février, mars) et de fin d'été (août et septembre) et d'hiver (novembre, décembre). Avec la même abondance que dans le Grand Lac, *Rhodomonas minuta* var. *nannoplanctonica* (17% de l'abondance totale du phytoplancton), est le taxon le mieux représenté de cette classe.

CHRYSOPHYCEES

La richesse de cette classe est stable par rapport aux autres années, puisque l'on retrouve 17 taxons pour l'année 2007, contre 16 en 2006 et 17 en 2005. L'abondance de cette classe reste semblable à celle de 2006 (10,8% en 2007 contre 8,3% en 2006). Ses diverses composantes (*Dinobryon* spp, *Erkenia subaequiciliata* entre autres) se développent toute l'année avec un pic de 34% le 3 juillet.

DIATOMOPHYCEES (ou diatomées)

Comme les années précédentes, ces algues brunes dominent le peuplement phytoplanctonique. L'abondance relative de cette classe en 2007 (37% de l'abondance relative) est cependant en baisse par rapport à 2006 (76%). Les espèces la composant se rencontrent tout au long de l'année mais de façon prépondérante du 24 avril au 22 mai (plus de 58% de l'abondance relative). Elles présentent un pic de 80% le 10 mai. Le nombre de taxons recensés est de 28, légèrement inférieur à celui de 2006 (33 taxons) mais équivalent à 2005 (28 taxons). Les espèces principales sont *Fragilaria crotonensis* (8% de l'abondance relative) et *Cyclotella cyclopuncta* (24%).

CHLOROPHYCEES

Cette classe comprend 25 taxons au total (contre 21 espèces en 2006). L'abondance relative de cette classe représente 26% de l'abondance totale du phytoplancton contre 1,5% l'année précédente. On note la présence de nombreux individus de *Chlorella cf. vulgaris* (18% de l'abondance relative).

ZYGOPHYCEES (= Conjuguées ou Desmidiacées)

Avec 4 taxons, cette classe présente une diversité faible tout comme son abondance (0,2%).

EUGLENOPHYCEES ET XANTHOPHYCEES

Ces deux classes sont également absentes de nos investigations cette année.

La figure II.11 présente l'abondance relative des principales espèces présentes dans le Petit Lac.

En 2007, sur 95 taxons recensés dans le Petit Lac, 8 constituent plus de 80% du peuplement phytoplanctonique et 3 espèces représentent, à elles seules, plus de 50% de l'abondance totale du phytoplancton. Comme dans le Grand Lac c'est la diatomée *Cyclotella cyclopuncta* qui compose en majorité cette communauté.

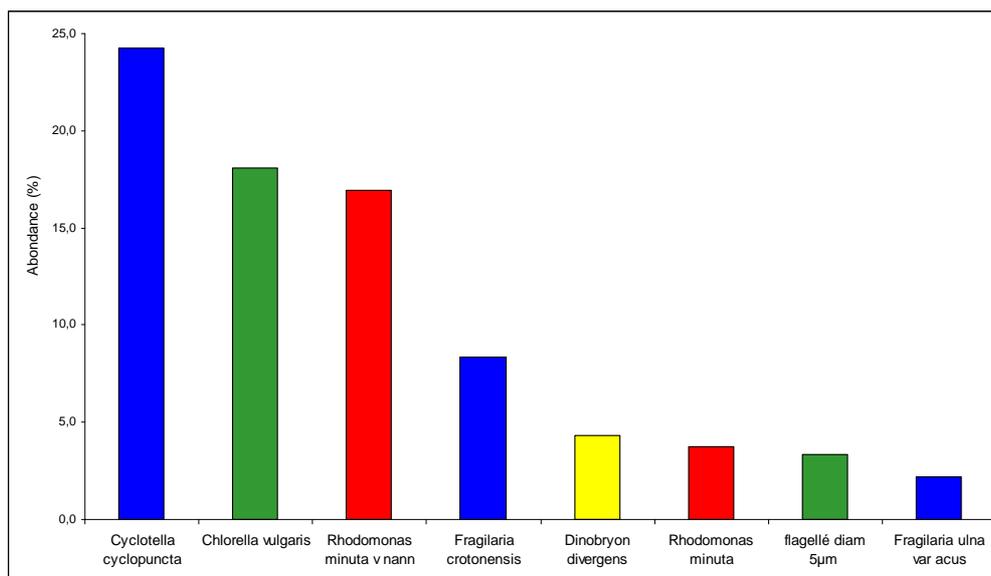


Figure II.11 : Abondance relative (en nombre d'individus par ml) des espèces capitalisant plus de 80% du peuplement du Petit Lac d'Annecy en 2007.

II.2.3.2. BIOMASSE DU PHYTOPLANCTON DANS LE PETIT LAC

L'estimation de la biomasse est identique à celle exposée dans le paragraphe II.2.2.2.

II.2.3.2.1. Biomasse du nano et du microplancton

Tableau II.3 : Evolution en % du microplancton et du nanoplancton dans le Petit Lac de 2001 à 2007.

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Moyenne 2001-2007
Microplancton	63	66	64	66	82	83	68	70
Nanoplancton	37	34	36	34	18	17	32	30

Les proportions du microplancton et du nanoplancton sont sensiblement identiques à celles de la moyenne de la chronique 2001-2007 (voir tableau II.3 ci-dessus). En 2007, dans le Grand Lac, la part du nanoplancton est légèrement plus faible (25%). Sur la période 2000-2007, les biomasses nanoplanctoniques ont une tendance à la baisse de 2001 à 2006, passant de 37% en 2001 à 17% en 2006, cependant cette tendance s'inverse en 2007, puisque l'on observe une nette augmentation du nanoplancton.

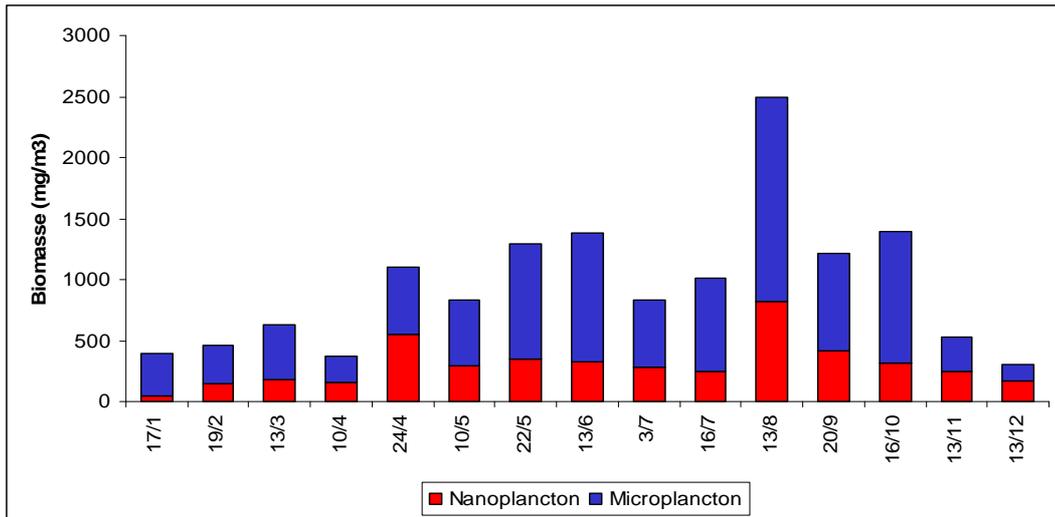


Figure II.12 : Variations saisonnières de la biomasse (matière fraîche) par classe de taille dans le Petit Lac en 2007

Le nanoplancton est surtout représenté par *Cyclotella cyclopuncta* (22%), *Rhodomonas minuta* (3,4%) et sa variété *nannoplanctonica* (2,1%). On observe un pic du nanoplancton le 20 avril (50% de la biomasse totale), dû à la diatomée *Cyclotella cyclopuncta* qui occupe 39% du peuplement algal à cette date (Figure II.12).

Le microplancton représente 68% de la biomasse en 2007, il est essentiellement représenté par une diatomée *Asterionella formosa* (13,5%) et une dinophycée *Ceratium hirundinella* (9,3%). Les cyanobactéries du genre *Aphanocapsa* (14,8%) et du genre *Chroococcus* (4,8%) ainsi qu'une chrysophycée *Dinobryon divergens* (6%) représentent une part importante de la biomasse (Figure II.13).

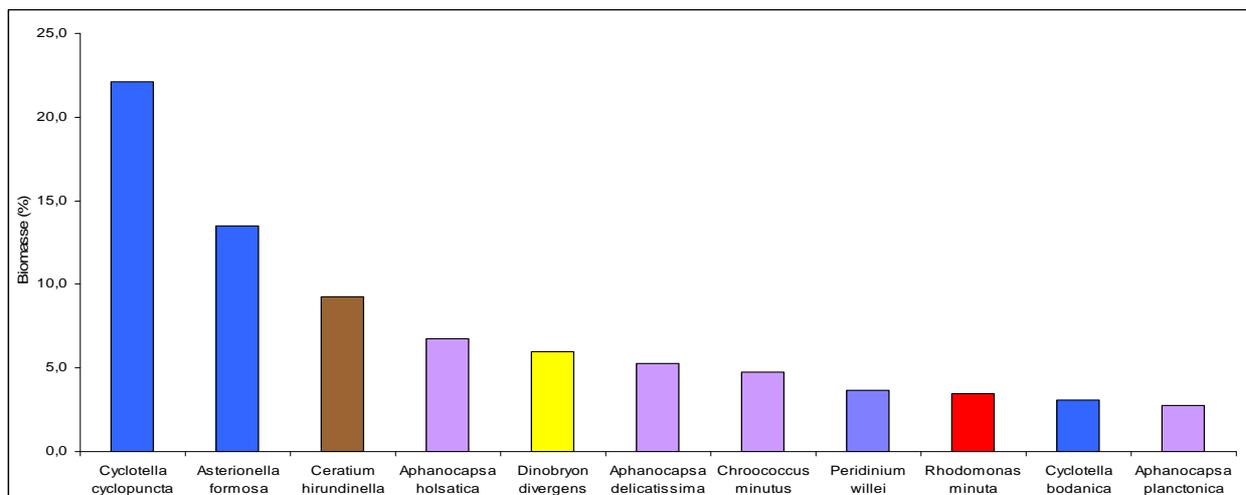


Figure. II.13 : Biomasse relative (%) des principales espèces phytoplanctoniques du Petit Lac d'Annecy durant l'année 2007.

II.2.3.2.2. Importance relative des différentes classes d'algues.

Comme les années précédentes, la biomasse phytoplanctonique est dominée par les diatomées avec 44% de la biomasse (60% en 2006). On peut probablement relier cette abondance de diatomées au stock de silice qui est plus bas que dans le Grand lac. Comme l'illustre la figure II.14, ce qui fait la particularité de l'année 2007 est l'importance des cyanobactéries qui arrivent en deuxième position avec 20% (2,3% en 2006) ; seule l'année 1999 présentait une abondance de cyanobactéries plus importante. Tout comme dans le Grand Lac, ces cyanobactéries sont non toxiques et ne sont pas favorisées par un rapport N/P faible. Les dinophycées arrivent en 3^{ème} position avec 16%. Viennent ensuite les chrysophycées (8,8%), les cryptophycées (8,2%), et enfin les chlorophycées (1,9%) et les zygothécées (0,5%).

Même si les biomasses relatives des classes d'algues dans le Petit Lac sont relativement différentes de celles trouvées dans le Grand Lac, leur importance est comparable. Pour le Petit et le Grand Lac, c'est principalement l'abondance des cyanobactéries (essentiellement du genre *Aphanocapsa*) par rapport aux autres classes d'algues qui est remarquable pour l'année 2007.

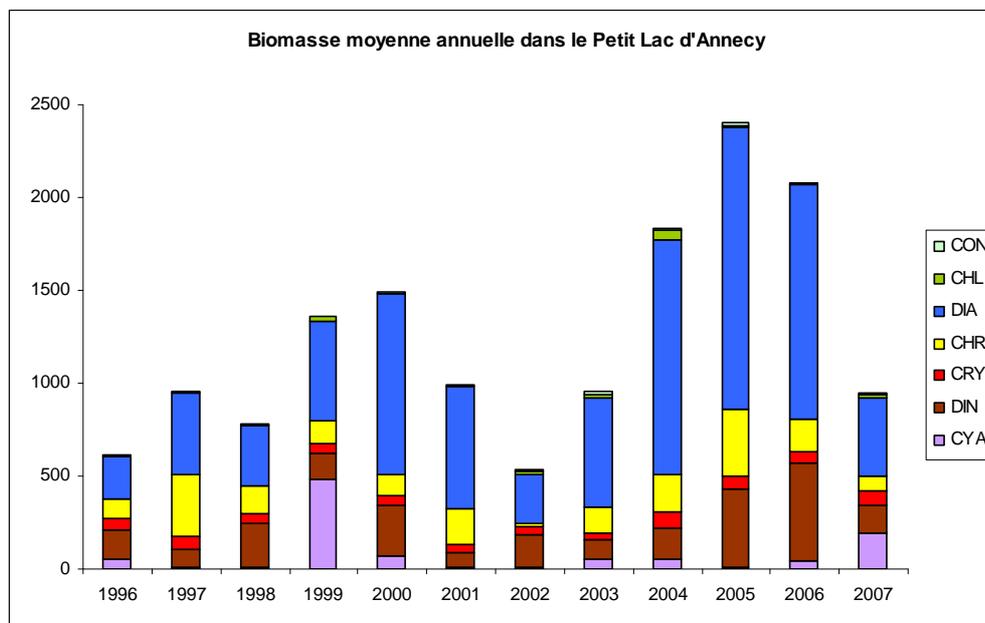


Figure II.14 : Evolution de la biomasse pondérée du phytoplancton par année pour les différentes classes.

II.2.3.2.3. Les principales espèces et leur biomasse relative

En 2007, sur 95 taxons (97 en 2006, 83 en 2005, 97 en 2004, 105 en 2003 et 59 en 2002), 11 espèces constituent plus de 80% de la biomasse totale (6 en 2006 et en 2005 et 8 en 2004), seules deux sont nanoplanctoniques : *Cyclotella cyclopuncta* (22,1%) et *Rhodomonas minuta* (3,4%). Les autres sont microplanctoniques : *Asterionella formosa* (13,5%), *Ceratium hirundinella* (9,3%), *Aphanocapsa* (*A. delicatissima*, *A. holsatica*, *A. planctonica* : 14,8% au total), *Dinobryon divergens* (6,0%), *Chroococcus minutus* (4,8%), *Peridinium willei* (3,7%), *Cyclotella bodanica* (3,1%).

II.2.3.2.4. Variations saisonnières de la biomasse phytoplanctonique

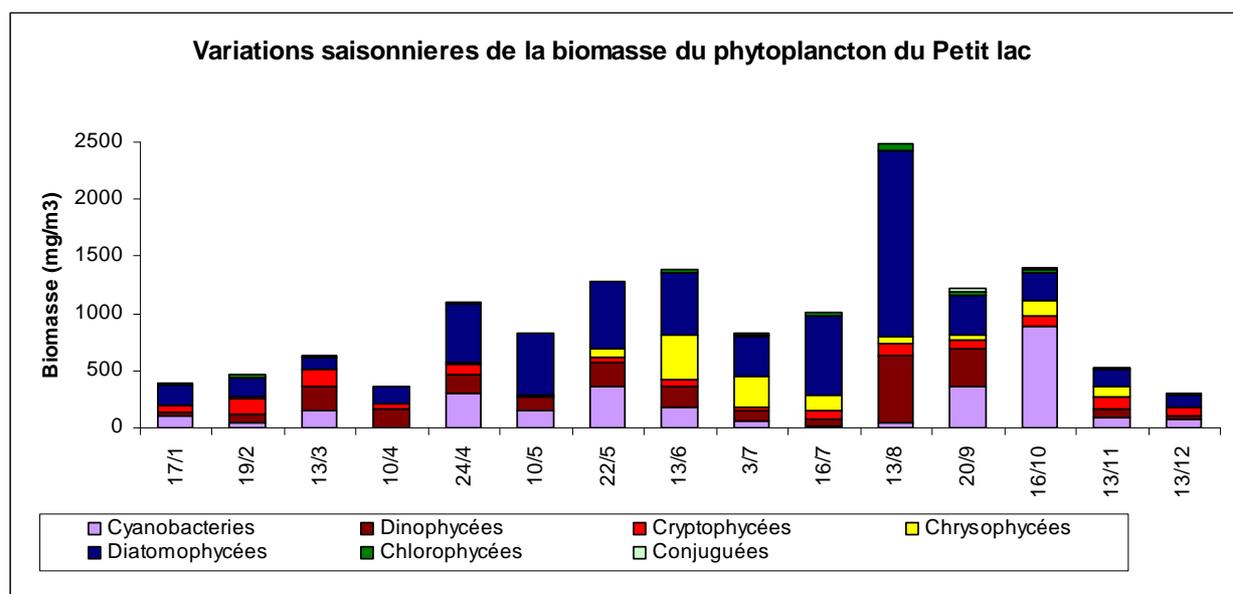


Figure II.15 : Variations saisonnières de la biomasse du phytoplancton (matière fraîche) par classe d'algues dans le Petit Lac en 2007.

On peut distinguer plusieurs phases dans les variations saisonnières de la biomasse phytoplanctonique (Figure II.15) :

* la **phase hivernale** à faible production phytoplanctonique, correspondant au prélèvement du 17 janvier (390 mg/m³). Ce prélèvement est caractérisé par la dominance dans le compartiment phytoplanctonique de diatomées centriques.

* la **phase printanière** démarre le 19 février et perdure jusqu'au 10 avril. Cette période est également dominée par des diatomées centriques (*Cyclotella bodanica*, *C.*

cyclopuncta), mais elle voit aussi l'augmentation de la biomasse des cryptophycées (*Rhodomonas minuta* et *R. minuta* var. *nannoplanctonica*) et les dinophycées (*Ceratium hirundinella*).

* la **phase des eaux claires** est difficilement observable pour cette année 2007. Elle est probablement à placer entre le 10 avril et le 24 avril, ces deux dates étant caractérisées par des biomasses et des peuplements algaux assez différents (notamment apparition de plusieurs taxons de cyanobactéries à partir du 24 avril : *Aphanocapsa holsatica*, *A. planctonica*).

* la **phase estivale** est observée du 24 avril au 13 août. La distribution de sa biomasse est assez homogène, sauf pour le prélèvement du 13 août qui est nettement supérieure. Ceci est principalement le fait de deux diatomées, une petite centrique (*Cyclotella cyclopuncta*) et une coloniale (*Asterionella formosa*) et de deux dinophycées (*Ceratium hirundinella* et *Peridinium willei*). Les autres prélèvements sont également dominés par les mêmes diatomées mais à des niveaux inférieurs, ont observé également le développement d'une chrysophycée (*Dinobryon divergens*) autour des mois de juin à juillet.

* la **phase automnale** s'étend du 20 septembre au 16 octobre, la composition spécifique change, avec une réduction de la biomasse des diatomées, et l'augmentation de celle des cyanobactéries (*Aphanocapsa holsatica*, *A. delicatissima*, *A. planctonica*, *Chroococcus minutus*). Au cours de cette période, la biomasse est comparable à celle des mois d'été.

* le retour à la **phase hivernale** s'effectue à partir du 13 novembre, la biomasse baisse fortement, une composition taxonomique proche de celle du début de l'année est observable.

L'année 2007 est caractérisée par une biomasse annuelle moyenne de 947 mg/m³, valeur inférieure de la moyenne interannuelle 1996-2007 (1246 mg/m³). La biomasse printanière est de 486 mg/m³ et la biomasse estivale de 1274 mg/m³. A comparer de l'année 2006, ces biomasses sont inférieures, il faut souligner que la biomasse printanière est plus de 4 fois inférieure à celle de 2006. Les rapports BP/BE sont très

différents (0,38 pour 2007 et 1,12 pour 2006). Ceci indique un développement tardif du compartiment phytoplanctonique.

II.2.4. COMPARAISONS DES DONNEES OBTENUES SUR CHAQUE LAC

L'annexe B donne la liste comparative de toutes les espèces composant le phytoplancton dans les deux bassins du lac d'Annecy.

Les diversités spécifiques (Indice de Shannon) sont proches dans les deux lacs pour l'année 2007, elles sont supérieures à la diversité interannuelle (1996-2007), la diversité du Grand Lac est d'ailleurs la 2^{ème} plus élevée (après celle de 1996) de la chronique 1996 à 2007.

Les biomasses dans les deux lacs sont assez différentes, le Grand Lac présente une biomasse plus importante que le Petit Lac (947 mg/m³ pour le Petit Lac et 1389 mg/m³ pour le grand Lac), cette situation est celle qui est la plus généralement observée sur la période 1996-2007. Seules les années 2005 et 2006 présentaient une situation inverse, où le Petit Lac avait une biomasse supérieure à celle du Grand Lac.

Le rapport BP/BE a diminué dans les deux lacs par rapport à 2006 (Figure II.16). La valeur de 2007 est l'une des plus faibles avec les années 2001, 2002 et 2004. D'une manière générale, dans les périodes récentes on observe une augmentation de la fréquence des années avec des valeurs faibles de ce rapport, ceci correspond à des développements algaux de plus en plus précoces.

Les biomasses nanoplanctoniques sont dans les deux lacs proches de la valeur moyenne interannuelle, elles sont nettement inférieures à celles des biomasses microplanctoniques. Il ne semble pas se dégager de tendances générales sur la chronique 1996-2007 quant à la réduction ou l'augmentation de l'un de ces compartiments.

Tableau II.4 : *Biomasses annuelles moyennes, biomasses saisonnières et biomasses maximales (mg/m³) dans le Petit Lac et le Grand Lac, en 2006 et 2007.*

	Annecy 2006 Grand Lac 0-18 m	Annecy 2007 Grand Lac 0-18 m	Annecy 2006 Petit Lac 0-18 m	Annecy 2007 Petit Lac 0-18 m
Biomasse annuelle moyenne	866	1271	2094	947
Biomasse printanière moyenne (BP)	1489	700	2233	486
Biomasse estivale moyenne (BE)	431	1683	1996	1274
BP/BE	0.67	0.41	1.12	0.38
Biomasse printanière maximale (mois)	2574 (4)	1119 (4)	8102 (3)	625 (3)
Biomasse estivale maximale (mois)	960 (8)	2535 (6)	4713(9)	2488 (8)
Biomasse nanoplanctonique annuelle moyenne	301	263	361	302
Biomasse microplanctonique annuelle moyenne	565	1008	1732	645

BP = biomasse moyenne de janvier à la phase des eaux claires exclue
 BE = biomasse moyenne de la phase des eaux claires incluse à décembre
 (..) = mois où le phénomène s'est produit

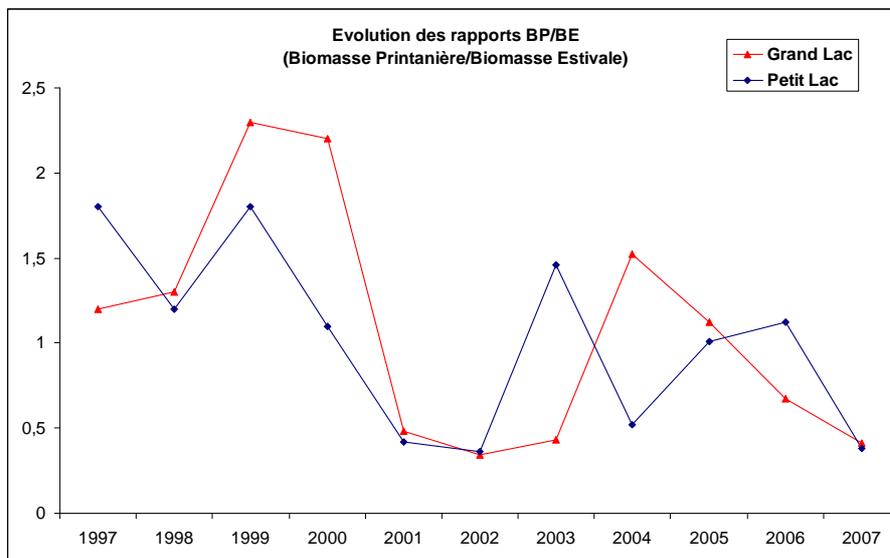


Figure II.16 : Evolution interannuelle des rapports BP/BE de 1997 à 1996

II.2.5. CONCLUSION DU CHAPITRE PHYTOPLANCTON

En 2007, la richesse spécifique du phytoplancton (125 taxons) a été légèrement plus forte qu'en 2006 (123 taxons). Nous restons cependant assez loin des valeurs

atteintes en 1996 (173 taxons dans la strate 0-10m) et en 1997 (152 taxons dans la strate 0-20m). Les valeurs de diversité mesurées par l'indice de Shannon corroborent cette observation, puisqu'elles sont parmi les plus élevées depuis 1996.

En 2007, la biomasse annuelle du phytoplancton dans le Grand Lac (1389 mg/m³) est proche de celle de la moyenne interannuelle 1996-2007 (1393 mg/m³), par contre celle du Petit Lac (946 mg/m³) est nettement inférieure à celle de la moyenne interannuelle (1246 mg/m³). Ceci illustre bien la différence de fonctionnement entre ces deux lacs. Une autre illustration de cette différence entre les deux lacs est la cinétique des variations saisonnières des compartiments phytoplanctoniques qui n'évoluent pas de la même façon.

En 2007, tout comme depuis 1996, le Grand Lac présente une biomasse plus importante que le Petit Lac, seules les années 2005 et 2006 étaient caractérisées par des biomasses supérieures dans le Petit Lac. On remarque également que dans les deux lacs, les proportions des biomasses nanoplanctoniques de 2007 sont supérieures à celles des années 2005 et 2006. Ceci est principalement dû à l'augmentation de la proportion d'une petite diatomée centrique, *Cyclotella cyclopuncta*.

La particularité de l'année 2007 est l'abondance des cyanobactéries dans les deux lacs, principalement représentées par trois espèces du genre *Aphanocapsa*. Ce genre de cyanobactéries est non toxique. Il s'agit de taxons coloniaux, de tailles modestes et ne sont pas favorisées par un rapport N/P faible (il ne s'agit pas de cyanobactéries fixatrices d'azote atmosphérique). Ces taxons ne sont pas les mêmes que ceux retrouvés en forte quantité dans le Bourget.

L'observation des rapports BP/BE sur la chronique 1996-2007 permet de constater une augmentation de la fréquence des années avec de faibles valeurs de ce rapport. Cela correspond à des développements algaux de plus en plus précoces, et ceci peut être relié à l'hypothèse de l'effet sur le compartiment phytoplanctonique du réchauffement progressif des eaux du lac. Cette hypothèse est d'ailleurs soutenue et validée par les travaux d'Anneville (2001) sur le Léman.

II.3. ZOOPLANCTON

II.3.1 COMPOSITION ET EVOLUTION A LONG TERME DE LA COMMUNAUTE ZOOPLANCTONIQUE

II.3.1.1 Composition de la communauté en 2007

La communauté zooplanctonique crustacéenne est dominée par les Cyclopoïdes, qui contribuent à, respectivement, 63% dans le Grand Lac et 62% dans le Petit Lac, de l'abondance crustacéenne totale annuelle. En 2007, *Mesocyclops leuckarti* a été légèrement plus abondant que *Cyclops prealpinus* dans la communauté des cyclopoïdes (56 et 63% dans le Grand et le Petit Lac respectivement). En 2007, les cladocères (13% et 23% dans le Grand et le Petit Lac respectivement) et les calanoïdes (23% et 14% dans le Grand et le Petit Lac respectivement) ont présenté des contributions similaires à la communauté crustacéenne totale.

La méthode d'échantillonnage permet également de capturer les larves véligères de *Dreissena polymorpha* et les grosses espèces de rotifères. En 2007, trois espèces de rotifères (*Asplanchna priodonta*, *Kellicottia longispina* et *Conochilus unicornis*) ont été dénombrées dans les échantillons. *Chaoborus* a été observé sporadiquement dans les deux bassins.

II.3.1.2. Evolution à long terme de composition de la communauté

L'abondance moyenne annuelle des crustacés dans le Grand lac d'Annecy en 2007 a atteint 368 000 ind.m⁻², valeur parmi les plus élevées observées sur la série 1995-2007 (figure II.3 : 1). Tant dans le grand que dans le petit lac, la tendance à l'augmentation générale des abondances crustacéennes depuis 2001 est confirmée. Cette tendance résulte essentiellement d'une augmentation exponentielle des effectifs des calanoïdes depuis 2001.

Les abondances des Cyclopoïdes sont très fluctuantes d'une année à l'autre et aucune tendance à long-terme n'apparaît. En 2007, les cyclopoïdes sont présents

avec de fortes abondances sans toutefois paraître comme une année atypique pour cet ordre.

Par contre, les abondances des Cladocères a été particulièrement faible en 2007, de l'ordre de 2 à 3 fois inférieures à celles des années précédentes.

Les abondances de Calanoïdes atteignent, en 2007, des valeurs records de 87 000 et 60 000 ind.m⁻² pour le grand et le petit lac respectivement, c'est-à-dire 3 fois plus qu'en 2006 et jusqu'à 10 à 20 fois plus qu'en 1995 (Figure II.3 : 1).

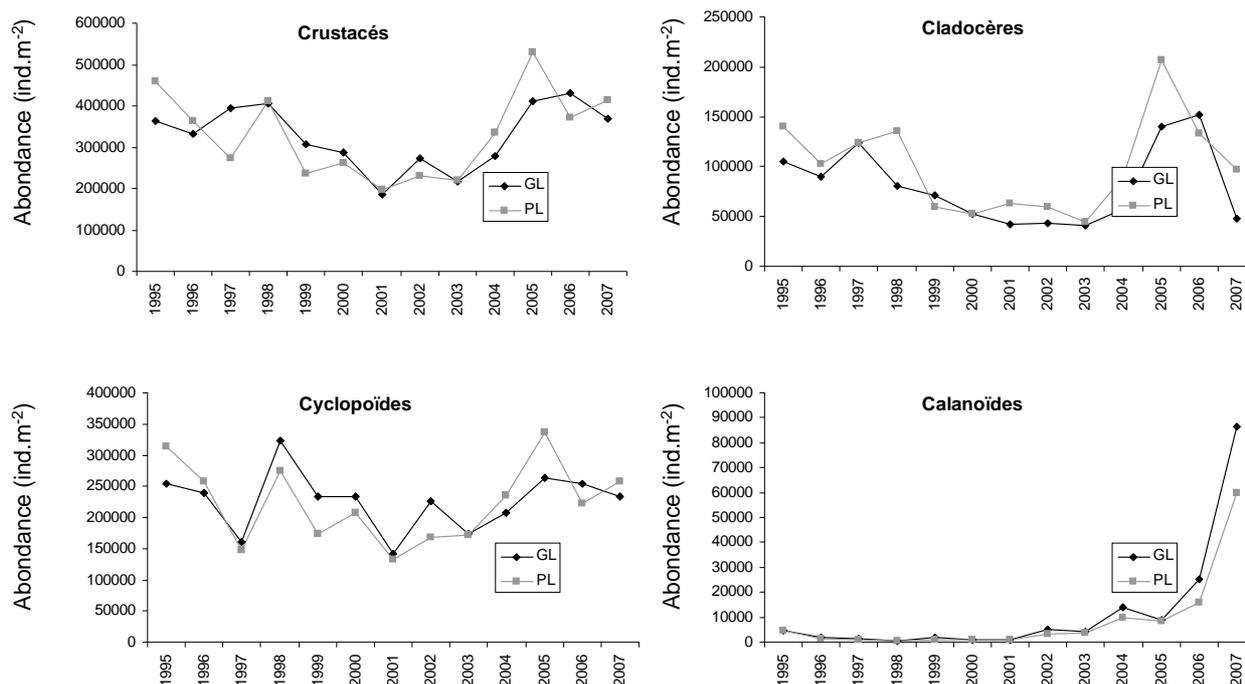


Figure II.3 : 1. Evolution de l'abondance des microcrustacés.

Bien que les abondances de crustacés soient à présent comparables à celles de 1995, la communauté zooplanctonique montre toutefois de profonds changements de structure entre 1995 et 2007 (Figure II.3 : 2).

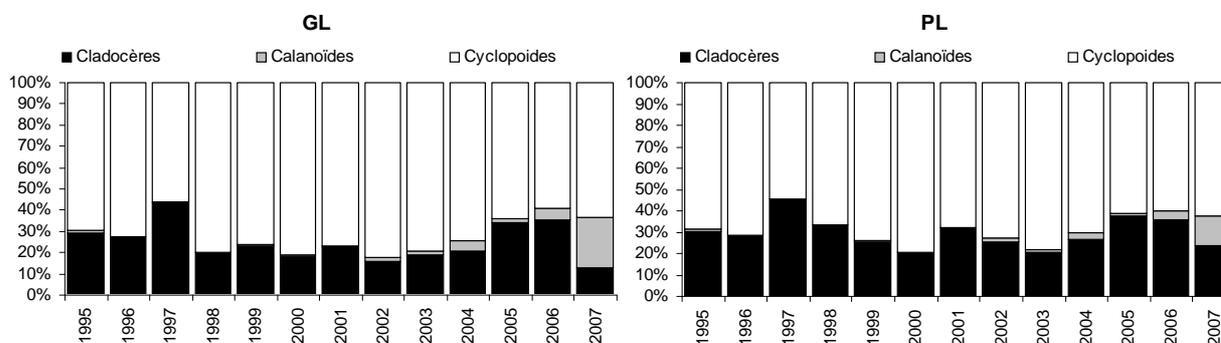


Figure II.3 : 2. Evolution de la composition de la communauté crustacéenne entre 1995 et 2007.

Entre 1995 et 2001, la communauté zooplanctonique était largement dominée par les cyclopoïdes, représentant plus de 70% des crustacés tandis que les calanoïdes représentaient moins de 1% de l'abondance crustacéenne totale. Depuis 2001, la contribution des calanoïdes et des cladocères à la communauté zooplanctonique augmente. Les calanoïdes sont une espèce à développement de fin d'été (Anneville et Laine, 2004). Cette tendance à l'augmentation des abondances de calanoïdes pourrait, par conséquent, résulter de conditions thermiques et/ou nutritionnelles plus favorables en fin d'été et en automne depuis 2001.

II.3.1.3. Evolution à long terme des biovolumes sédimentés

Les deux bassins présentent des évolutions inter-annuelles qui reflètent celles observées pour l'ensemble de la communauté crustacéenne (figure II.3 : 3). Sur la période étudiée, on constate une baisse des biovolumes sédimentés, suivi d'une augmentation qui s'est initiée en 2004.

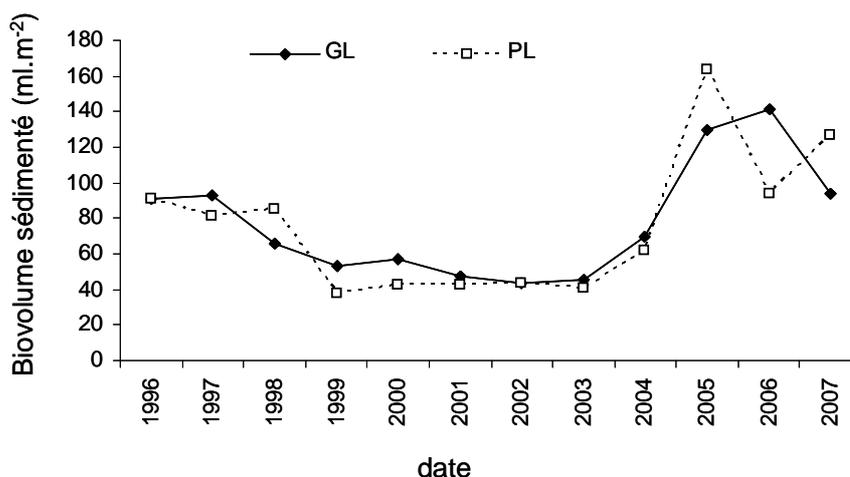


Figure II.3 :3. Evolution des moyennes annuelles de l'abondance du zooplancton sédimenté.

II.3.2. DYNAMIQUE SAISONNIERE EN 2007

II.3.2.1. Dynamique saisonnière des Cladocères

Dans les deux bassins du lac d'Annecy, la dynamique saisonnière des Cladocères se caractérise par la présence de deux pics : le premier en fin de printemps et le second en fin d'été (figure II.3 : 4). Les abondances au pic printanier dans le GL en 2007 sont globalement assez faibles par rapport à celles observées sur la série 1995-2007. En 2007, les pics d'abondance estivaux ont atteint 250 000

ind.m⁻² sur chacun des lacs, valeurs similaires ou supérieures aux maxima de printemps.

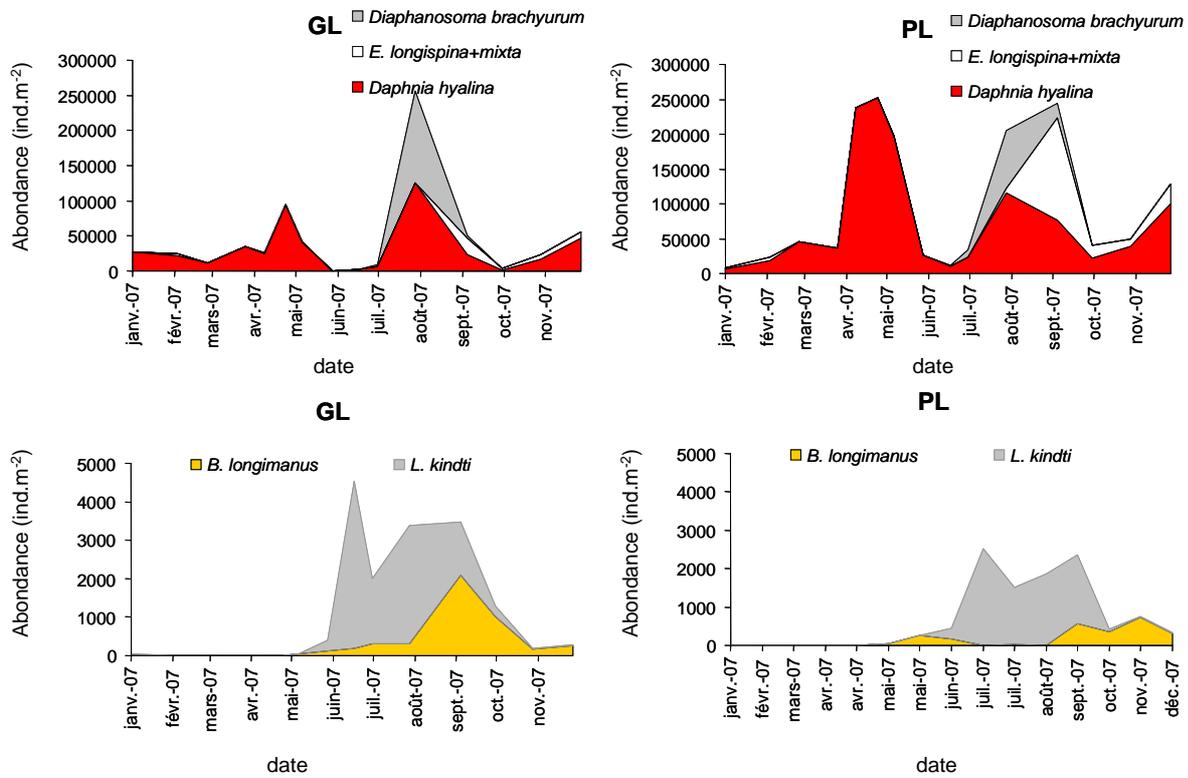


Figure II.3 : 4. Evolution saisonnière des abondances des différentes espèces de Cladocères identifiées

La dynamique saisonnière des cladocères est assez similaire entre les deux bassins en 2007 (Figure II.3 : 4).

D. hyalina domine la communauté des cladocères herbivores tout le premier semestre de l'année 2007. Le pic printanier d'abondance des cladocères est exclusivement dû à l'accroissement de la population de *D. hyalina*, qui atteint des effectifs de 100 000 et 250 000 ind.m⁻² dans le grand et le petit lac respectivement. En 2007, les pics printaniers sont synchrones sur les deux bassins (10/5). Les effectifs de *D. hyalina* décroissent ensuite rapidement pour être minimaux en début d'été. Une deuxième phase de croissance s'initie au milieu de l'été, au cours duquel les Bosmines et *D. brachyurum* apparaissent en abondances significatives dans la population de cladocères. Le pic d'abondance de fin d'été (13/8) correspond à un maximum d'abondance de *D. hyalina* et de *D. brachyurum*. Un pic d'abondance des bosmines apparaît un peu plus tard au cours de l'automne (20/9). En dépit d'un

déclin rapide en automne, les abondances restent toutefois assez élevées jusqu'à la fin de l'année.

Les Cladocères carnivores (*Leptodora kindti* et *Bythotrephes longimanus*) présentent une évolution similaire dans les deux bassins (figure II.3 : 4). *Leptodora* atteint ses maxima assez précocement, le 3 juillet avec des effectifs de 4500 ind.m⁻² dans le Grand Lac et 2500 ind.m⁻² dans le Petit Lac. Les effectifs sont restés élevés pendant toute la période estivale avant de décroître au milieu de l'automne. *Bythotrephes longimanus*, espèce pérenne à développement marqué en période de stratification thermique (Balvay et al., 2004), présente des abondances relativement élevées pendant tout l'automne 2007, avec des effectifs moyens de 1000 et 500 ind.m⁻² dans le grand et le petit lac respectivement.

II.3.2.2. Dynamique saisonnière des copépodes

Dans les deux bassins, la communauté des cyclopoïdes est représentée par deux espèces : *Cyclops prealpinus* et *Mesocyclops leuckarti*, cette dernière étant dominante en 2007 (figure II.3 : 5). Une troisième espèce, *Acanthocyclops sp.*, a pu être observée en abondance faible (<1500 ind.m⁻²) à une date unique sur chacun des deux bassins (GL : 10/5, PL : 16/7). La dynamique saisonnière des cyclopoïdes est similaire entre les deux bassins en 2007. Un premier pic d'abondance est observé en fin d'hiver (17/2), avec des valeurs proches de 500 000 ind.m⁻² dans les deux bassins. Ce pic résulte d'un accroissement de la population de *M. leuckartii*. Au cours du printemps, les effectifs de *M. leuckartii* s'effondrent à des valeurs < 50 000 ind.m⁻², tandis que la population de *C. prealpinus* tend à augmenter. Les abondances maximales de *C. prealpinus* sont observées entre Mai (PL) et Juillet (GL) avec des valeurs proches de 180 000 ind.m⁻². En fin d'été, les abondances de *C. prealpinus* diminuent à nouveau tandis qu'un second pic d'abondance de *M. leuckartii* (300 000 ind.m⁻² dans GL ; 600 000 ind.m⁻² pour PL) est observé.

Mixodiaptomus laciniatus suit une dynamique similaire dans les deux bassins en 2007. L'abondance de *M. laciniatus* croît au cours du printemps pour atteindre son maximum au milieu de l'été avec des effectifs de 160 000 (GL) et 120 000 ind.m⁻² (PL). Les effectifs de *M. laciniatus* diminuent à partir de l'automne, mais se maintiennent toutefois à des valeurs élevées (80-100 000 ind.m⁻²) pendant toute la deuxième moitié de l'année.

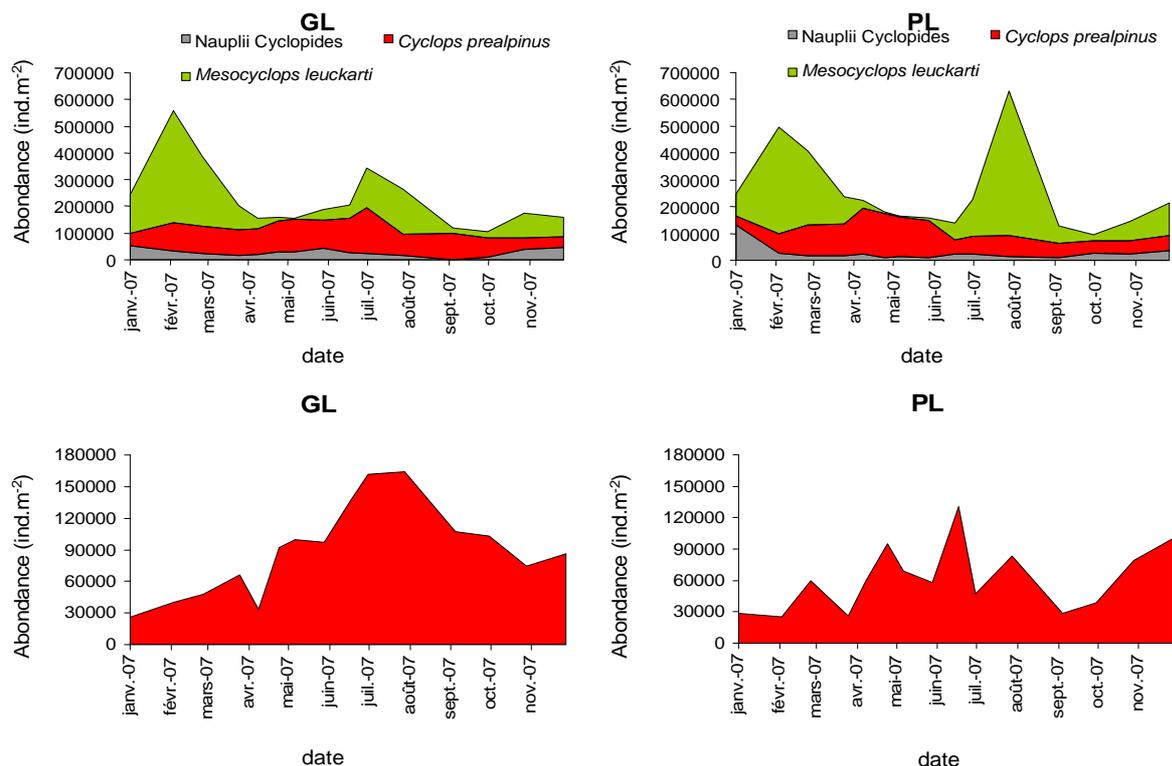


Figure II.3 :5. Evolution saisonnière des abondances des différentes espèces de copépodes identifiées

II.3.2.3. Variation saisonnière des biovolumes sédimentés

Dans les deux bassins, le biovolume sédimenté présente une dynamique bimodale. Dans le Grand Lac, le biovolume sédimenté du zooplancton se caractérise par une augmentation printanière qui, le 10 mai, atteint un pic de 125 ml.m^{-2} (figure II.3 : 6). Le maximum printanier est synchrone mais beaucoup plus important dans le Petit Lac (270 ml.m^{-2}). Après une diminution transitoire des biovolumes en été, un second pic automnal apparaît dans les deux bassins. Dans le grand lac, le biovolume atteint 180 ml.m^{-2} le 13 août, c'est à dire une valeur supérieure à celle du pic printanier. Le second pic de biovolume est atteint plus tardivement dans le petit Lac (210 ml.m^{-2} le 20 septembre)

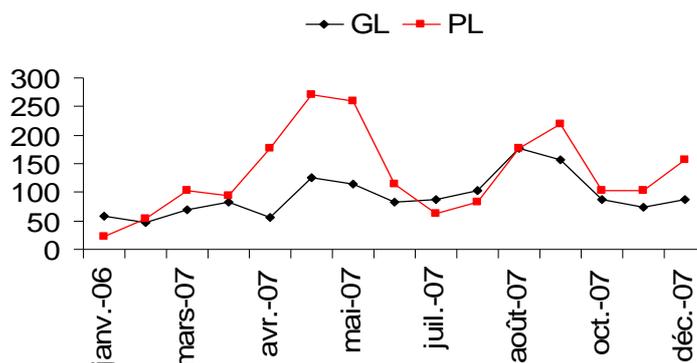


Figure II.3 :6. Evolution annuelle du biovolume sédimenté en 2007 (Annecy-Grand et Petit Lac)

II.3.2.4. Variation saisonnière des espèces non crustacéennes

Les espèces pérennes de rotifères (*Kellicottia longispina*, *Asplanchna priodonta*) sont observées dans les deux bassins. *Kellicottia longispina* est présente toute l'année et atteint des maxima en début de printemps (194 000 ind.m⁻² le 24 avril dans le Grand lac et 183 000 ind.m⁻² le 13 mars dans le Petit Lac). *Asplanchna priodonta* est présente en abondance limitée ($\leq 50\,000$ ind.m⁻²) toute l'année dans les deux bassins avec toutefois un pic d'abondance proche de 300 000 ind.m⁻² le 13 novembre. *Conochilus unicornis* apparaît plus transitoirement avec des effectifs maximaux en début d'hiver (50000 ind.m⁻² dans le grand lac et 10000 ind.m⁻² dans le petit lac) (figure II.3 : 7).

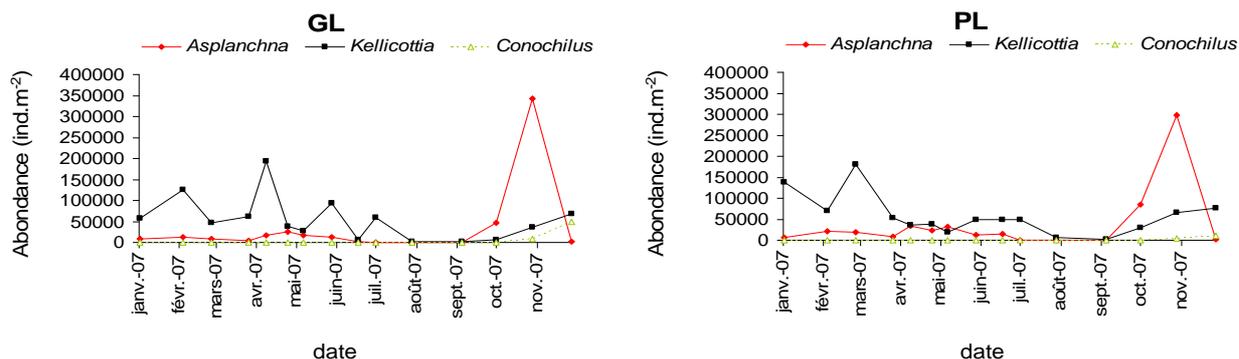


Figure II.3 :7. Evolution saisonnière des abondances des différentes classes de rotifères identifiées

La larve véligère de la moule zébrée d'eau douce *Dreissena polymorpha* n'a été observée qu'à une unique occasion (le 3 juillet avec 1900 ind.m⁻²), dans les deux bassins.

CONCLUSION GENERALE

L'hiver 2006-2007 a été un hiver particulièrement doux qui n'a pas permis un brassage du lac suffisamment long pour réoxygéner convenablement la totalité de la masse d'eau. Alors que les deux hivers précédents très froids avaient abaissé la température du lac au niveau des températures hivernales observées dans les années 1960, la température du lac à la fin de l'hiver est remontée à 5,2°C (Figure A).

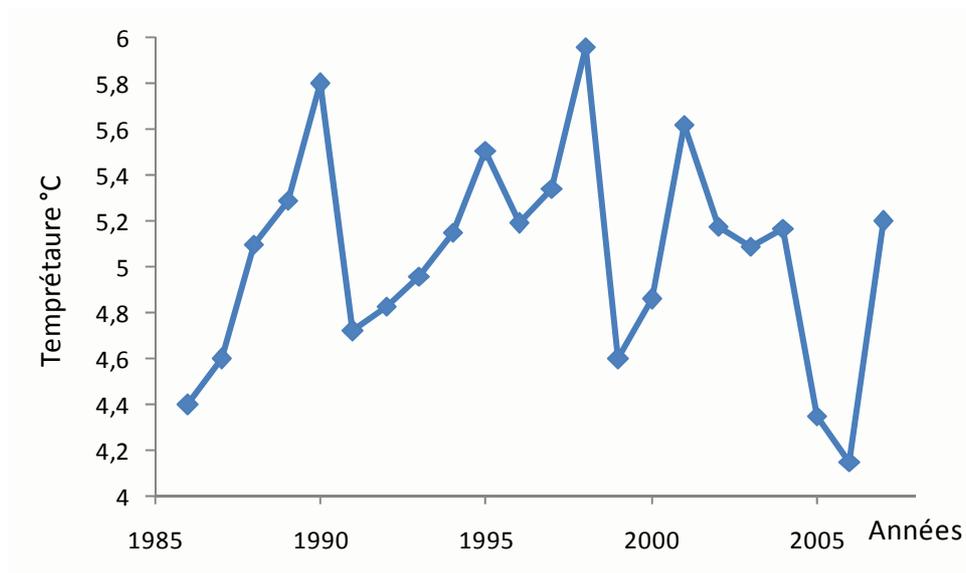


Figure A: Température de l'eau au fond du lac d'Annecy (GL) au moment du brassage hivernal.

La stabilité des masses d'eau profondes à Annecy fait qu'on observe une désoxygénation des eaux proches du fond assez tôt dans la saison. Ce phénomène est d'autant plus marqué en 2007 que la réoxygénation hivernale a été partielle. Cette désoxygénation des sédiments n'est sans doute pas propice au bon développement de la vie benthique dans le lac. Ce phénomène de désoxygénation profonde du Grand Lac est un phénomène récurrent au lac d'Annecy, lié à sa géomorphologie.

La température hivernale douce permet le maintien de la production du phytoplancton à cette saison. La communauté est marquée en 2007 par la forte contribution des cyanobactéries, principalement représentées par trois espèces du genre *Aphanocapsa*. Ce genre de cyanobactéries est non toxique. Il s'agit de taxons coloniaux, de tailles modestes. Ces taxons ne sont pas les mêmes que ceux retrouvés en forte quantité dans le Bourget. Le rapport des nutriments azote et phosphore a été ponctuellement très bas le 16 octobre 2007, indiquant que l'azote est alors un élément limitant la production phytoplanctonique et favorisant les espèces performantes dans l'utilisation de l'azote comme le sont les cyanobactéries.

Le changement observé en 2007 dans la communauté phytoplanctonique ne provoque pas de changement notable dans la dynamique de la communauté zooplanctonique. La contribution des calanoïdes et des cladocères augmente depuis 2001. Cette tendance à l'augmentation des abondances de calanoïdes pourrait résulter de conditions thermiques et/ou nutritionnelles plus favorables en fin d'été et en automne depuis 2001.