

SYNDICAT MIXTE DU LAC D'ANNECY

**SUIVI SCIENTIFIQUE
DU LAC D'ANNECY**

Rapport 2008



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 SCIENTIFIQUE DU LAC D'ANNECY

RAPPORT 2008

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)

Compilation du rapport et édition :
Damien ZANELLA - SILA

Rapport validé par les conseillers « suivi de la qualité du lac » du collège scientifique du SILA à la date du 15 septembre 2009 :

<i>Gérard BALVAY – Chargé de recherche INRA en retraite</i>	<i>Christian DESVILLETES – Université Blaise Pascal</i>
<i>Janusz DOMINIK – Université de Genève</i>	<i>Daniel GERDEAUX – INRA</i>
<i>Michel MEYBECK – Université Pierre et Marie Curie</i>	<i>Emmanuel NAFFRECHOUX – Université de Savoie</i>
<i>Lionel NAVARRO – Agence de l'Eau RMC</i>	<i>Pascal NIREL – Service Cant. Ecologie Eau Genève</i>
<i>Gérard PAOLINI – Communauté Agglo. Lac du Bourget</i>	<i>François RAPIN – CIPEL</i>
<i>Michel TISSUT – Université Joseph Fourier</i>	<i>Brigitte VINCON-LEITE – CEREVE</i>



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



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

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

GERDEAUX D., DRUART J.C., LAINE L., LAZZAROTTO J., PERGA M.E. et RIMET F., 2009. Suivi de la qualité des eaux du lac d'Annecy. Rapport 2008. SILA (éd.) et INRA-Thonon. 62 pages et annexes.

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

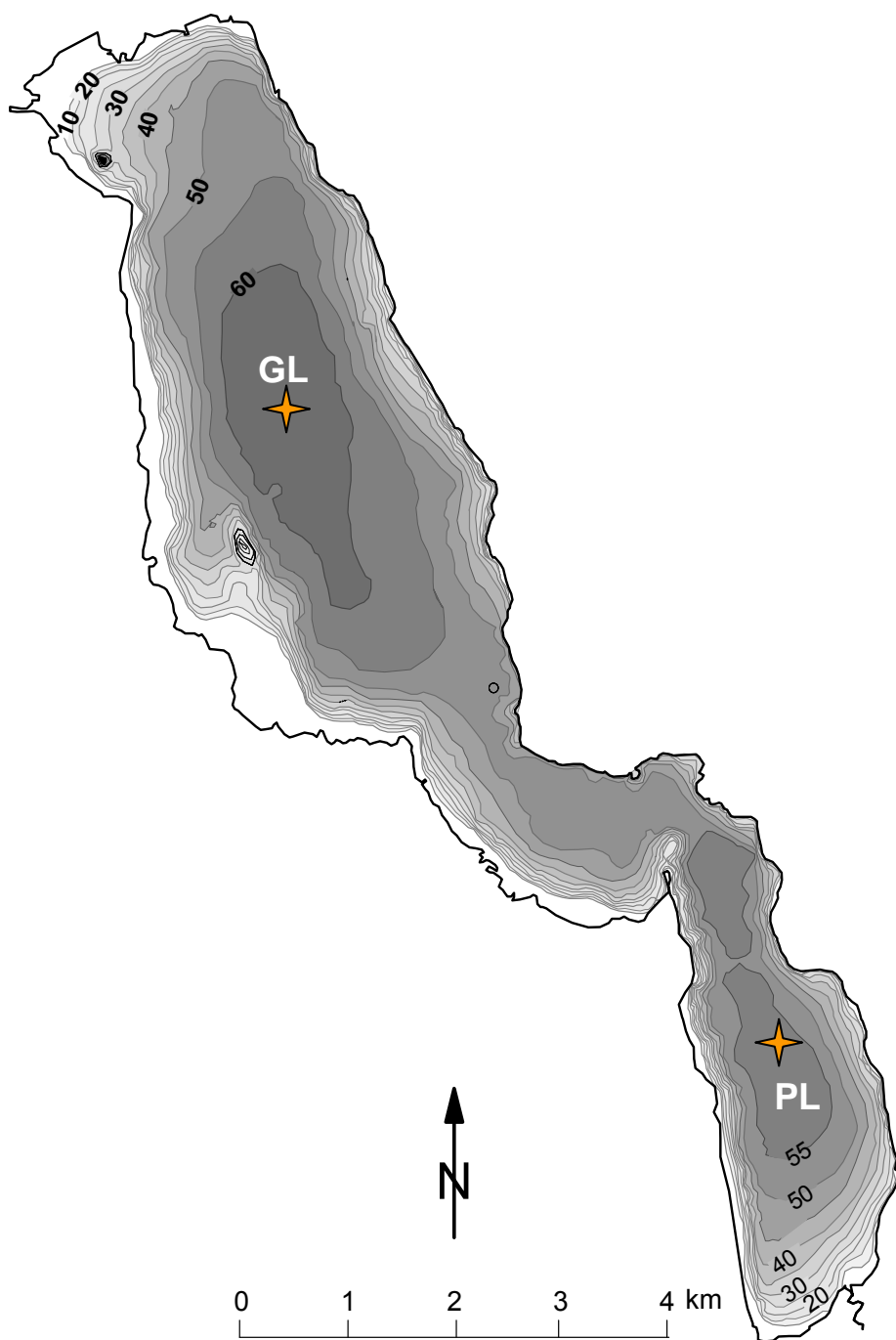
Signe particulier :

En bonne santé

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



CARTE BATHYMETRIQUE DU LAC D'ANNECY ET LOCALISATION DES POINTS DE PRELEVEMENT



Coordonnées des points de prélèvements

- « Grand Lac » : X=897009.793 ; Y=104060.45
- « Petit Lac » : X=901726.104 ; Y=98137.777

SOMMAIRE

Introduction.....	1
Chapitre 1 : Etudes physico-chimiques	
I.1 Transparence.....	4
I.2 Température.....	7
I.3 Oxygène dissous.....	10
I.4 Conductivité.....	16
I.5 Turbidité.....	18
I.6 Azote.....	20
I.7 Phosphore.....	22
I.8 Rapport « N/P ».....	23
I.9 Evolution interannuelle de l'azote et du phosphore.....	24
I.10 Silice.....	28
I.11 Stocks du lac en cations et en anions.....	30
I.12 Conclusion.....	31
Chapitre 2 : Etudes biologiques	
II.1 Méthodes d'étude du plancton.....	33
II.1.1 Phytoplancton.....	33
II.1.2 Zooplancton.....	34
II.2 Le Phytoplancton.....	35
II.2.1 Evolution saisonnière de l'année 2008.....	35
II.2.2 Evolution interannuelle.....	41
II.2.3 Conclusions.....	46
II.3 Le Zooplancton.....	49
II.3.1 Composition et évolution à long terme de la communauté zooplanctonique.....	49
II.3.2 Dynamique saisonnière en 2008.....	53
Conclusion générale.....	61
Dossier I : Météorologie et climatologie	
Dossier II : Courbes des débits des principaux affluents	
Dossier III : Carte du bassin versant du lac d'Annecy	
Dossier IV : Articles de presse relatifs au lac d'Annecy en 2008	

INTRODUCTION

Le suivi du lac d'Annecy en 2008 s'inscrit dans le cadre d'une auscultation sur le long terme de la physico-chimie et du compartiment planctonique de l'écosystème lacustre. Des données sont disponibles depuis 1966 quant le Syndicat Intercommunal des Communes Riveraines du lac d'Annecy (SICRLA) a d'abord 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 hypothèses de compréhension des phénomènes observés peuvent être avancées.

Le lac d'Annecy est une grande masse d'eau profonde thermiquement stratifiée en été et déstratifiée en hiver. La stabilité de la stratification thermique estivale, la durée du brassage hivernal et la réoxygénation des eaux qu'il entraîne, dépendent du climat. L'écosystème subit par ailleurs de nombreuses influences des activités humaines plus locales. Certains des impacts locaux peuvent être contrôlés comme l'ont été les apports en eaux usées par la construction du grand collecteur. Mais globalement, le lac subit le réchauffement de la planète et les apports par l'air et l'eau qui ne sont pas ou peu maîtrisables par les collectivités locales.

Le suivi de l'année 2008 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.

Seize campagnes ont été réalisées dans la zone de profondeur maximale du Grand Lac et du Petit Lac pour les analyses physico-chimiques et biologiques. Quelques

problèmes techniques ont fait que certains paramètres ne sont parfois disponibles que pour 15 ou 14 campagnes. La réalisation et le contrôle des mesures et des prélèvements ont été effectués par les 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.

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 2008 est une année climatologique globalement conforme à la moyenne. Les températures sont dans la moyenne des dix dernières années. Toutefois l'hiver a été très doux avec un très bon ensoleillement.

CHAPITRE I

ETUDES PHYSICO-CHIMIQUES

L'année 2008 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. L'étude des relevés de la sonde indique des écarts toujours inférieurs à 2 m par rapport à la profondeur théorique et une variabilité allant de 0 à 3 m. Ces écarts sont considérés comme acceptables pour la présente étude.

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 matières en suspension (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 2008 sont représentées sur le Tableau 1 et sur la Figure 1.

Tableau I. 1 : Résultats des mesures de transparence en mètre en 2008

	Grand Lac	Petit Lac
mardi 15 janvier 2008	10.3	4.8
mardi 19 février 2008	10.0	9.0
mercredi 26 mars 2008	10.2	8.4
mercredi 16 avril 2008	8.4	6.1
mercredi 14 mai 2008	9.6	8.9
mardi 3 juin 2008	6.0	7.3
mercredi 11 juin 2008	7.1	7.0
mardi 24 juin 2008	6.2	5.7
mardi 15 juillet 2008	6.1	5.7
jeudi 14 août 2008	6.0	5.3
mardi 26 août 2008	7.1	5.8
mercredi 17 septembre 2008	4.9	4.5
lundi 13 octobre 2008	6.2	5.7
mercredi 5 novembre 2008	9.3	8.3
jeudi 20 novembre 2008	8.2	9.6
mardi 9 décembre 2008	9.0	8.8
<i>Nombre</i>	16	16
<i>Moyenne</i>	7.8	6.9
<i>Minimum</i>	4.9	4.5
<i>Maximum</i>	10.3	9.6

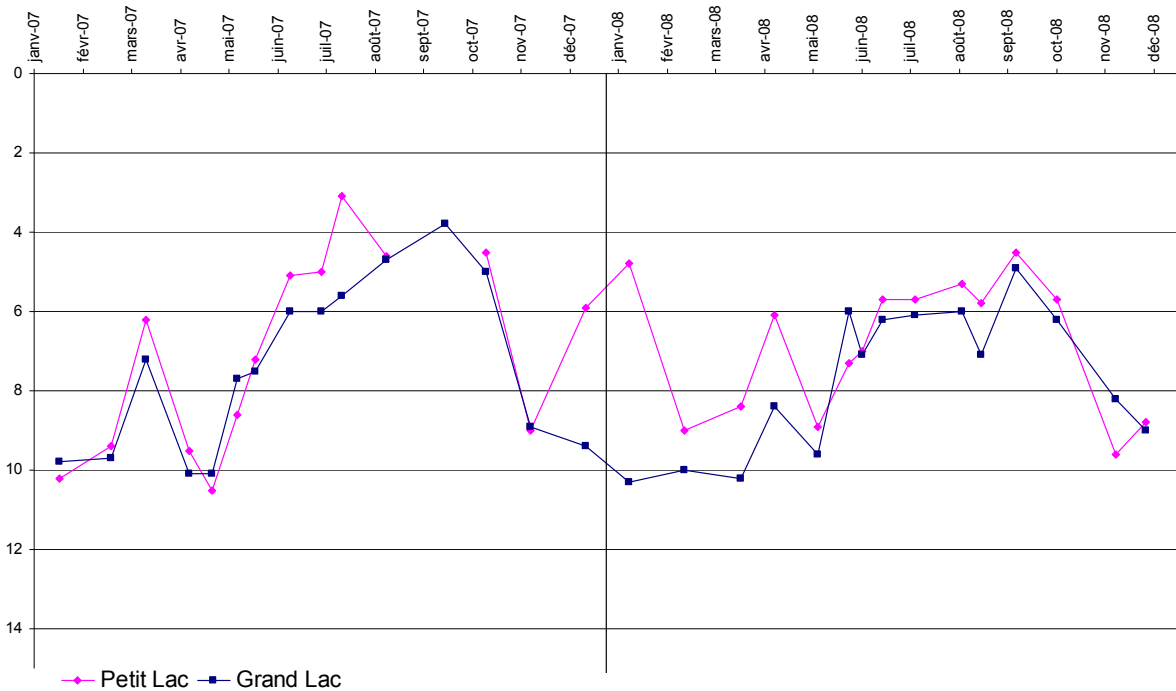


Figure I. 1 : Evolution de la transparence en mètres de 2007 à 2008

Les moyennes de transparence sont du même ordre de grandeur qu'en 2007. La transparence est importante et de l'ordre de 10 m durant l'hiver dans le Grand Lac. Elle diminue au mois d'avril avec le démarrage de l'activité phytoplanctonique des diatomées dans l'épilimnion¹. Lors de la campagne du 14 mai, la biomasse en phytoplancton diminue dans le Petit Lac, et entraîne l'augmentation de la transparence. Ensuite, la transparence diminue à nouveau jusqu'à juin, conjointement à l'activité phytoplanctonique. Puis elle reste stable aux alentours de 6 m jusqu'en octobre. En hiver la transparence augmente jusqu'à 9 m. La transparence du Petit Lac est plus assujettie aux apports du bassin versant que le Grand Lac. Durant la première quinzaine du mois de janvier 2008, la pluviométrie a entraîné des apports en particules du bassin versant, et donc une faible transparence (cf Annexe météo). Pour le reste de l'année, la transparence du Petit Lac est semblable à celle du Grand Lac.

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

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 et les minima lors des périodes de croissance algale sont réduits par rapport aux années précédentes. Cette tendance peut traduire l'oligotrophisation du lac avec la diminution des minima. Les maxima sont plus faibles car il semble que l'activité phytoplanctonique ralentisse moins en hiver.

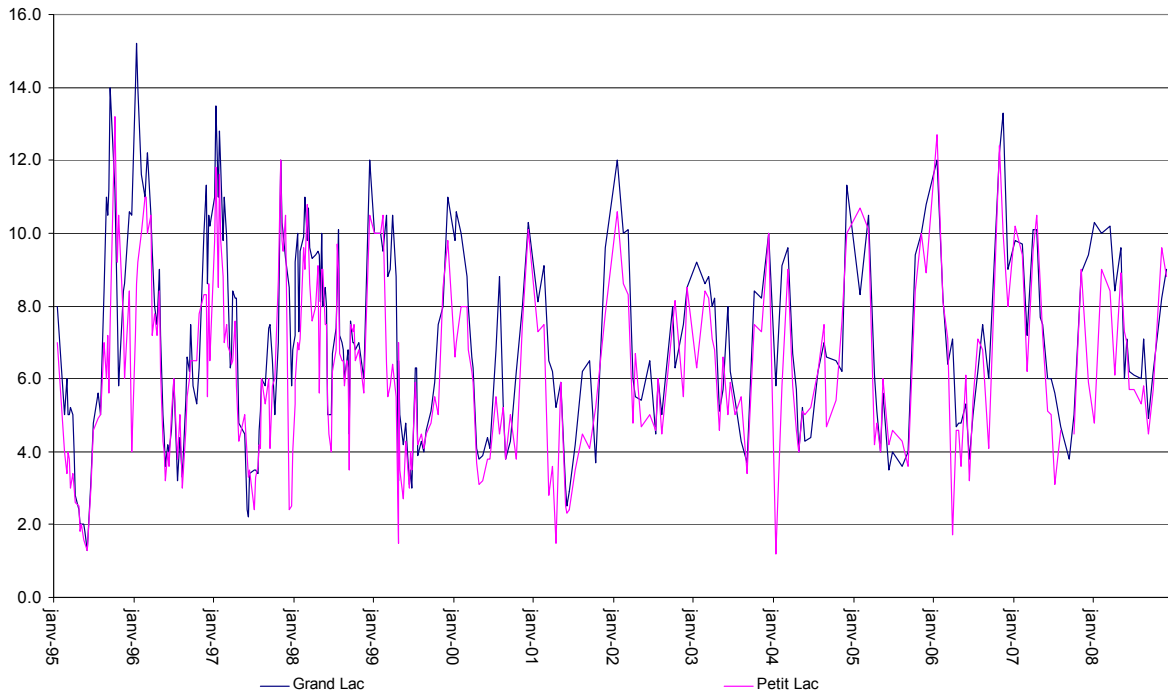


Figure I. 2 : Evolution de la transparence de 1995 à 2008

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 2008, l'homogénéisation thermique du lac est observée à partir de la campagne du 15 janvier. Le brassage commence alors et continue jusqu'à la campagne du 19 février avec une température de 5,8 °C tout le long de la colonne d'eau du Grand Lac. Cette longue période d'homogénéisation thermique a permis un brassage complet. La figure I.5 représente le profil de la sonde multiparamètre lors de cette campagne. La figure I.6 indique la température moyenne dans la colonne d'eau du grand lac lors de chaque brassage depuis 1996.

Lors de la campagne du 26 mars, la température en surface a déjà légèrement augmenté jusqu'à 6,1 °C. La dynamique thermique du lac d'Annecy est fortement influencée par les conditions climatiques, et ce jusqu'au fond du lac. Cela indique la faible inertie thermique du lac par rapport à des lacs plus grands comme le Léman. La température du brassage de 2008 est dans la moyenne de la chronique.

Le réchauffement des eaux superficielles et la stratification continuent du mois d'avril jusqu'au mois d'août avec un maximum dans le Grand Lac le 13 août de 22,1 °C, soit presque un degré de plus qu'en 2007. La stratification de la colonne d'eau apparaît dès le mois d'avril. L'épaisseur de l'épilimnion augmente au fur et à mesure de l'année en température et en profondeur pour atteindre au maximum 22,1 °C sur 9 mètres le 13 août. La stratification se maintient jusqu'en décembre pour atteindre 25 m le 9 décembre avec 8 °C.

Suivi du lac d'Annecy 2008

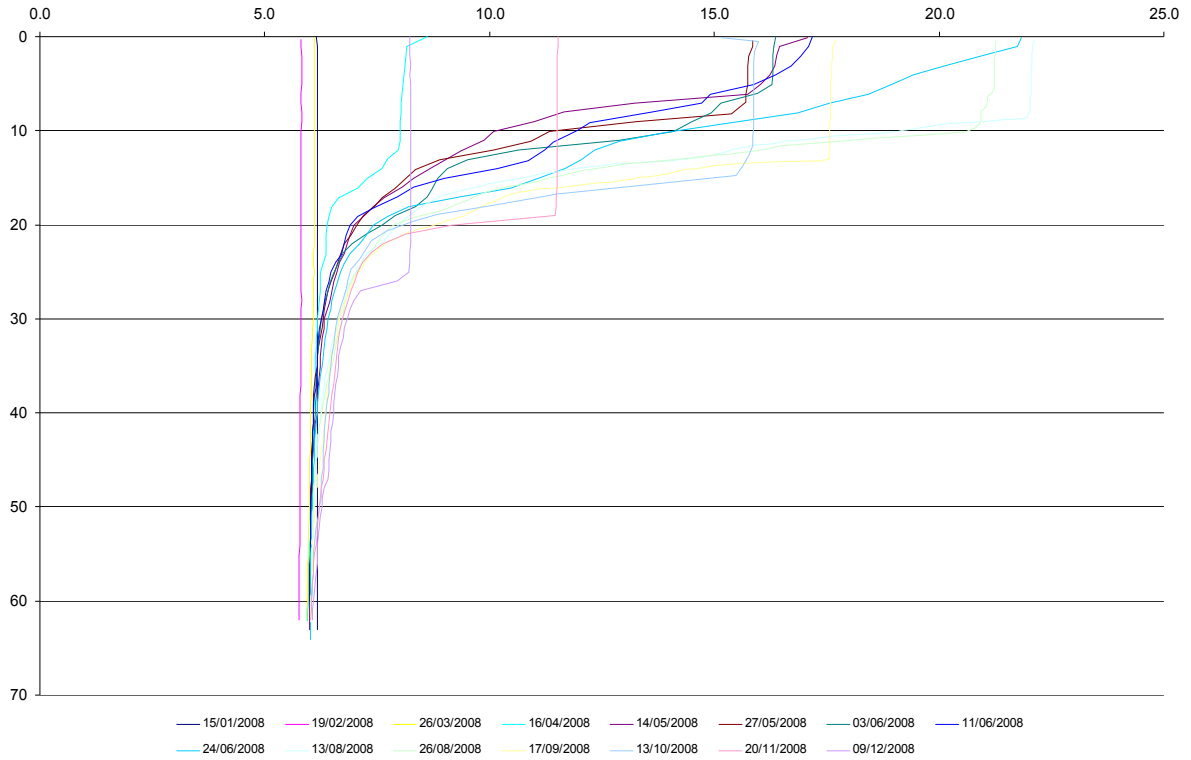


Figure I. 3 : Profils de température (°C) dans le Grand Lac en 2008

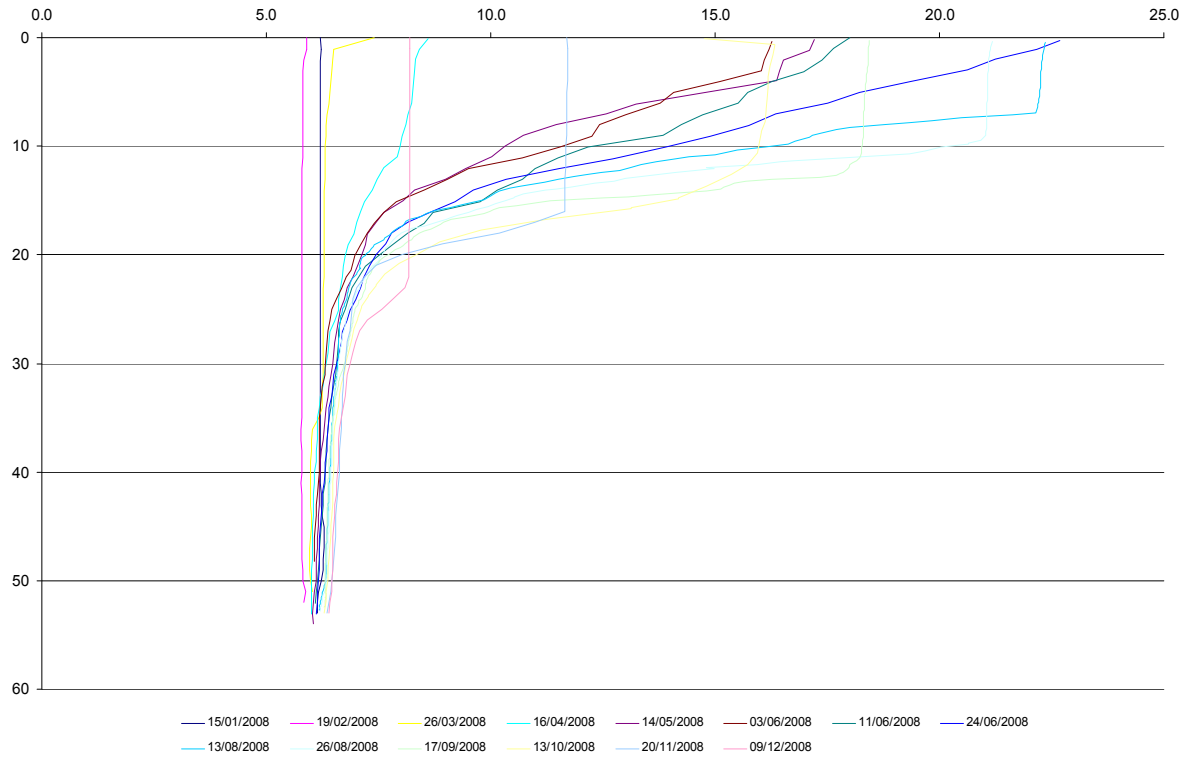


Figure I. 4 : Profils de température (°C) dans le Petit Lac en 2008

Suivi du lac d'Annecy 2008

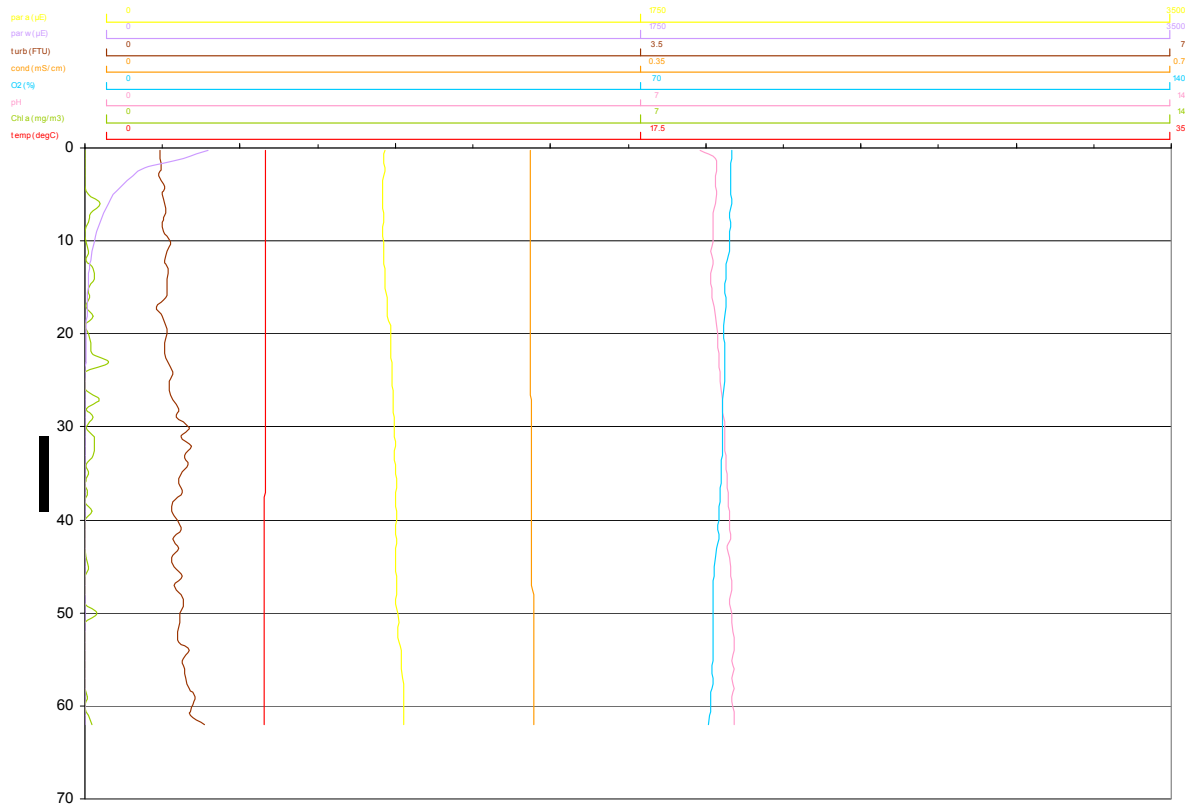


Figure I. 5 : Profil de sonde le 19 février 2008 après le brassage

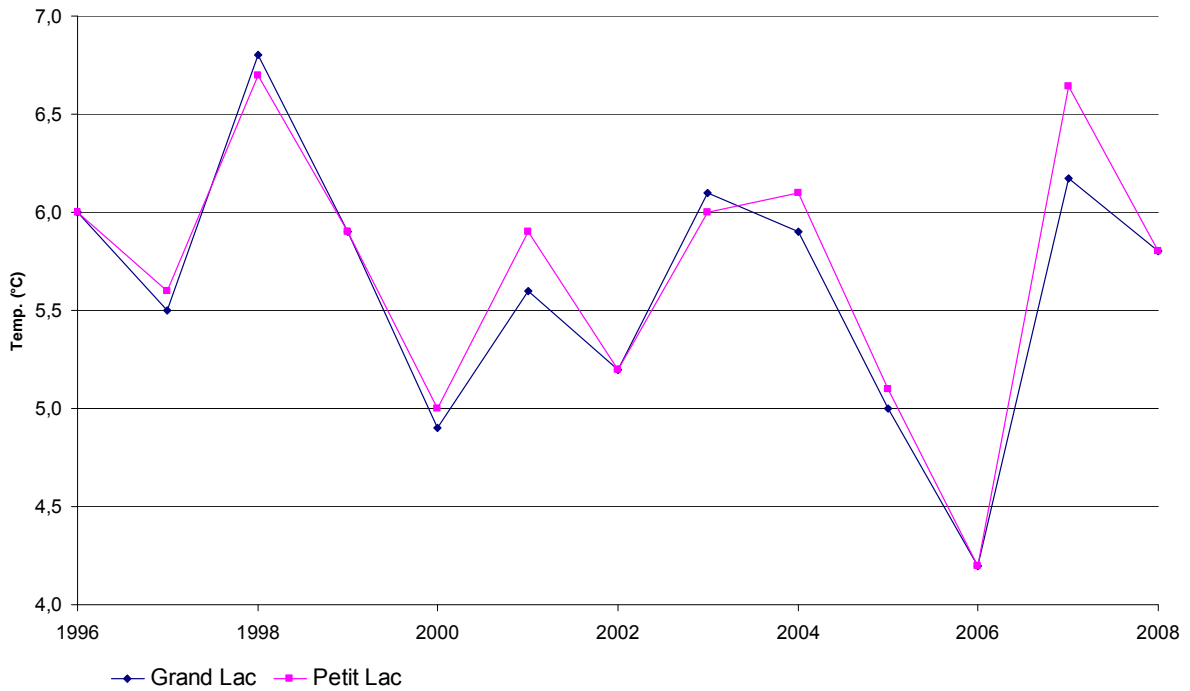


Figure I. 6 : Evolution de la température (°C) moyenne sur toute la hauteur d'eau au brassage du Grand Lac et du Petit Lac de 1996 à 2008

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 8,3 mgO₂/L dans le Grand Lac et 8,7 mgO₂/L dans le Petit Lac. La réoxygénation du fond du lac a débuté entre décembre et janvier comme l'indique la figure I.9. La réoxygénation du fond est observée au maximum lors du 19 février avec 9,7 et 9,5 mgO₂/L (78 % et 76 % de saturation en O₂) respectivement dans le Petit Lac et le Grand Lac. Dès la campagne suivante, la concentration en oxygène dissous du fond diminue. Les figures I.9 et I.10 mettent en évidence la différence de réoxygénation des eaux du fond par rapport à 2007 et depuis 1996. La réoxygénation du fond est semblable aux années avant 2007, année de faible brassage.

L'activité biologique de dégradation de la matière organique, associée à la forte stratification qui limite les échanges épilimnion-hypolimnion, entraîne la désoxygénation dans l'hypolimnion. Cette désoxygénation est perceptible à partir du 16 avril dans l'hypolimnion et se poursuit toute l'année pour atteindre une concentration inférieure à 1,0 mgO₂/L entre le 13 août et le 13 octobre, avec un minimum de 0,19 mgO₂/L (2 % de saturation en O₂) le 5 novembre au fond du Grand Lac.

² Toutes les valeurs citées dans ce rapport, hors données de profils, sont issues des analyses chimiques Winkler et non des données de la sonde qui sont moins précises en valeurs absolues.

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 l'effet de la désoxygénation du fond sur la charge interne (le relargage du phosphore total) et sur la réduction de l'azote est représentée sur la figure I.11. Cette figure indique des maxima en phosphore total et en azote ammoniacal en fin d'année limités par rapport aux années antérieures.

La concentration maximale de phosphore total au fond du Grand Lac est de 49 µgP/L le 11 juin. De la même manière, le maximum de concentration d'azote ammoniacal (forme réduite de l'azote nitrique) dans l'hypolimnion est de 196 µgN/L le 13 octobre dans le Grand Lac à 65 m. Dans le Petit Lac, le phosphore total ne dépasse pas 35 µgP/L et l'azote ammoniacal reste inférieur à 50 µgN/L toute l'année.

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 à partir de la campagne du 16 avril. 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). Le maximum de sursaturation en oxygène dissous est observé le 13 août à 15 m avec 13,6 mgO₂/L (130 % de saturation en O₂) dans le Grand Lac.

La production d'oxygène dissous produit par l'activité phytoplanctonique dans la couche euphotique dure une grande partie de l'année et est observable jusqu'à la campagne du 13 octobre avec une concentration encore importante à 15 m.

En conséquence de cette activité phytoplanctonique, la concentration en carbone organique total augmente à partir du 26 mars et plus significativement jusqu'à 15 m (Figure I.13). Le maximum atteint est de 2,2 mgC/L à 3 m le 17 septembre. Ces valeurs sont faibles par rapport aux années précédentes et indiquent une faible biomasse. La dynamique du carbone organique total est différente des années précédentes avec une diminution des concentrations en été.

Suivi du lac d'Annecy 2008

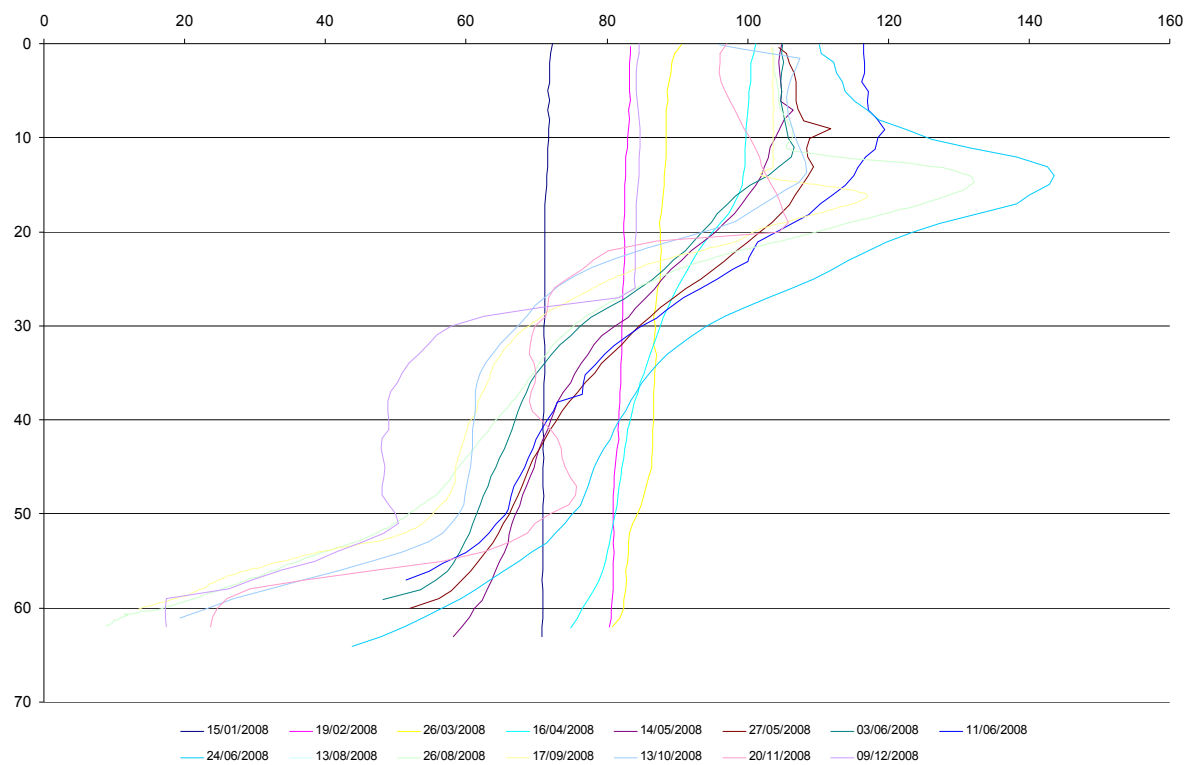


Figure I. 7 : Profil d'oxygène dissous (% de saturation en O₂) dans le Grand Lac en 2008

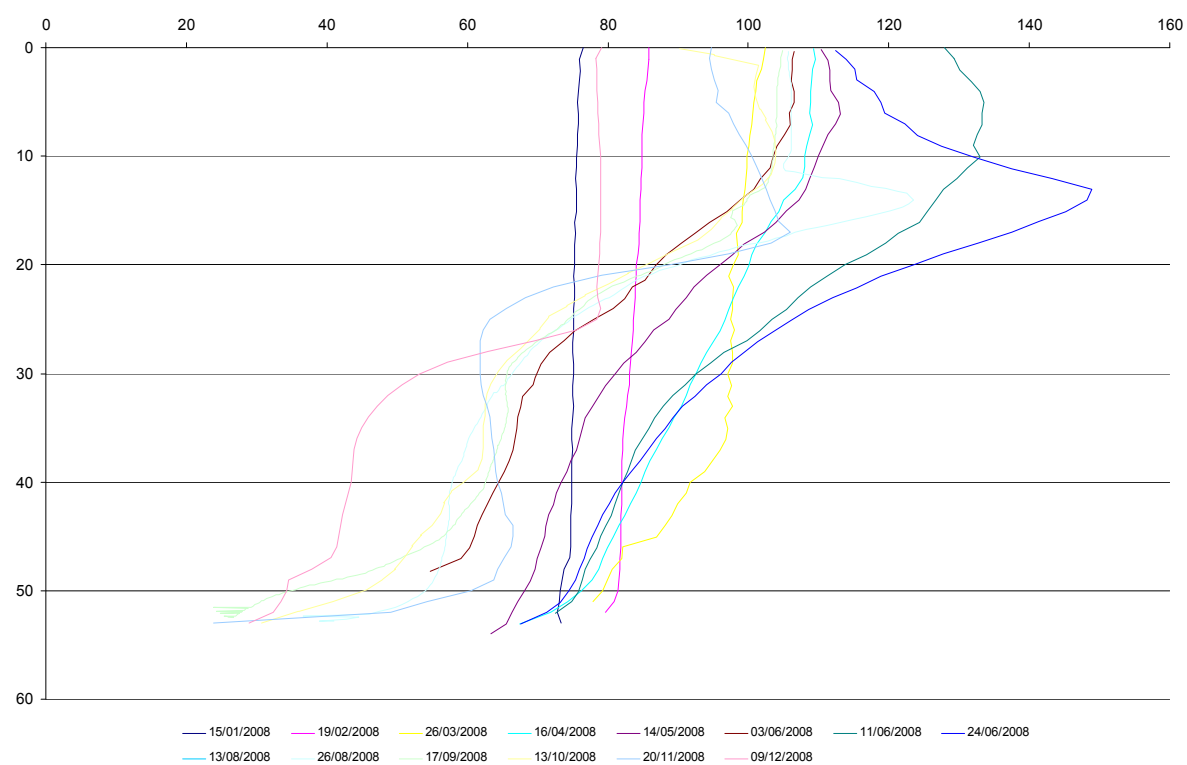


Figure I. 8 : Profils en oxygène dissous (% de saturation en O₂) dans le Petit Lac en 2008

Suivi du lac d'Annecy 2008

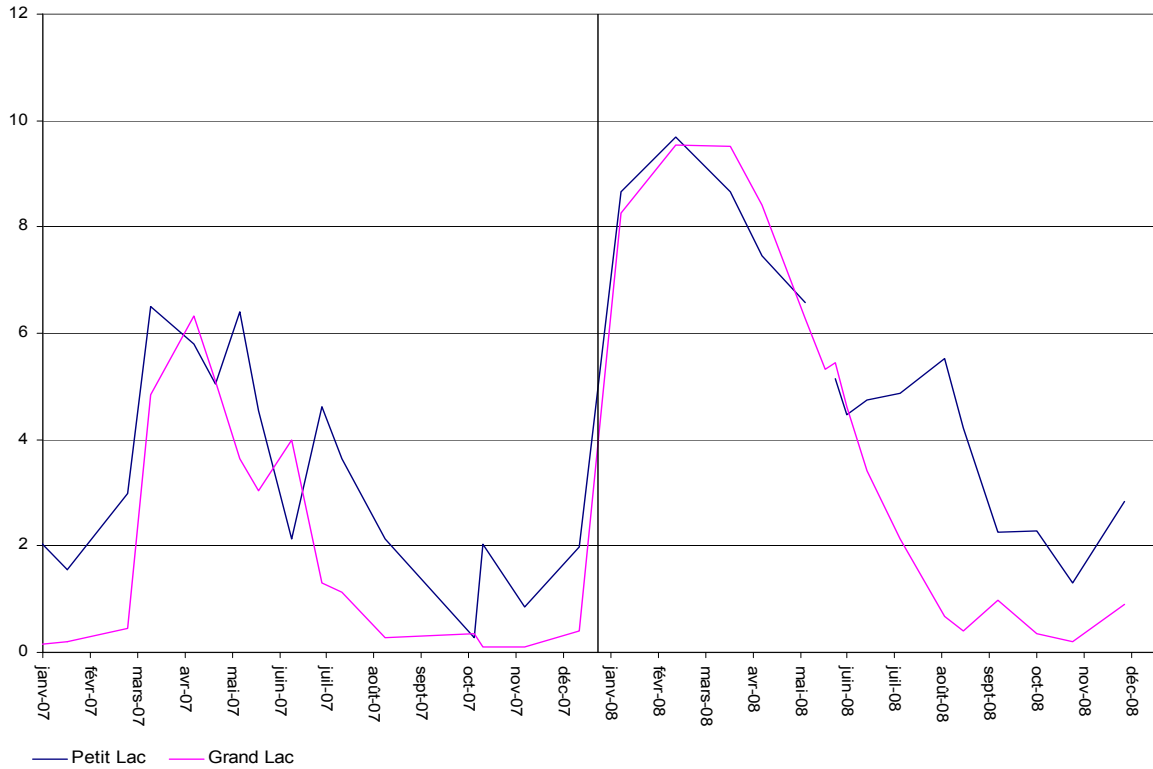


Figure I. 9 : Evolution de la concentration en oxygène dissous (mgO_2/L) au fond du Grand Lac et du Petit Lac en 2007 et 2008

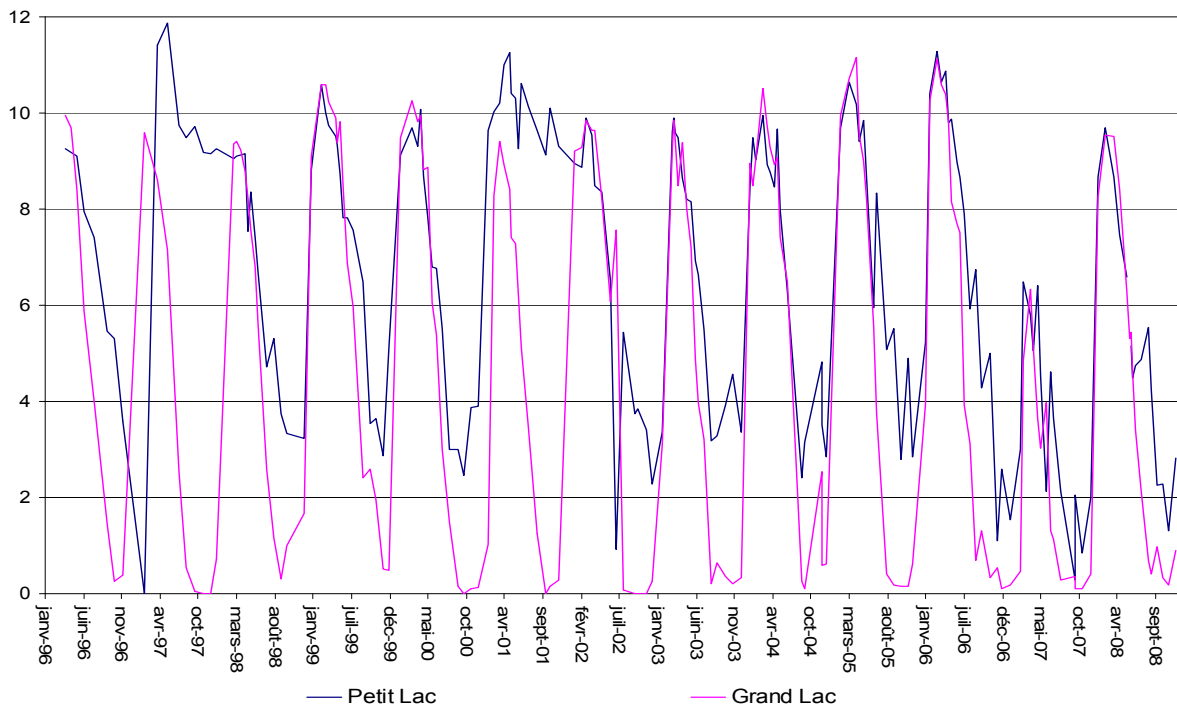


Figure I. 10 : Evolution de la concentration en oxygène dissous (mgO_2/L) au fond du Grand Lac et du Petit Lac de 1996 à 2008

Suivi du lac d'Annecy 2008

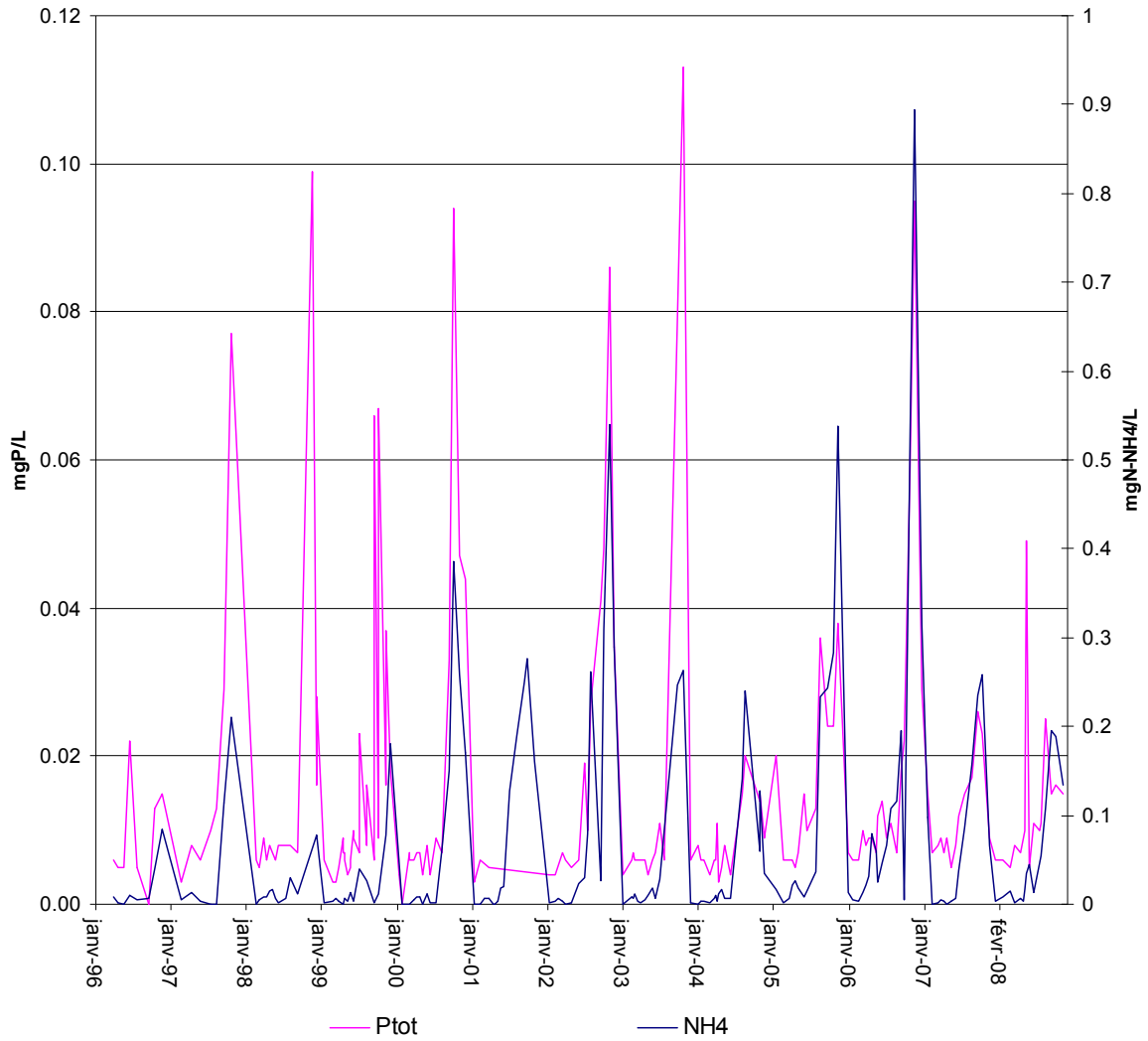


Figure I. 11 : Evolution de l'azote ammoniacal et du phosphore total au fond du Grand Lac de 1996 à 2008

Suivi du lac d'Annecy 2008

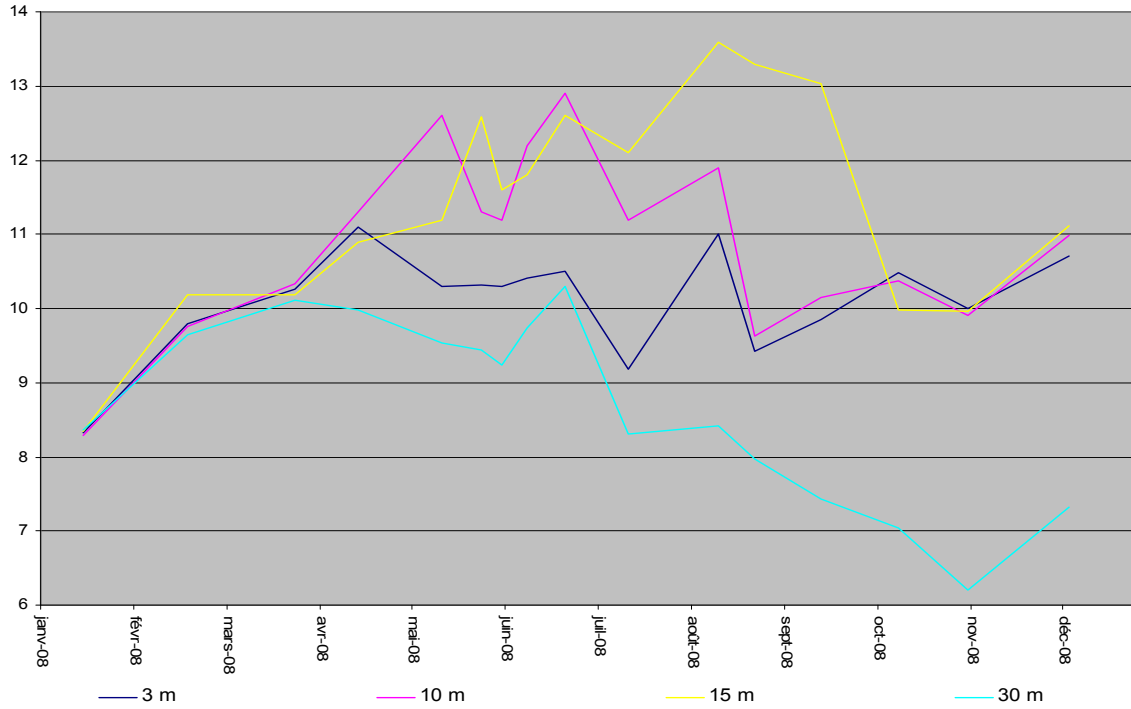


Figure I. 12 : Evolution de la concentration en oxygène dissous en mgO₂/L aux profondeurs 3 m, 10 m, 15 m et 30 m dans le Grand Lac en 2008

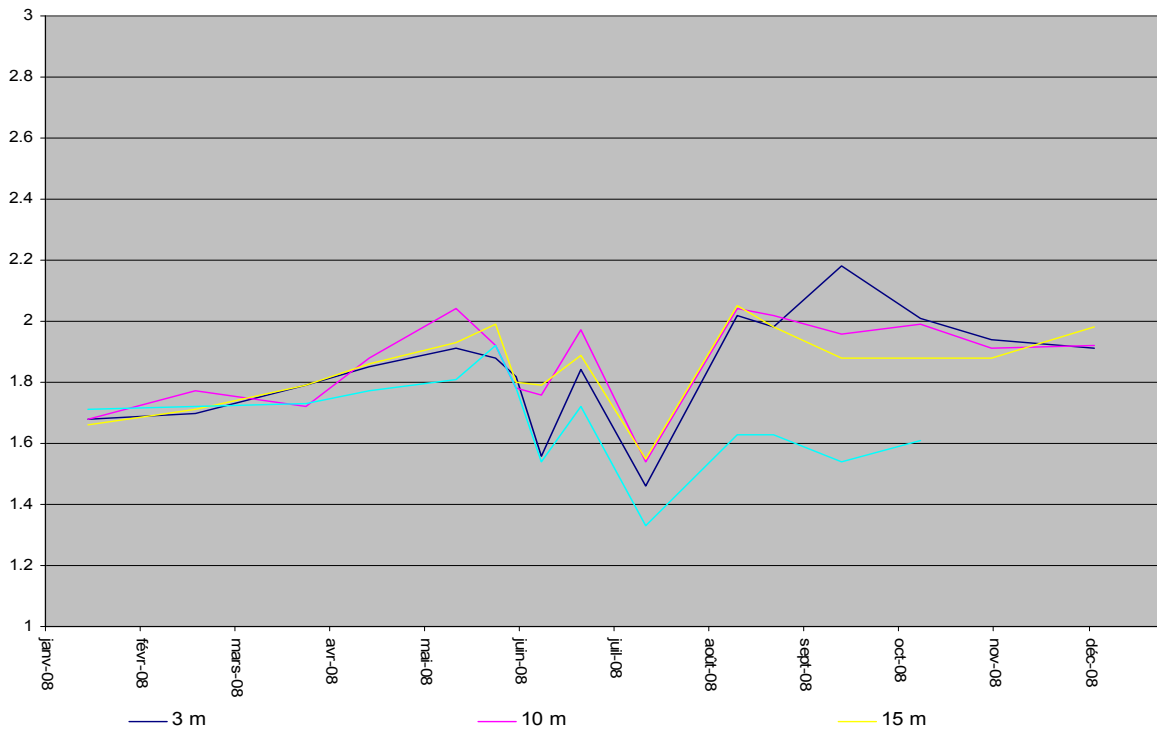


Figure I. 13 : Evolution de la concentration en carbone organique total en mgC/L aux profondeurs 3 m, 10 m, 15 m et 30 m dans le Grand Lac en 2008

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 2008.

Le brassage complet du mois de février a permis une bonne homogénéisation de la colonne d'eau et une redistribution des sels depuis le fond. La conductivité est homogène le long de la colonne d'eau à partir du mois de février jusqu'au mois d'avril avec 0,29 mS/cm dans le Grand Lac. A partir du mois de mai, la conductivité diminue en surface au fur et à mesure de la stratification thermique et augmente au fond.

La diminution de la conductivité en surface est due à l'activité photosynthétique. 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. Le minimum atteint cette année est 0,25 mS/cm. Il est observé lors de plusieurs campagnes : les campagnes du 13 et 26 août jusqu'à 9 et 10 m puis lors de la campagne du 13 octobre jusqu'à 13 m. Ces minima sont plus élevés que les années précédentes.

L'augmentation dans l'hypolimnion profond est la conséquence de la minéralisation de la matière organique par l'activité bactérienne et de la désoxygénation, qui entraîne le relargage de plusieurs sels dont des sels de fer. Cette augmentation dans l'hypolimnion continue tout au long de l'année pour atteindre un maximum au mois de novembre.

Suivi du lac d'Annecy 2008

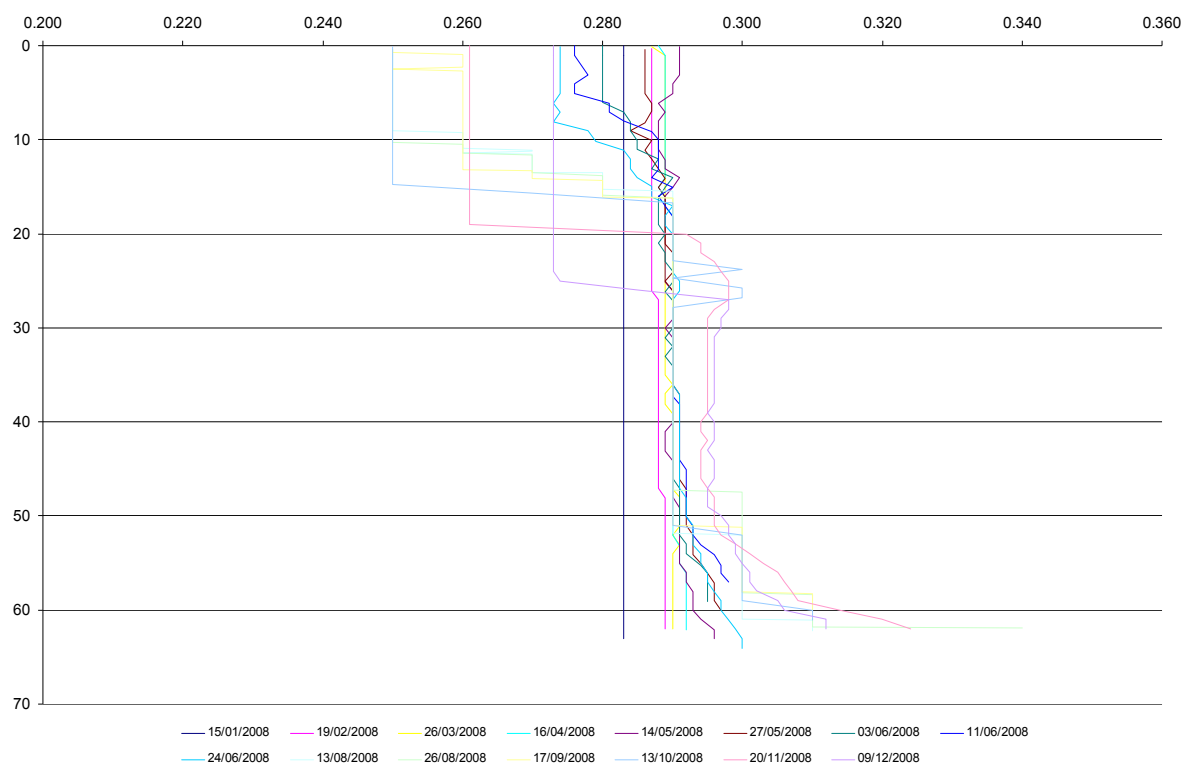


Figure I. 14 : Profils de conductivité (mS/cm) dans le Grand Lac en 2008

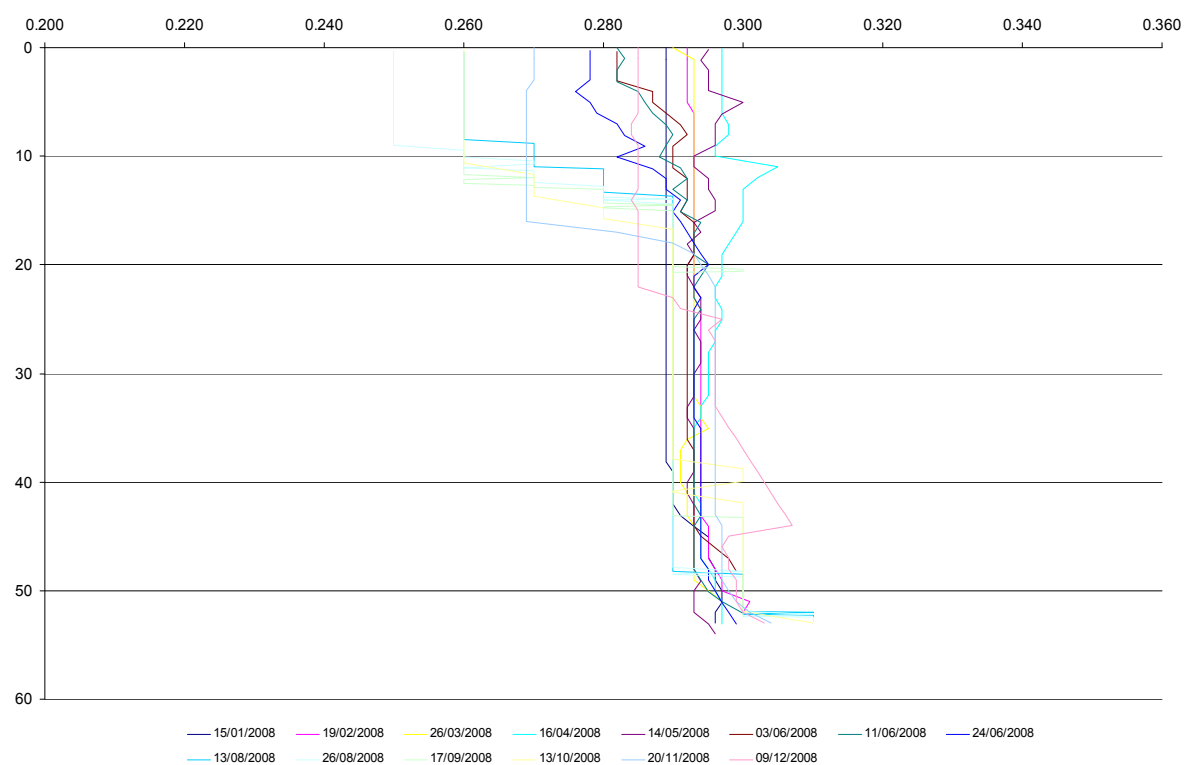


Figure I. 15 : Profil de conductivité (mS/cm) dans le Petit Lac en 2008

I.5. TURBIDITE

La turbidité est la mesure de la transmission de la lumière à 90° d'un 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 2008.

Les pics de turbidité dans l'épilimnion indiquent la présence de phytoplancton, et plus particulièrement du nanoplancton, comme on peut l'observer au mois de juin dans le Grand Lac. Les maxima sont de 2,8 FTU à 7 m le 11 juin et de 3,8 FTU à 11 m le 24 juin dans le Grand Lac. Ces valeurs sont beaucoup plus faibles que les années précédentes (4,7 FTU dans le Grand Lac en juin 2007 et 6,5 FTU en juin 2006).

Le Petit Lac présente un pic de turbidité de 14,8 FTU à 14 m lors de la campagne du 17 septembre. La présence d'une diatomée benthique a pu entraîner cette turbidité.

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 2008

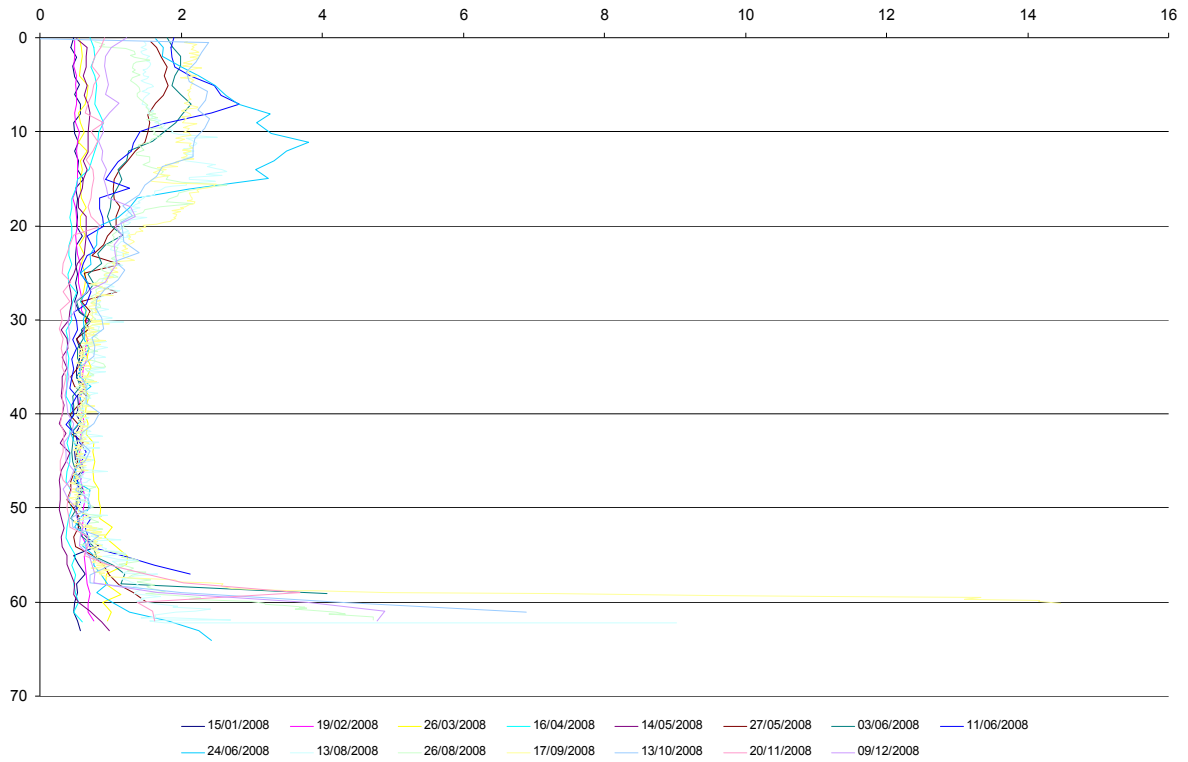


Figure I. 16 : Profils de turbidité (FTU) dans le Grand Lac en 2008

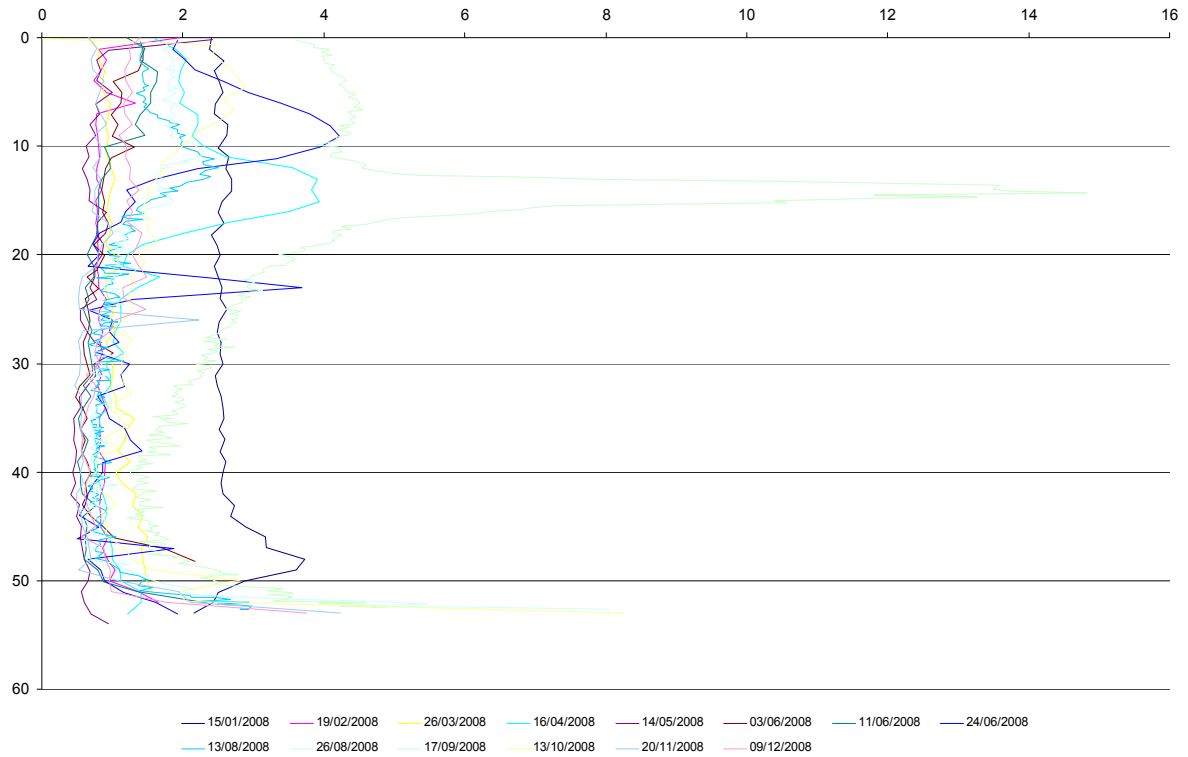


Figure I. 17 : Profils de turbidité (FTU) dans le Petit Lac en 2008

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, l'azote total (minéral + organique), l'azote ammoniacal (NH_4^+) et l'azote nitrique (NO_3^-) sont analysés. L'azote organique est évalué par différence entre l'azote total et l'azote minéral ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$).

Durant l'hiver, le stock de nutriments a été remis à disposition sur l'ensemble de la colonne d'eau. La concentration en azote nitrique, nutriment azoté principal, est homogène dans la colonne d'eau le 19 février avec une concentration entre 0,26 et 0,25 mgN/L dans le Grand Lac et entre 0,27 et 0,28 mgN/L dans le Petit Lac. Ces concentrations sont équivalentes aux années précédentes, le stock ne varie pas significativement. L'azote nitrique est consommé de manière visible à partir de la campagne du 14 mai dans l'épilimnion jusqu'à 15 m comme nous le constatons sur la figure I.18, soit plus tardivement que les années précédentes. Les valeurs minimales atteintes sont de l'ordre de 0,10 mgN/L observées à partir du mois d'août jusqu'au mois d'octobre jusqu'à 10 m. Ces valeurs minimales sont beaucoup plus importantes que les années précédentes (0,01 à 0,03 mgN/L de la surface à 15m en octobre 2007). Cela tend à indiquer une consommation plus faible des nutriments.

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 3 m dans le Grand Lac le 14 août avec 11 $\mu\text{gN/L}$, soit une valeur faible par rapport aux années précédentes. Le reste de l'année l'azote ammoniacal se maintient à des concentrations faibles dans l'épilimnion.

Dans l'hypolimnion, l'azote ammoniacal est formé par les conditions réductrices, ainsi de manière continue à partir du mois de juin, la concentration en azote ammoniacal augmente au fond du Grand Lac pour atteindre un maximum de 196 $\mu\text{gN/L}$ le 13 octobre (cf parag. I.3).

Suivi du lac d'Annecy 2008

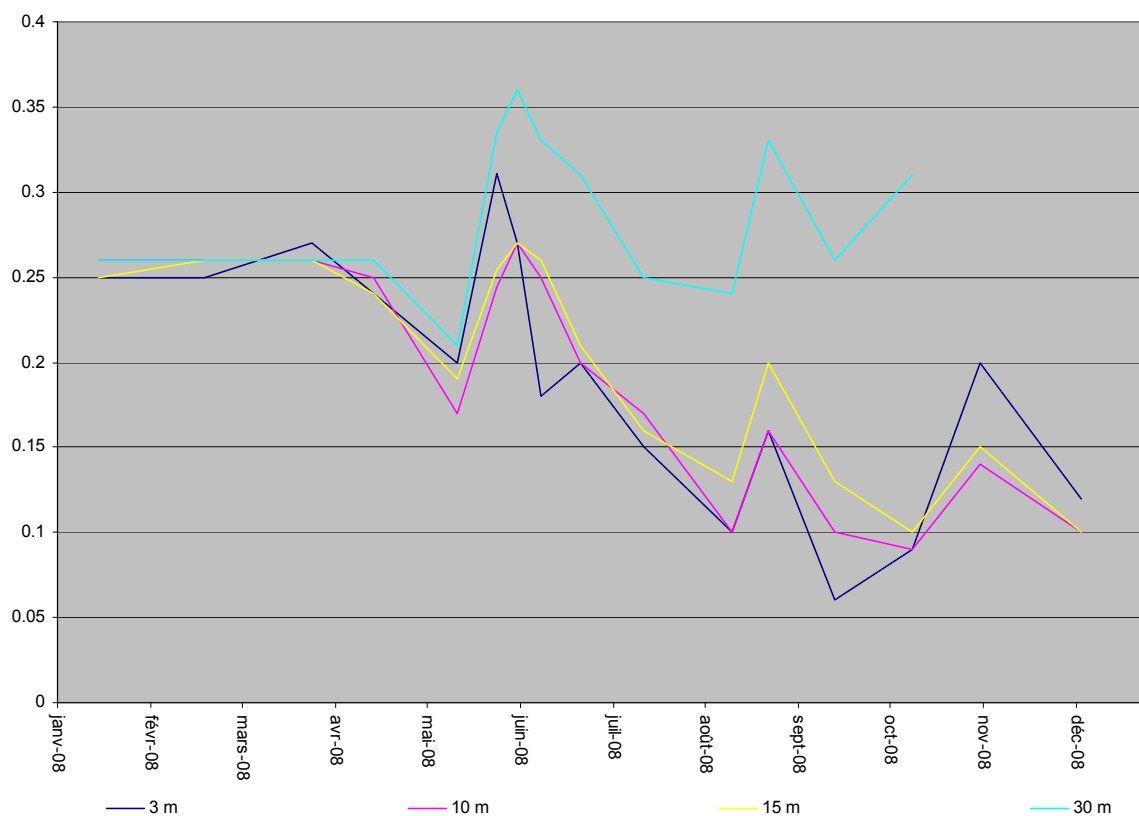


Figure I. 18 : Evolution de la concentration en azote nitrique en mgN/L aux profondeurs 3 m, 10 m, 15 m et 30 m dans le Grand Lac en 2008

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 5,7 $\mu\text{gP/L}$ en phosphore total et 1,0 $\mu\text{gP/L}$ en orthophosphate dans le Grand Lac et 7,8 $\mu\text{gP/L}$ et 1,0 $\mu\text{gP/L}$ respectivement dans le Petit Lac. Les concentrations en orthophosphate restent faibles toute l'année (Figure I.19).

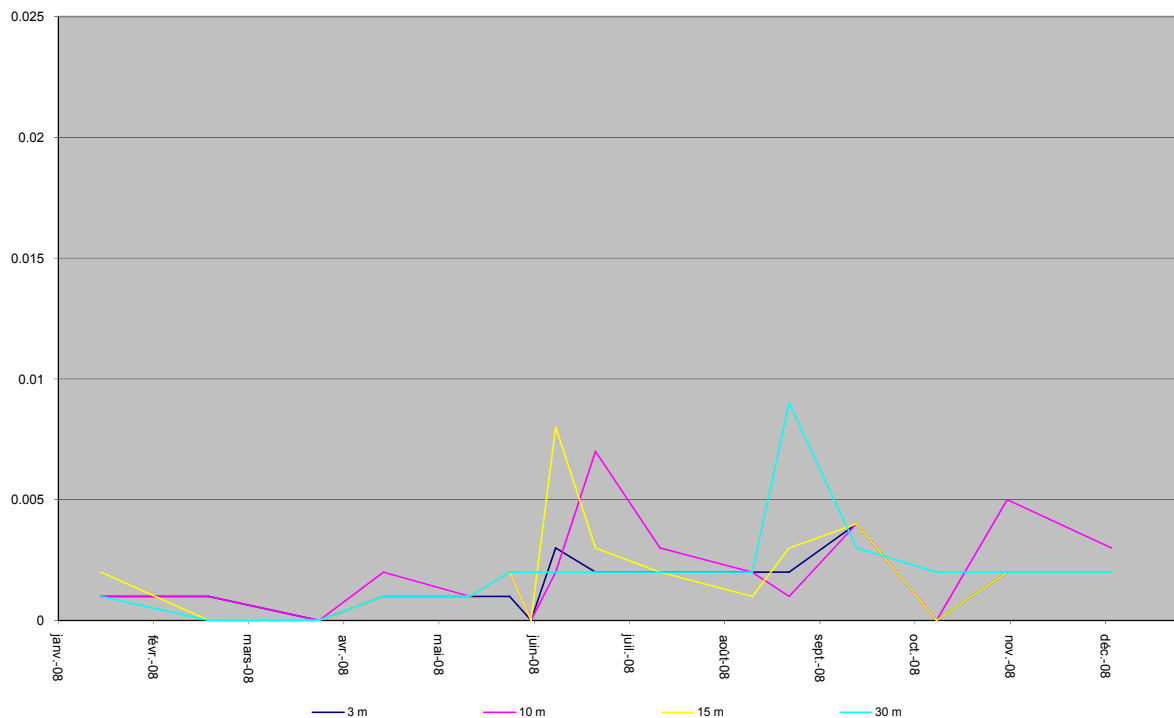


Figure I. 19 : Evolution de la concentration en orthophosphate en mgP/L aux profondeurs 3 m, 10 m, 15 m et 30 m dans le Grand Lac en 2008

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, cependant ce rapport n'explique pas la dynamique détaillée du phytoplancton. 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 2008. 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
mardi 15 janvier 2008	193	211
mardi 19 février 2008	394	278
mercredi 26 mars 2008	-	421
mercredi 16 avril 2008	184	134
mercredi 14 mai 2008	190	122
mardi 3 juin 2008	-	448
mercredi 11 juin 2008	54	102
mardi 24 juin 2008	51	76
mardi 15 juillet 2008	21	64
jeudi 13 août 2008	70	43
mardi 26 août 2008	88	54
mercredi 17 septembre 2008	26	6
lundi 13 octobre 2008	-	40
mercredi 5 novembre 2008	57	80
mardi 9 décembre 2008	47	73

Le rapport azote minéral/orthophosphate présente une dynamique corrélée à l'activité phytoplanctonique : il est élevé lors des périodes de faible production et diminue lors des productions importantes. Ce tableau indique que le rapport $[\text{Nmin}]/[\text{PO}_4]$ est toujours supérieur à 7, mise à part la valeur du 17 septembre dans le Petit Lac. Le phosphore est toujours le facteur limitant de la production photosynthétique.

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 2008 des concentrations moyennes des formes de l'azote et du phosphore dans la couche euphotique du Grand Lac (3 m, 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. La dynamique annuelle de l'azote nitrique dans la couche euphotique indique une concentration qui reste importante plus tardivement que dans les années 1990. Cela tend à indiquer une consommation plus faible par l'activité biologique.

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 2008

		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
fév-08	Petit Lac	1,0	7,8
	Grand Lac	0,3	5,7
Moyenne 1991 – 2008	Petit Lac	2,6	7,2
	Grand Lac	2,1	5,8

Suivi du lac d'Annecy 2008

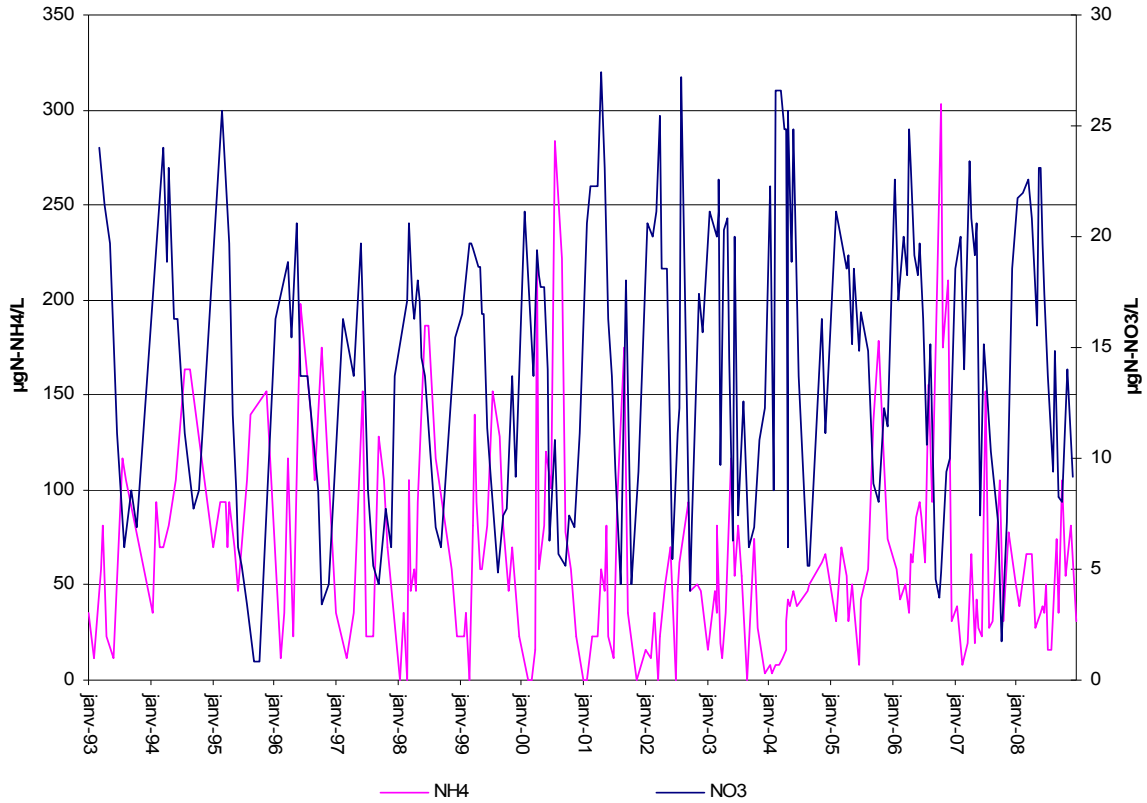


Figure I. 20 : Evolution des formes de l'azote ($\mu\text{gN/L}$) de 1993 à 2008 en moyenne dans la couche euphotique du Grand Lac

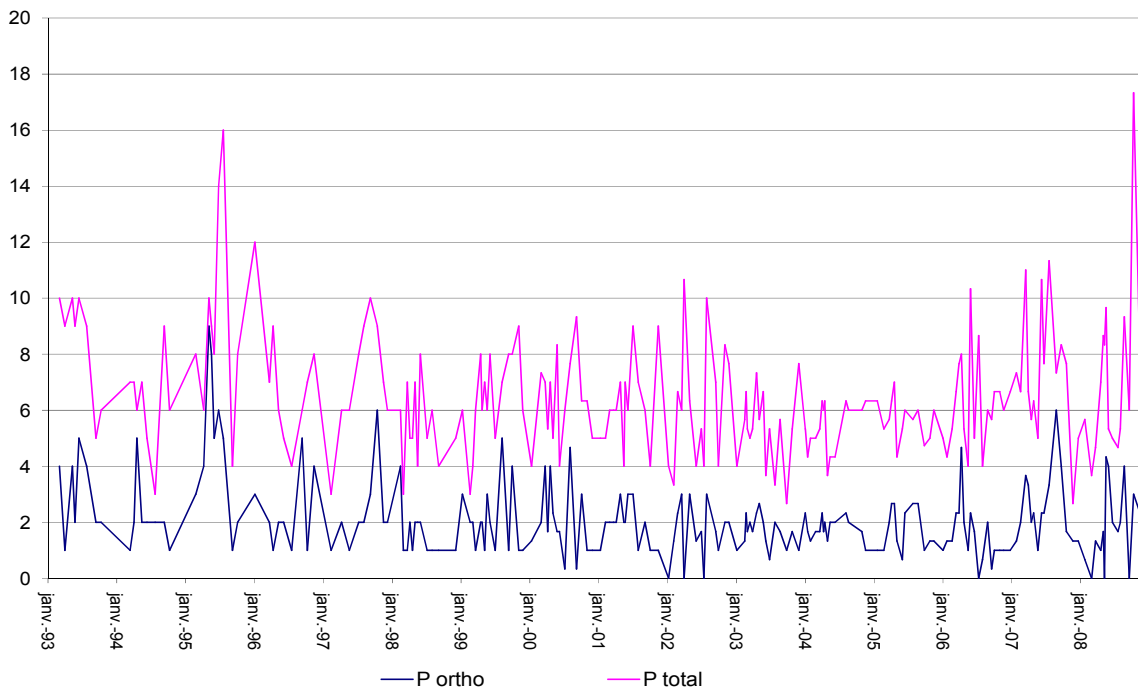


Figure I. 21 : Evolution des formes du phosphore ($\mu\text{gP/L}$) de 1993 à 2008 en moyenne dans la couche euphotique du Grand Lac

Suivi du lac d'Annecy 2008

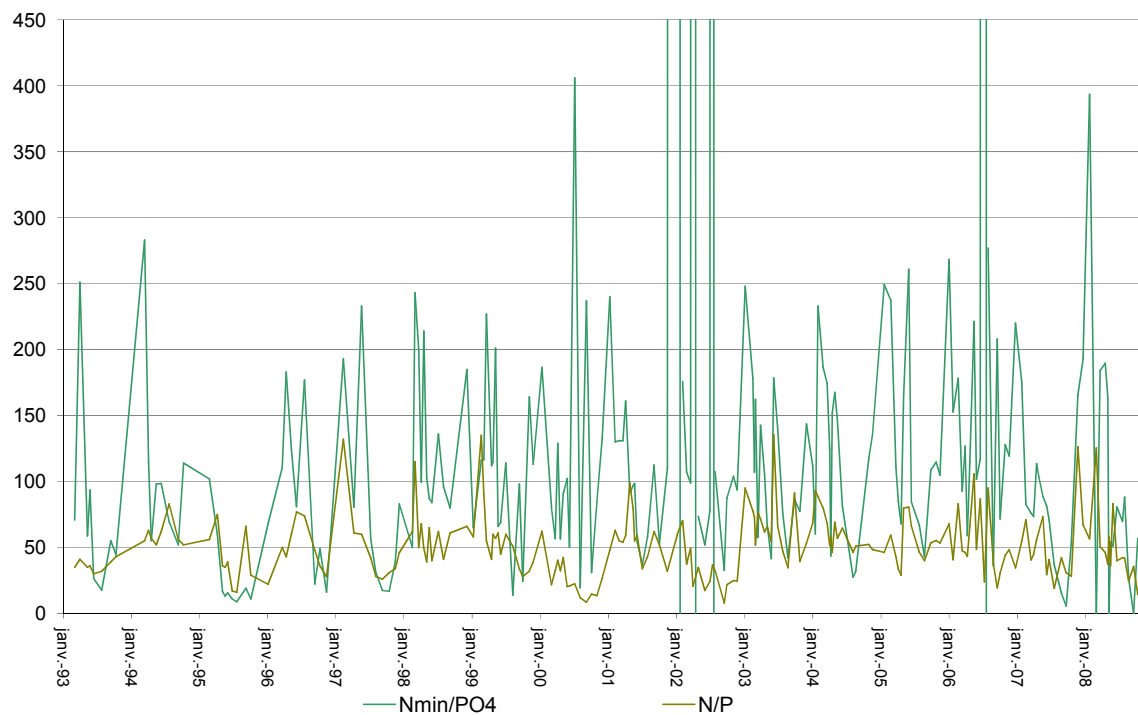


Figure I. 22 : Evolution du rapport azote/phosphore de 1993 à 2008 en moyenne dans la couche euphotique du Grand Lac

I.10. SILICE

La silice est un nutriment essentiel des diatomées qui l'utilisent pour la construction de leurs frustules.

De la même manière que pour les autres nutriments, le brassage hivernal a remis à disposition le stock de silice réactive pour l'année 2008. La concentration moyenne observée après le brassage est de 3,5 mgSiO₂/L. Cette valeur est du même ordre de grandeur que les années précédentes. La consommation en silice réactive est visible à partir du mois d'avril dès le début de la stratification de la surface jusqu'à 15 m et continue jusqu'en novembre (Figure I.23). Le minimum est donc atteint le 15 novembre à 15 m avec 1,5 mgSiO₂/L dans le Grand Lac. Cette consommation est relativement faible par rapport aux années précédentes. La biomasse de diatomées en 2008 a été la plus faible depuis 1996.

Dans l'hypolimnion, les frustules des diatomées sédimentées se dissolvent. 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 13,2 mgSiO₂/L dans le Grand Lac et 7,64 mgSiO₂/L dans le Petit Lac le 13 octobre.

Suivi du lac d'Annecy 2008

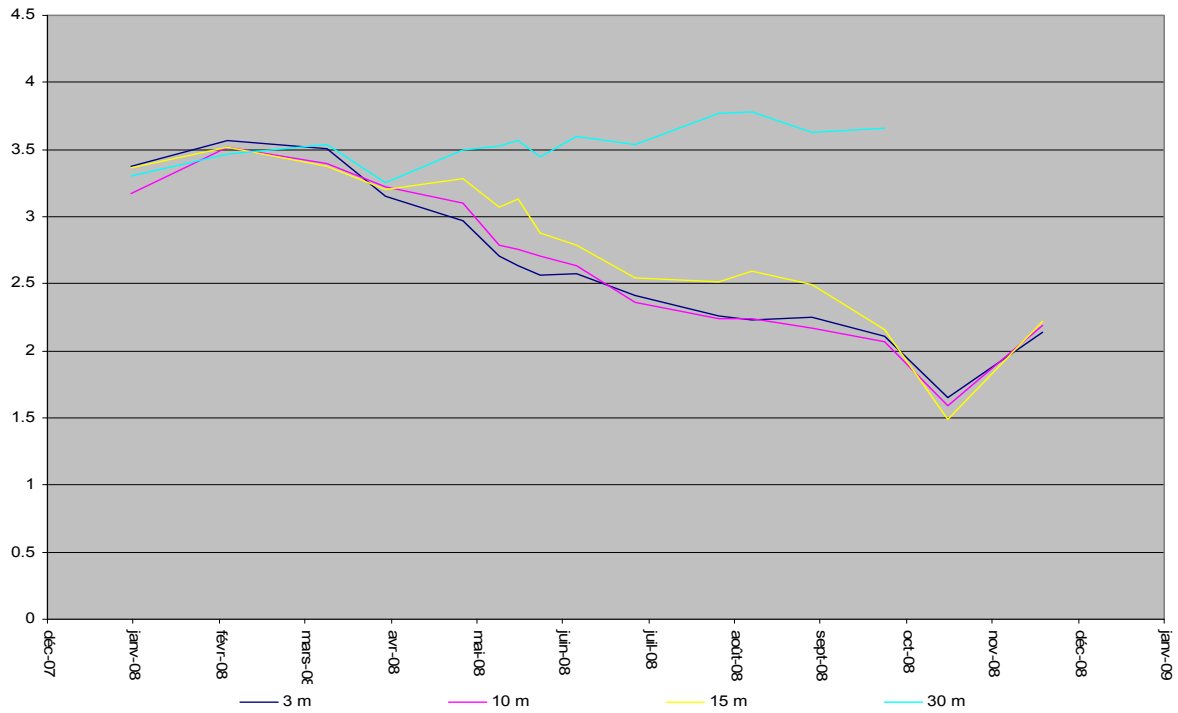


Figure I. 23 : Evolution de la concentration en silice réactive en mgSiO_2/L aux profondeurs 3 m, 10 m, 15 m et 30 m dans le Grand Lac en 2008

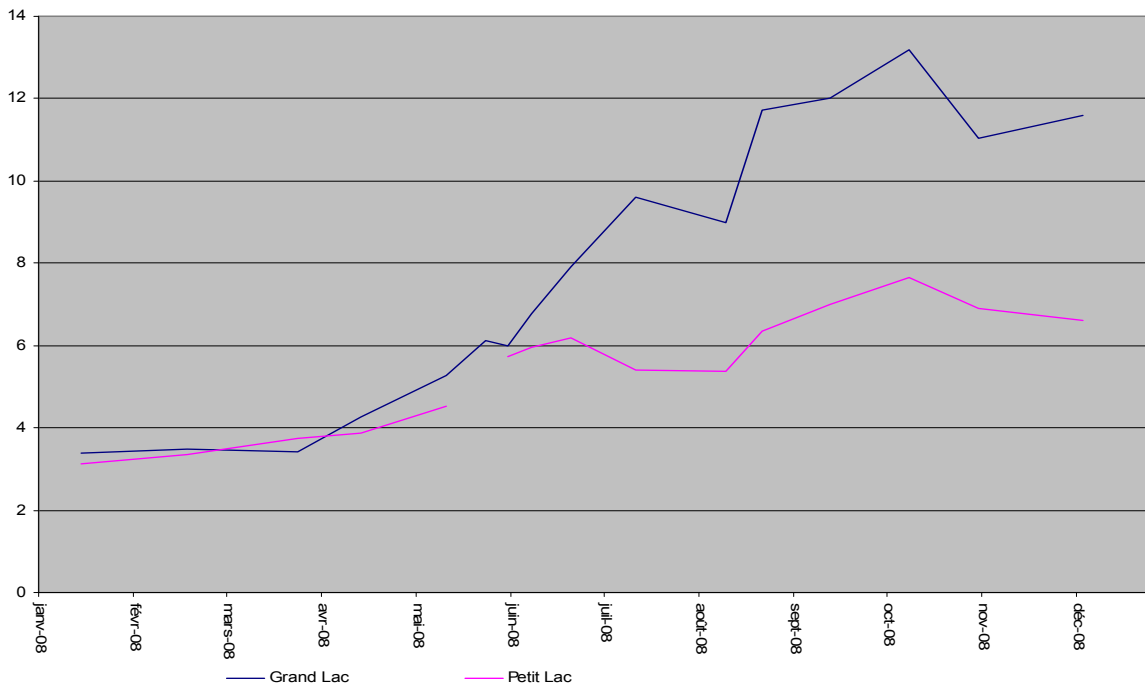


Figure I. 24 : Evolution de la concentration en silice réactive (mgSiO_2/L) au fond du Grand Lac et du Petit Lac en 2008

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 2008 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 2008, mis à part le calcium qui augmente légèrement depuis 2005, comme on l'observe sur la figure I.25.

Tableau I. 4 : Stocks des cations et anions majeurs de 2003 à 2008

		Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4
2003	Stock GL en tonnes	53065	4624	2881	730	4288	7882
	Stock GL en mg/L	47.07	4.01	2.56	0.65	3.80	6.99
2004	Stock GL en tonnes	53453	4509	2841	850	4466	8050
	Stock GL en mg/L	47.41	4.00	2.52	0.75	3.96	7.14
2005	Stock GL en tonnes	51619	4637	2985	806	4975	8276
	Stock GL en mg/L	45.78	4.11	2.65	0.72	4.41	7.34
2006	Stock GL en tonnes	53467	4618	3289	891	5192	8218
	Stock GL en mg/L	47.42	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	49.69	3.53	2.85	0.73	4.51	7.18
2008	Stock GL en tonnes	58933	4506	3383	846	5235	8685
	Stock GL en mg/L	52.27	4.00	3.00	0.75	4.64	7.70

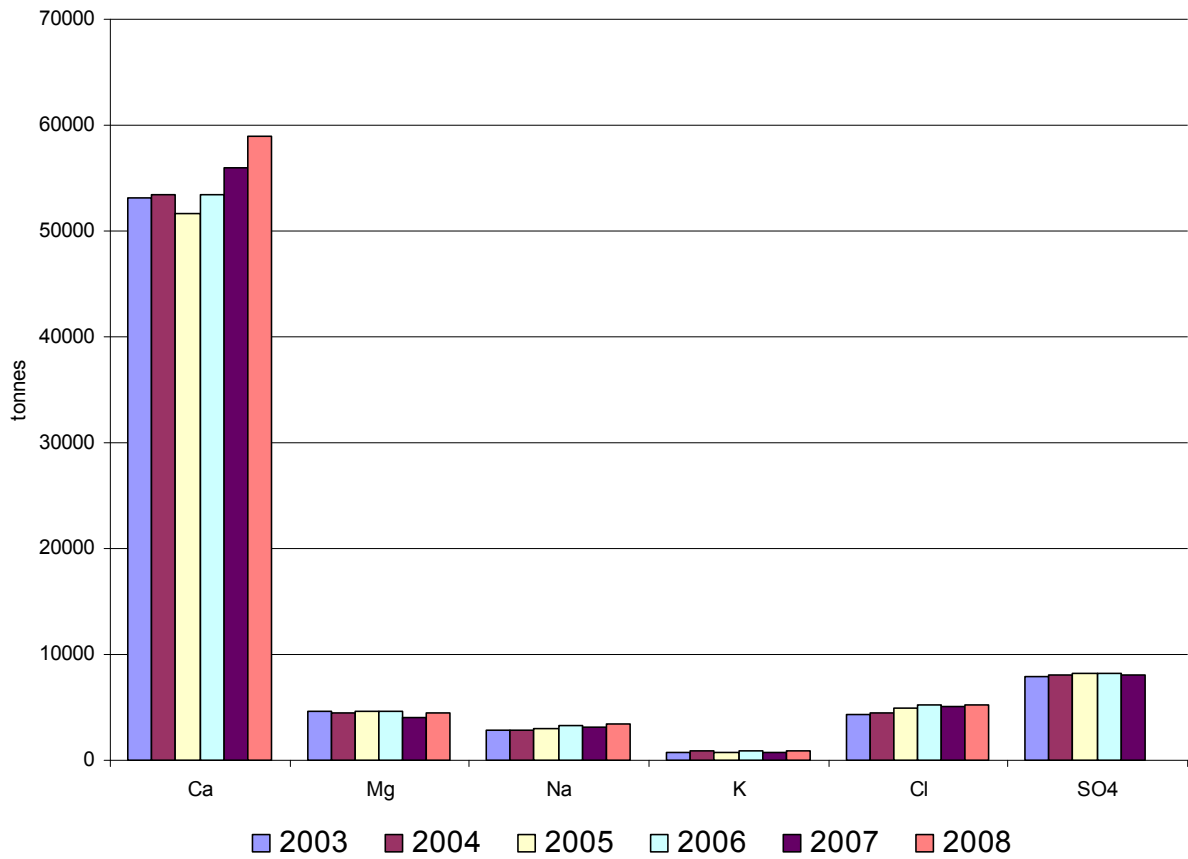


Figure I. 25 : Evolution interannuelle des stocks de calcium, magnésium, sodium, potassium, chlorure et sulfate de 2003 à 2008

I.12. CONCLUSION

L'hiver 2007-2008 a permis un brassage complet avec une bonne réoxygénation des eaux profondes et une redistribution des nutriments à partir du fond. La stratification thermique apparaît à partir du mois d'avril. La consommation des nutriments par l'activité phytoplanctonique est aussi visible de la surface à 15 m à partir du mois d'avril. Cette activité phytoplanctonique entraîne la sursaturation en oxygène dissous, avec un maximum en août.

Les consommations en nutriments et la sursaturation en oxygène dissous sont plus faibles que les années précédentes et semblent indiquer une activité phytoplanctonique plus faible.

La désoxygénation de l'hypolimnion est visible à partir du mois d'avril et continue jusqu'en octobre, cela entraîne des conditions fortement réductrices au fond du lac. Ce phénomène entraîne le relargage du phosphore, cependant les concentrations de phosphore observées sont similaires à 2007 et faibles par rapport à la chronique. Les stocks en ions majeurs du lac restent relativement constants et traduisent la stabilité géochimique des apports du bassin versant.

BIBLIOGRAPHIE

- ANNEVILLE O., GINOT V., DRUART J.-C. et ANGELI N., 2002. Long-term study (1974-1998) of seasonal changes in the phytoplankton in Lake Geneva: a multi-table approach. *Journal of Plankton Research*, 24, 993-1007.
- BALVAY, G. & DRUART, J.C., 1992. Le plancton du lac d'Annecy : Historique et inventaire. *Archs. Sci. Genève* 45 (2) : 135 -169.
- BALVAY, G; BLANC, P. et DRUART, J.C. 1998. Suivi de la qualité des eaux du lac d'Annecy. Syndicat intercommunal du lac d'Annecy: 1-64 +2 annexes.
- DRUART, J.C. & PELLETIER J.P., 1998. Variation de l'état trophique du lac d'Annecy (Haute-Savoie, France) d'après l'analyse des diatomées et des pigments algaux dans quelques carottages. *Arch. Sci. Genève*, 51(3): 325-333.
- ESCOUFIER Y., 1973. Le traitement des variables vectorielles. *Biometrics*, 29, 750-760.
- LAVIT C., ESCOUFIER Y., SABATIER R. et TRAISSAC P., 1994. The ACT (STATIS method). *Comput. Stat. Data Anal.*, 18, 97-119.

CHAPITRE II

ETUDES BIOLOGIQUES

II.1. METHODES D'ETUDE DU PLANCTON

II.1.1. PHYTOPLANCTON

En 2008, 16 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, Pelletier and Orand (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*

Les échantillons d'eau brute fixés au lugol sont préparés selon la technique d'Utermöhl, méthode 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. Ce laps de temps permet aux algues 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.

Les abondances sont exprimées en nombre de cellules algales ou de colonies par millilitre d'eau brute, puis transformées en biomasse (poids frais en µg/L). Les moyennes annuelles présentées dans les divers tableaux correspondent à des moyennes arithmétiques de tous les prélèvements effectués dans l'année. Le détail des modes opératoires est donné dans Druart et Rimet (2008).

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 traits 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'intégralité du prélèvement.

L'abondance de chaque catégorie taxonomique (nombre d'individus par unité de surface) est calculée selon la formule suivante :

$$\text{Abondance} = N_{\text{ind.ss.ech}} \times \frac{V_{\text{ech.total}}}{V_{\text{ss.ech}}} \times \frac{H_{\text{filtrée}}}{V_{\text{filtré}}}$$

Où: Nind.ss.ech est le nombre d'individus dénombrés dans le sous-échantillon, Volech.total est le volume de l'échantillon total ajusté (en ml), Volss.ech est le volume du sous-échantillon (en ml), Hfiltrée est la hauteur de colonne d'eau filtrée, ou profondeur du prélèvement (50 m) et V.filtré le volume filtré par le filet (4.81 m³).

II.2. LE PHYTOPLANCTON

II.2.1. Evolution saisonnière de l'année 2008

Evolution des classes d'algues

Les figures 1 et 2 présentent les évolutions saisonnières des principales classes algales (sensu Bourrelly (1972); Bourrelly (1981); Bourrelly (1985)) pour l'année 2008 dans le Grand et le Petit Lac d'Annecy.

Dans le Grand Lac, on observe une dominance du compartiment par les Diatomées et les Cryptophycées jusqu'au 3 juin. Celles-ci sont ensuite remplacées par des Dinophycées jusqu'au 26 août, puis par des Chrysophycées. Les Cyanobactéries voient leur biomasse augmenter progressivement du début de l'automne jusqu'à la fin de l'hiver. Les diatomées redeviennent prépondérantes en fin d'année. Cette succession est celle qui est typiquement attendue pour le phytoplancton.

Dans le Petit Lac, on observe également une dominance du compartiment par les Diatomées et les Cryptophycées jusqu'au 14 mai. A cette date, la biomasse algale est très faible. Après le 14 mai la biomasse des diatomées va fortement augmenter pour atteindre un pic le 24 juin. Les Dinophycées et les Chrysophycées vont ensuite dominer la biomasse en fin d'été (13 août) et début d'automne (17 septembre). Les diatomées dominant à nouveau le compartiment en fin d'année. Les Cyanobactéries sont moins abondantes dans le Petit Lac que dans le Grand Lac.

Suivi du lac d'Annecy 2008

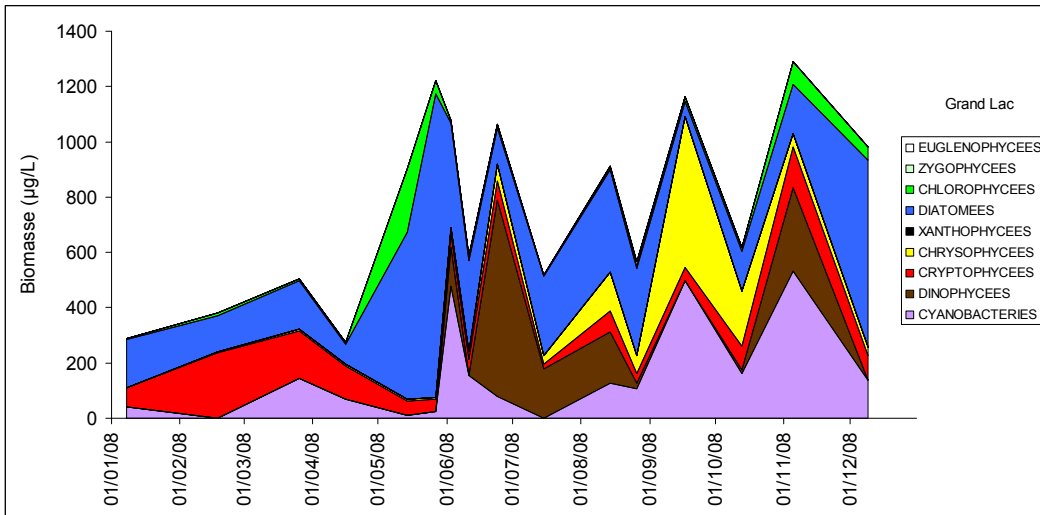


Figure II.2.1 : Variations saisonnières de la biomasse du phytoplancton par classes algales dans le Grand Lac d'Annecy en 2008.

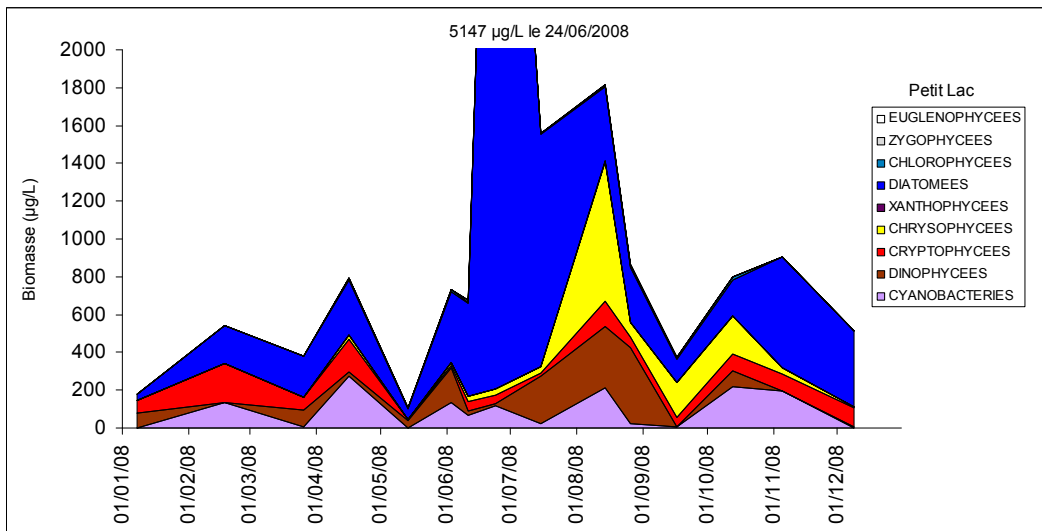


Figure II.2.2 : Variations saisonnières de la biomasse du phytoplancton par classes algales dans le Petit Lac d'Annecy en 2008.

Evolution des espèces dominantes

Les figures 3 et 4 illustrent la dynamique des taxons dominant la biomasse du phytoplancton pour l'année 2008 pour le Grand et le Petit Lac (les taxons dominants correspondent aux taxons dont la somme de la biomasse annuelle fait au moins 80% de la biomasse total annuelle).

Pour le Grand Lac, une petite diatomées centrique, *Cyclotella costei* (synonyme de *C. cyclopuncta*), et une petite Cryptophycée, *Rhodomonas minuta*, sont les taxons qui dominent le phytoplancton jusqu'au 16 avril. Après cette date, qui présente une

biomasse faible, *C. costei* voit encore sa biomasse augmenter, par contre *Rhodomonas minuta* laisse la place à *Cyclotella bodanica* (une autre diatomée centrique) et *Tetraedron minimum* (Chlorophycée). A partir du 24 juin jusqu'au 14 août, *Ceratium hirundinella*, une grande Dinophycée va devenir abondante. Ce taxon est ensuite remplacé par une Chrysophycée coloniale (*Dinobryon sociale* var. *americanum*) et par une Cyanobactérie coloniale (*Aphanocapsa delicatissima*).

Pour le Petit Lac, le phytoplancton est dominé par *Cyclotella costei*, *Rhodomonas minuta* et *Aphanocapsa delicatissima* jusqu'au 14 mai (date présentant la biomasse la plus faible de l'année). Après cette date, un fort développement d'*Asterionella formosa* (diatomée pennée coloniale) est observé avec un pic le 24 juin. La biomasse de ce taxon va fortement baisser au 13 août. Une Chrysophycée coloniale (*Dinobryon sertularia*) va alors prendre une place importante en fin d'été (13 et 26 août), avec *Cyclotella costei*. *Asterionella formosa* va à nouveau dominer la biomasse algale en fin d'année (5 novembre au 9 décembre). Il faut d'autre part souligner la présence d'une diatomée benthique aérophile, *Brachysira neoexilis*, le 17 septembre qui a représenté une part importante de la biomasse (10.3% de la biomasse de l'échantillon). Ce taxon est caractéristique de milieux oligosaprobés et oligo à mésotrophes (Lange-Bertalot et Moser (1994)), il est arrivé au lac depuis les rivières après l'épisode pluvieux du 16 septembre.

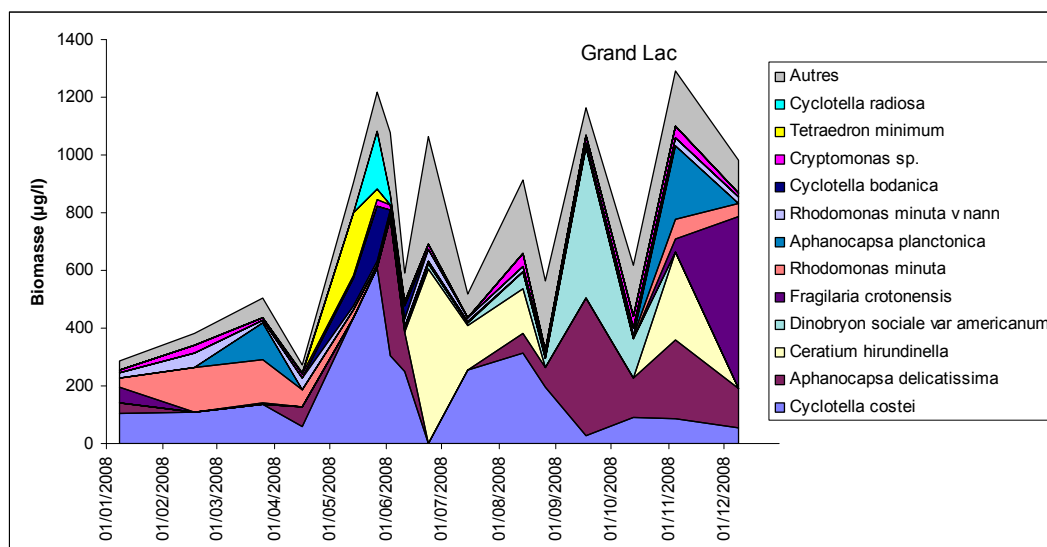


Figure II.2.3 : Variations saisonnières de la biomasse des principaux taxons du phytoplancton dans le Grand Lac d'Annecy en 2008.

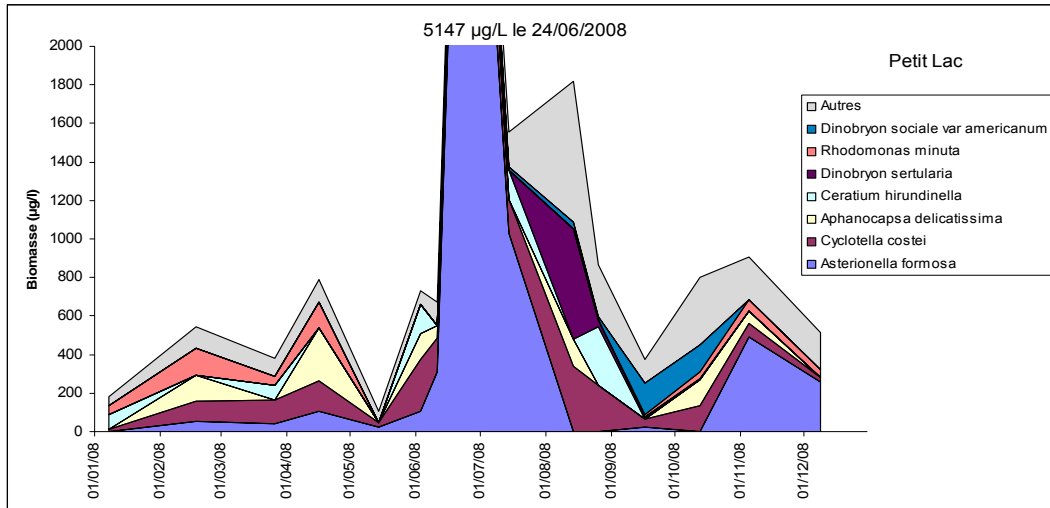


Figure II.2.4 : Variations saisonnières de la biomasse des principaux taxons du phytoplancton dans le Petit Lac d'Annecy en 2008.

Evolution du micro et nanophytoplancton

Pour les deux lacs (figures 5 et 6), la proportion du nanoplancton est plus forte en début d'année, puis c'est le microplancton qui va se développer et finalement dominer le compartiment à partir depuis la mi juin jusqu'en fin d'année dans les deux lacs.

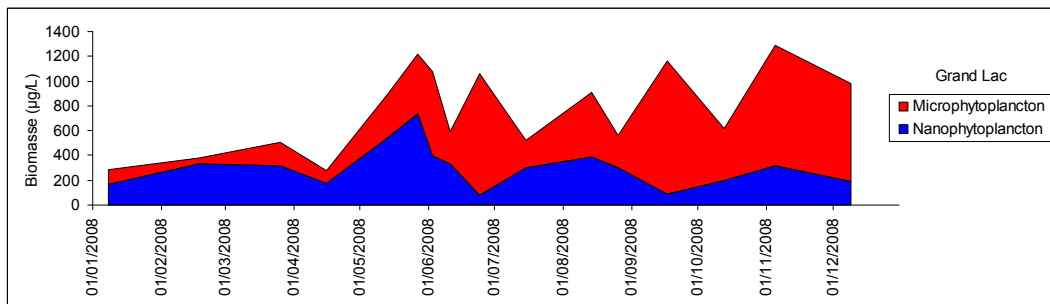


Figure II.2.5 : Variations saisonnières de la biomasse du nanophytoplancton et du microphytoplancton dans le Grand Lac d'Annecy en 2008.

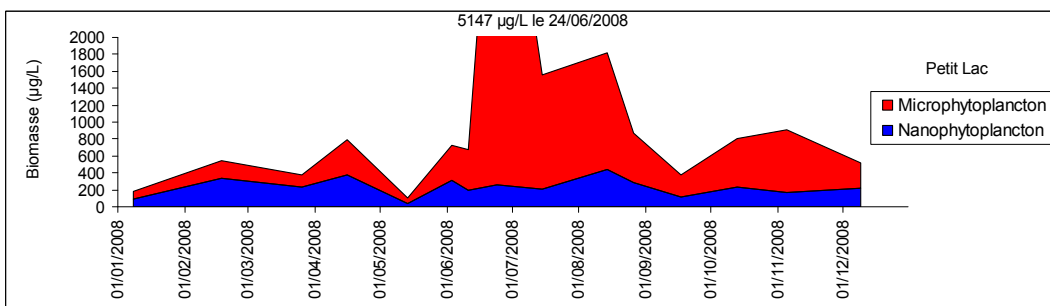


Figure II.2.6 : Variations saisonnières de la biomasse du nanophytoplancton et du microphytoplancton dans le Petit Lac d'Annecy en 2008.

Evolution des groupes fonctionnels

A partir de la structure des assemblages de phytoplancton d'eau douce, Reynolds et al. (2002) ont regroupé les différentes espèces selon leurs caractéristiques écologiques propres. Ainsi, un groupe fonctionnel correspond à un ensemble d'espèces ayant la même écologie. Ces groupes rassemblent des taxons vivant par exemple dans les mêmes niveaux trophiques, les mêmes turbulences ou les mêmes étages limniques et permettent de mieux apprécier les facteurs influençant le phytoplancton et la qualité du lac.

Les figures 7 et 8 présentent la dynamique saisonnière des groupes fonctionnels de Reynolds (Reynolds *et al.* (2002)). L'annexe 1 reprend les définitions de chaque groupe fonctionnel données dans l'article de Reynolds *et al.* (2002).

Pour le Grand Lac, une part importante de la biomasse n'est pas caractérisée par les groupes fonctionnels. Cette part est essentiellement représentée par *Cyclotella costei*, *Rhodomonas minuta* et *R. minuta var. nannoplanctica*. *Cyclotella costei* est une petite diatomée centrique caractéristique de la phase de réoligotrophisation du Léman et préférant les périodes de brassage du lac (Rimet *et al.* (2009)). A partir du 11 juin jusqu'au 14 août, le groupe Lm voit sa proportion augmenter ; il est composé de taxons (ex : *Ceratium hirundinella*) préférant les épilimnions bien stratifiés des lacs mésotrophes. Après le 13 août, c'est le groupe E qui se développe jusqu'au 13 novembre, il est constitué de taxon mixotrophes (*Dinobryon* spp.), tolérant les faibles concentrations en nutriments dans les lacs oligotrophes. Il est accompagné du groupe K qui est présent jusqu'à la fin de l'année dans des proportions importantes ; il est composé de taxons (ex : *Aphanothece* spp.) préférant les épilimnions bien stratifiés. En fin d'année, le groupe P se développe fortement, ce groupe rassemble des taxons tels *Fragilaria crotonensis*, préférant les eaux brassées riches en silice et avec une intensité lumineuse douce.

Pour le Petit Lac, jusqu'au 3 juin, le phytoplancton est dominé par *Cyclotella costei* (petite centrique caractéristique de la phase de réoligotrophisation du Léman et préférant les périodes de brassage du lac (Rimet *et al.* (2009))), *Rhodomonas minuta* et *R. minuta var. nannoplanctica*. Après cette date et jusqu'au 15 juillet, c'est le groupe C qui va largement dominer ; il est composé de taxons (*Asterionella formosa*) préférant

les habitats brassés des lacs eutrophes, mais sensibles aux faibles concentrations en silice. Après cette date se développent des taxons appartenant au groupe E, indicateurs de milieux oligotrophes.

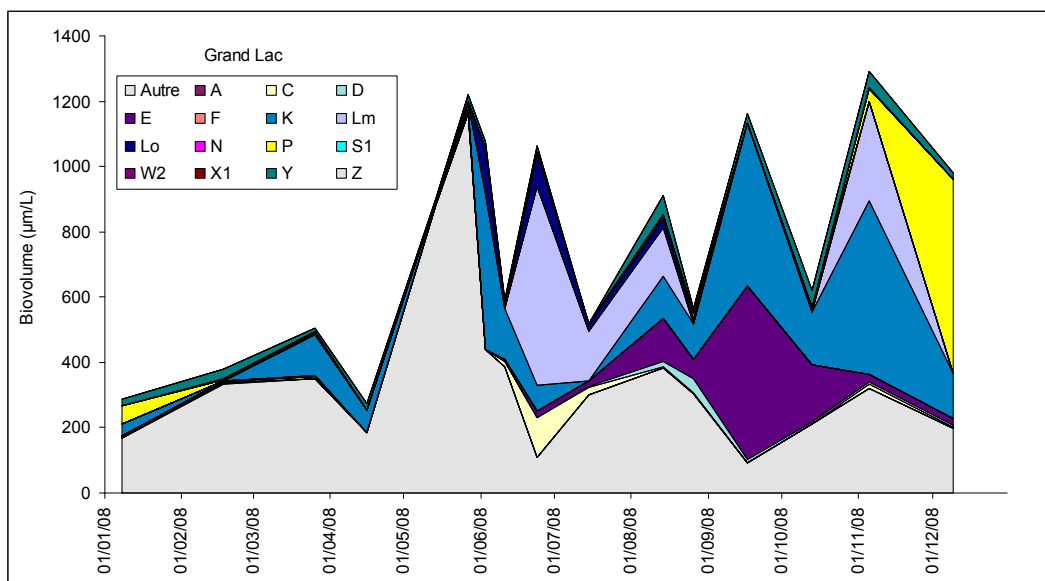


Figure II.2.7 : Variations saisonnières de la biomasse par groupes fonctionnels (lettres A à Z, autre correspond aux taxons non classés par Reynolds *et al.* (2002)) dans le Grand Lac d'Annecy en 2008. La définition de chaque groupe fonctionnel est donnée dans l'annexe 1.

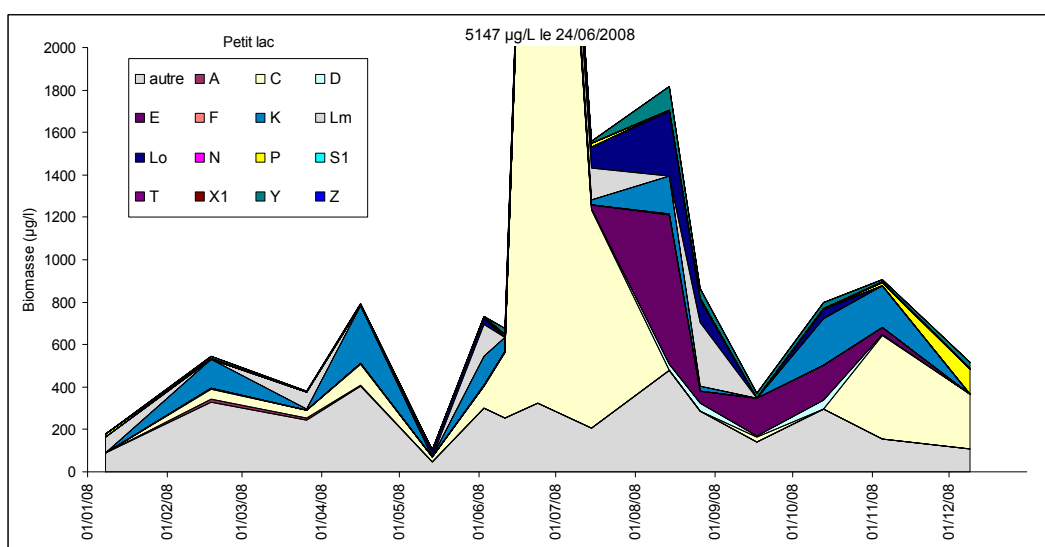


Figure II.2.8 : Variations saisonnières de la biomasse par groupes fonctionnels (lettres A à Z, autre correspond aux taxons non classés par Reynolds *et al.* (2002)) dans le Petit Lac d'Annecy en 2008. La définition de chaque groupe fonctionnel est donnée dans l'annexe 1.

II.2.2. Evolution interannuelle

Evolution des classes d'algues

Les figures 9 et 10 présentent les dynamiques des principales classes algales (sensu Bourrelly) respectivement pour le Grand et le Petit Lac.

Pour le Grand Lac, on remarque que l'année 2008 présente les plus faibles valeurs de biomasse sur la chronique 1996-2008. Par contre, en 2007-2008 et avec l'année 1999, les proportions en Cyanobactéries sont les plus élevées de la chronique. Il s'agit essentiellement de taxons du genre *Aphanocapsa*.

Pour le Petit Lac, les années 2007 et 2008 présentent des biomasses faibles par rapport aux années 2004-2006, mais elles sont semblables à celles des années 1996-1998, 2001 et 2003. Pour toute la chronique, les diatomées forment l'essentiel de la biomasse du compartiment.

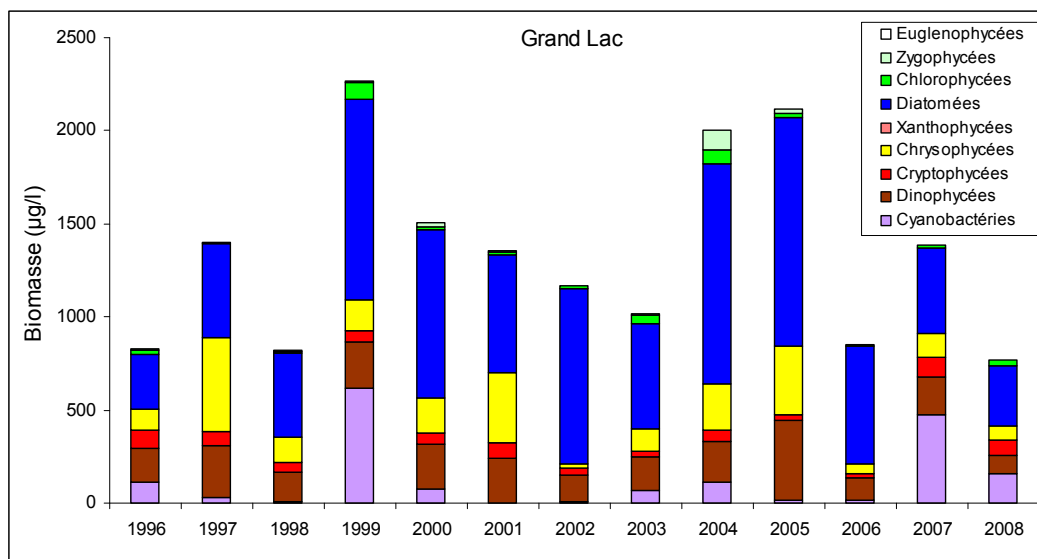


Figure II.2.9 : Evolution interannuelle des principales classes algales dans le Grand Lac d'Annecy.

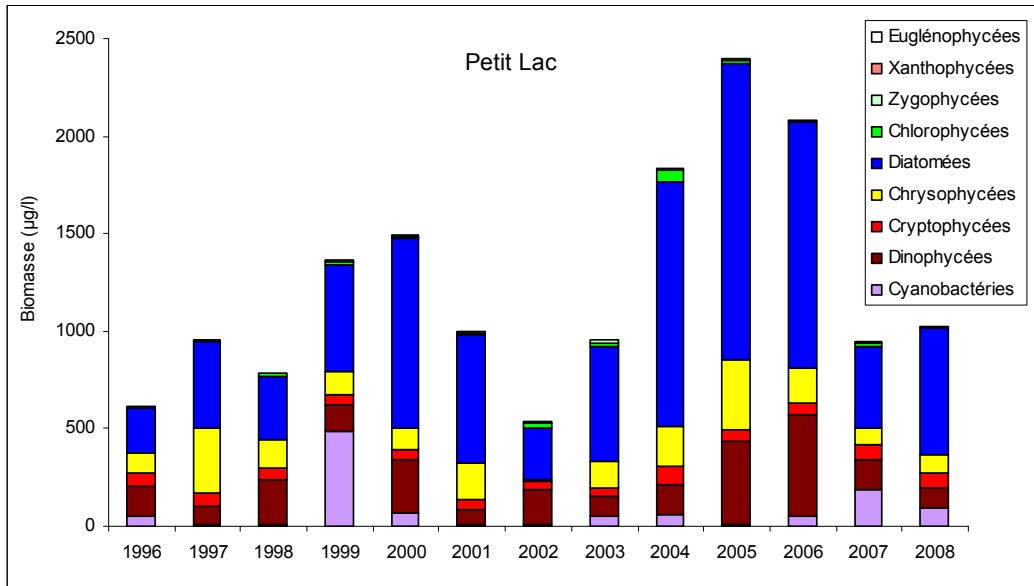


Figure II.2.10 : Evolution interannuelle des principales classes algales dans le Petit Lac d'Annecy.

Evolution de la diversité

Les figures 11 et 12 présentent l'évolution de la diversité respectivement pour le Grand et le Petit lac.

L'évolution de la diversité entre les deux lacs est similaire (coefficient de corrélation $R^2 = 41\%$), on remarque cependant que le Grand Lac a une diversité supérieure à celle du Petit Lac dans 62% des années.

Pour cette année 2008, la diversité dans les deux lacs est la plus faible de toute la chronique 1996-2008.

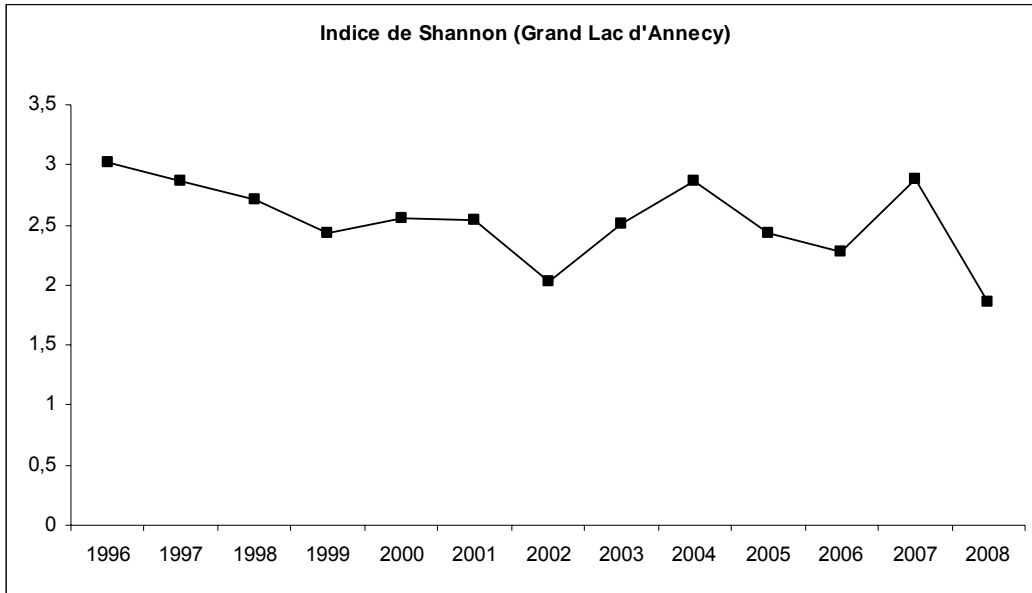


Figure II.2.11 : Evolution interannuelle de l'indice de diversité de Shannon dans le Grand Lac d'Annecy.

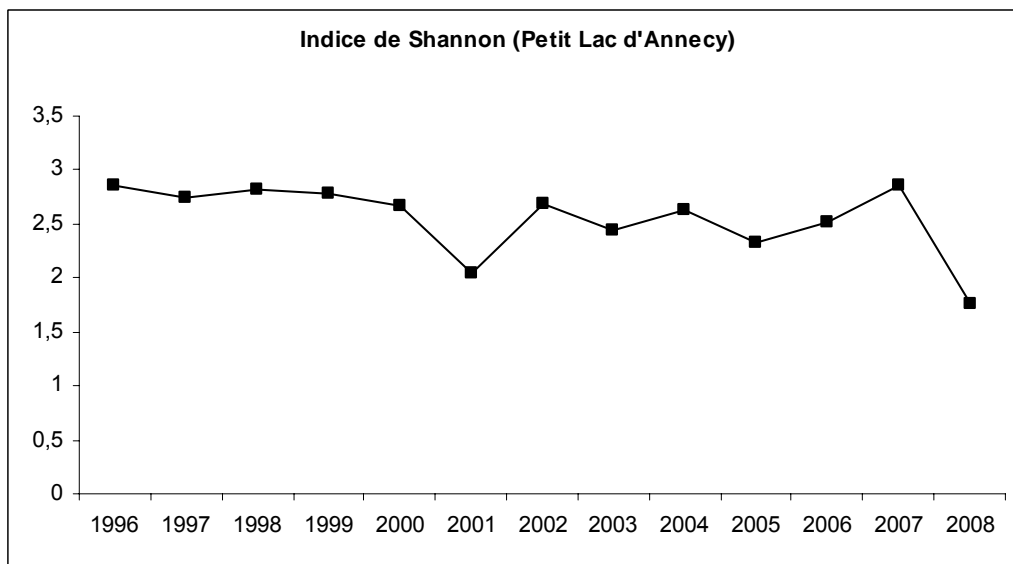


Figure II.2.12 : Evolution interannuelle de l'indice de diversité de Shannon dans le Petit Lac d'Annecy.

Evolution des groupes fonctionnels

La dynamique interannuelle des groupes fonctionnels selon Reynolds *et al.* (2002) est donnée aux figures 13 et 14 respectivement pour le Grand et le Petit Lac.

Pour le Petit et le Grand Lac, une forte proportion de la biomasse n'est classée dans aucun groupe fonctionnel : de nombreux taxons ne sont pas recensés dans le travail de Reynolds *et al.* (2002).

Pour le Grand et le Petit Lac, on observe la présence récurrente du groupe E de 1996 à 2008, regroupant des taxons mixotrophes tolérant les faibles concentrations en nutriments (*Dinobryon* spp., *Mallomonas* spp.).

Le groupe C présente une dynamique très claire dans les deux Lacs, ce groupe rassemble des taxons de lacs eutrophes brassés, sensibles aux faibles concentrations en silice. Pour le Grand Lac, on observe une augmentation de sa biomasse de 2001 à 2005, puis une réduction jusqu'à 2008. Pour le Petit Lac ce groupe apparaît en 2000 et voit sa biomasse augmenter régulièrement pour atteindre un maximum en 2005, puis sa biomasse diminue en 2006 et 2007 ; elle redevient importante en 2008.

Pour les deux lacs, le groupe X1 (*Chlorella* spp., *Ankyra* spp., *Monoraphidium* spp.) même s'il est peu abondant, il présente une cinétique de raréfaction. Il regroupe des taxons sensibles au broutage et préférant les eaux stratifiées.

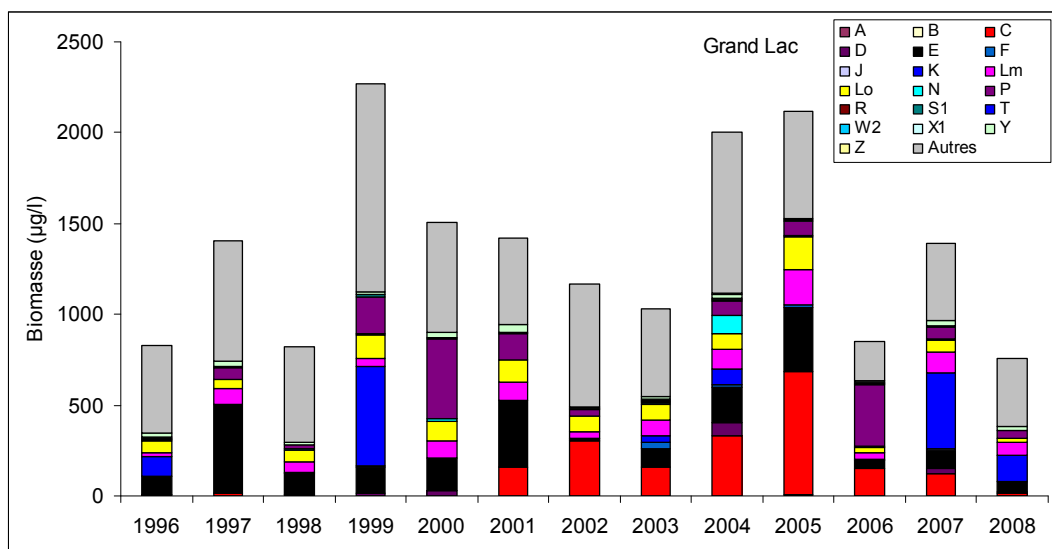


Figure II.2.13 : Evolution de la dynamique interannuelle des groupes fonctionnels selon Reynolds *et al.* (2002) pour le Grand Lac.

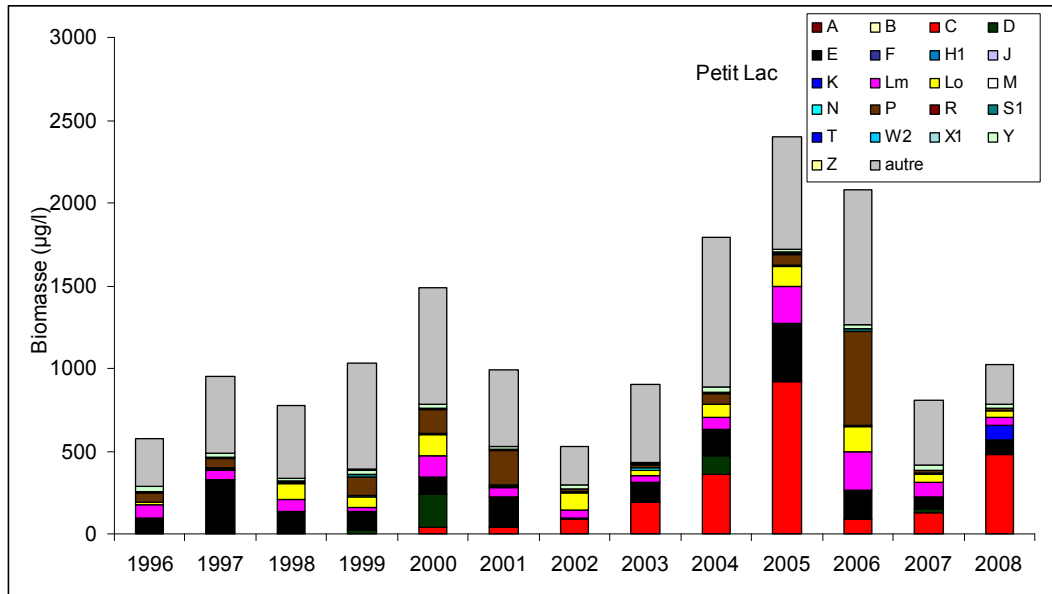


Figure II.2.14 : Evolution de la dynamique interannuelle des groupes fonctionnels selon Reynolds *et al.* (2002) pour le Petit Lac.

Evolution du micro et nanophytoplancton

Les figures 15 et 16 présentent l'évolution du micro et du nanophytoplancton dans le Grand et le Petit Lac d'Annecy respectivement.

Pour les deux lacs et pour toute la chronique 1996-2007, le nanophytoplancton est largement dominant. Seule pour l'année 2008 le microphytoplancton est dominant.

Pour l'année 2008, les principaux taxons microphytoplanctoniques sont *Aphanocapsa delicatissima* (15,1% de la biomasse annuelle) et *Ceratium hirundinella* (9,8%) dans le Grand Lac et *Asterionella formosa* (46,4%) et *Aphanocapsa delicatissima* (6,6%).

Suivi du lac d'Annecy 2008

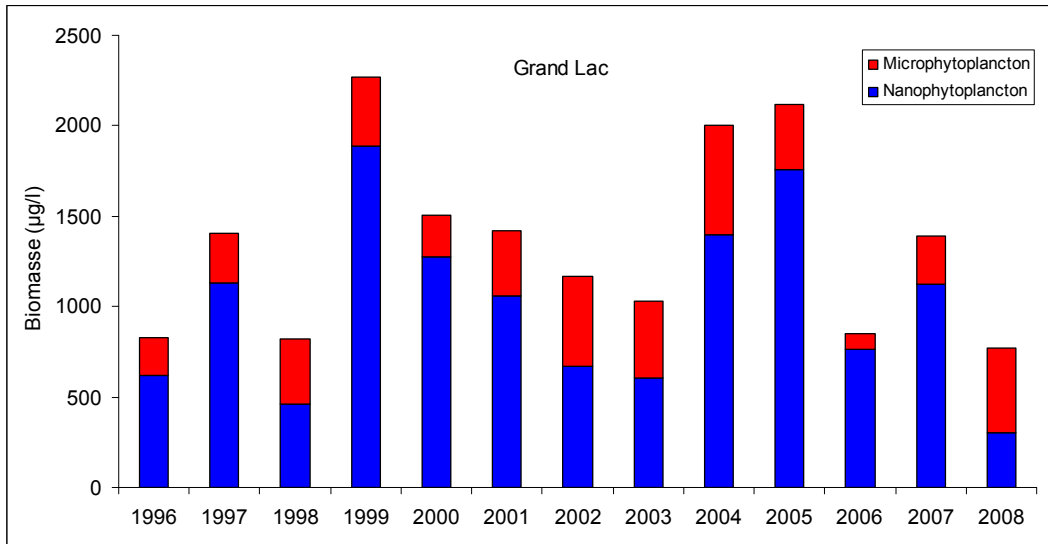


Figure II.2.15 : Evolution de la biomasse moyenne annuelle des compartiments micro et nanophytoplanktoniques pour le Grand Lac d'Annecy.

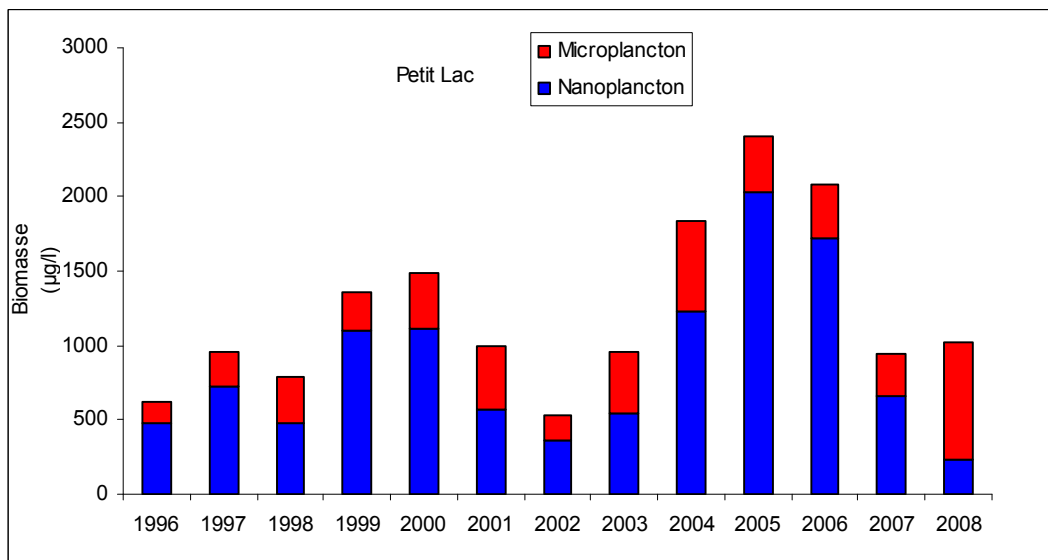


Figure II.2.16 : Evolution de la biomasse moyenne annuelle des compartiments micro et nanophytoplanktoniques pour le Petit Lac d'Annecy.

II.2.3. Conclusions

L'évolution saisonnière du phytoplancton pour l'année 2008 peut être résumée de la manière suivante pour les deux lacs :

Pour le Grand Lac, une première phase peut être identifiée du début de l'année jusqu'au 3 juin. Cette période est caractérisée par une augmentation de la biomasse

algale. Elle est alors dominée par des diatomées centriques avec principalement *Cyclotella costei*. Les Cryptophycées (essentiellement représentées par *Rhodomonas minuta*) représentent une part de la biomasse également importante.

Une deuxième phase peut être identifiée à partir du 11 juin jusqu'au 17 septembre. Les petites diatomées centriques et les Cryptophycées sont remplacées par les Dinophycées (dominées par *Ceratium hirundinella*) ainsi que par les Chrysophycées (dominées par *Dinobryon sociale* var. *americanum*). Ces taxons sont caractéristiques d'épilimnions bien stratifiés de lacs méso à oligotrophes et peuvent résister à des stress en nutriments de par leurs capacités mixotrophes (cas des *Dinobryon* spp.).

A partir de la fin de l'été et jusqu'à la fin de l'année, on note l'augmentation progressive de la proportion en cyanobactéries non toxiques (*Aphanocapsa* spp., *Aphanothece* spp.), sensibles au brassage de eaux. Leur part se réduit lors du dernier prélèvement le 9 décembre. Une troisième phase (à partir du 13 octobre jusqu'à la fin de l'année) est caractérisée par la baisse de la proportion des Chrysophycées. En fin d'année, on note le retour des diatomées (*Fragilaria crotonensis*) préférant les eaux brassées riches en silice.

Petit Lac

Une première phase peut être identifiée pour le Petit Lac du début de l'année jusqu'au 3 juin. Cette période est dominée par la présence de petites diatomées centriques telle *Cyclotella costei* et des Cryptophycées (*Rhodomonas minuta*). Le 14 mai correspond à une phase de très faible biomasse algale et pourrait correspondre à l'équivalent d'une phase des eaux claires.

On peut définir une deuxième phase du 3 juin au 15 juillet. Cette phase est caractérisée par une forte augmentation de la biomasse d'*Asterionella formosa*, taxon indicateur d'habitats brassés et sensible aux stress en silice.

Une troisième phase peut être décrite après cette date. En effet à partir du 13 août des taxons mixotrophes adaptés au milieu oligotrophes stratifiés vont se développer jusqu'au 13 octobre. A la fin de l'année, des cyanobactéries du genre *Aphanothece*, sensible au brassage vont alors les remplacer. Pour les deux derniers prélèvements de l'année (novembre et décembre) des diatomées pennées indicatrices de brassage des eaux et de concentration en silice suffisante vont à nouveau se développer.

L'évolution interannuelle

Pour les deux lacs, l'année 2008 présente des biomasses parmi les plus faibles de la chronique 1996-2008. On remarque également que pour les deux lacs, l'évolution de la diversité algale est à la baisse et l'année 2008 présente la diversité la plus faible de toute la chronique.

Les taxons les plus fréquents et présents constamment sur la chronique 1996-2008 dans les deux lacs sont des taxons mixotrophes, préférant les lacs oligotrophes (*Dinobryon* spp., *Mallomonas* spp.). On peut noter que la biomasse des taxons caractéristiques de lacs eutrophes brassés, sensibles aux faibles concentrations en silice sont apparus en 2000/2001, ils ont vu leur biomasse augmenter significativement jusqu'en 2005, puis se réduire jusqu'en 2008 dans le Grand lac ou diminuer en 2006-2007 et à nouveau augmenter en 2008 dans le Petit Lac.

Enfin, pour les deux lacs, les taxons sensibles au broutage présentent une cinétique de raréfaction.

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 2008

La communauté zooplanctonique crustacéenne est dominée par les Cyclopoïdes, qui contribuent à, respectivement, 49% dans le Grand Lac et 44% dans le Petit Lac, de l'abondance crustacéenne totale annuelle. En 2008, *Mesocyclops leuckarti* a été légèrement plus abondant que *Cyclops prealpinus* dans la communauté des Cyclopoïdes dans le Grand Lac (22%) tandis que *Cyclops prealpinus* domine largement la communauté des Cyclopoïdes dans le Petit Lac. En 2008, les Calanoïdes ont représenté une contribution relativement élevée à la communauté crustacéenne totale (34% et 35% dans le Grand et le Petit Lac respectivement) tandis que la contribution totale des cladocères est relativement faible (15% et 22% dans le Grand et le Petit Lac respectivement).

La méthode d'échantillonnage permet également de capturer les larves véligères de *Dreissena polymorpha* et les grosses espèces de rotifères. En 2008, 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 2008 a atteint 341 000 ind.m⁻², valeur supérieure à la moyenne des abondances totales observées sur la série 1995-2008 (**figure 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 2008, les cyclopoïdes sont présents avec de faibles abondances sans toutefois paraître comme une année atypique pour cet ordre.

Par contre, les abondances des Cladocères ont été relativement faibles en 2008, confirmant la tendance à la diminution des effectifs observée depuis 2005.

Les abondances de Calanoïdes atteignent, en 2008, des valeurs records de 140 000 ind.m⁻² pour les deux bassins, c'est-à-dire 50 à 60 fois supérieures à celles observées entre 1995 et 2001 (figure 1).

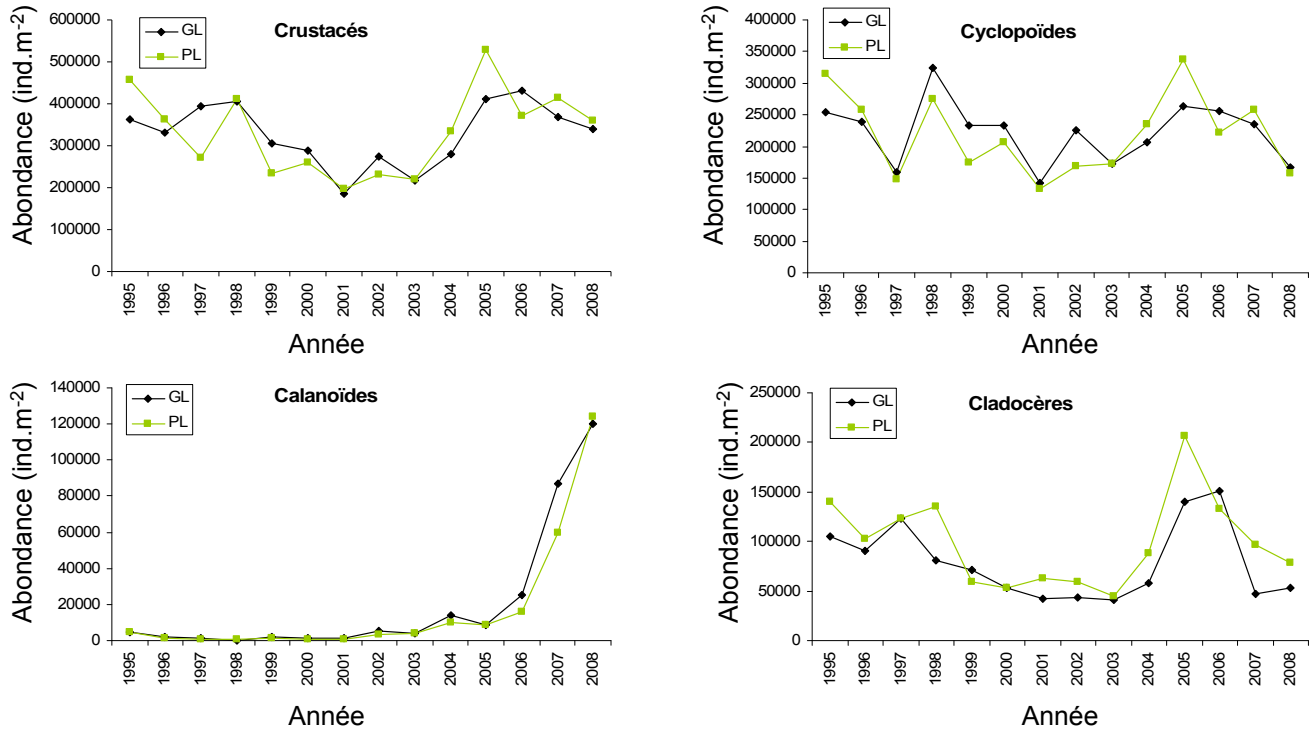


Figure II.3 :1. Evolution de l'abondance des microcrustacés.

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 2008 (Figure 2).

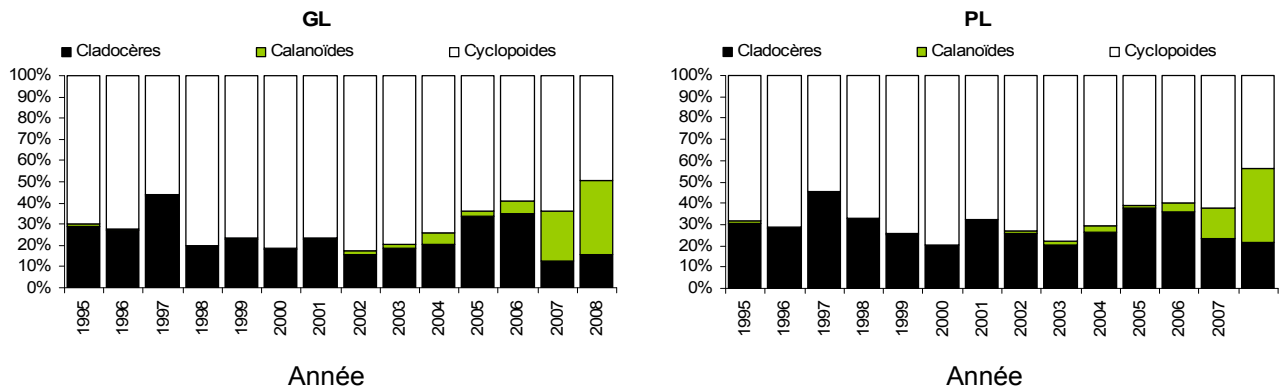


Figure II.3 :2. Evolution de la composition de la communauté crustacéenne entre 1995 et 2008.

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 à la communauté zooplanctonique augmente. En 2008, pour la première année depuis le début du suivi, la contribution des calanoïdes à l'abondance crustacéenne totale surpasse celle des cladocères dans les deux bassins. Les calanoïdes sont une espèce à développement de fin d'été (Anneville et Lainé, 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.

Les changements inter-annuels de la communauté des cladocères herbivores ne suivent aucune tendance nette (Figure 3).

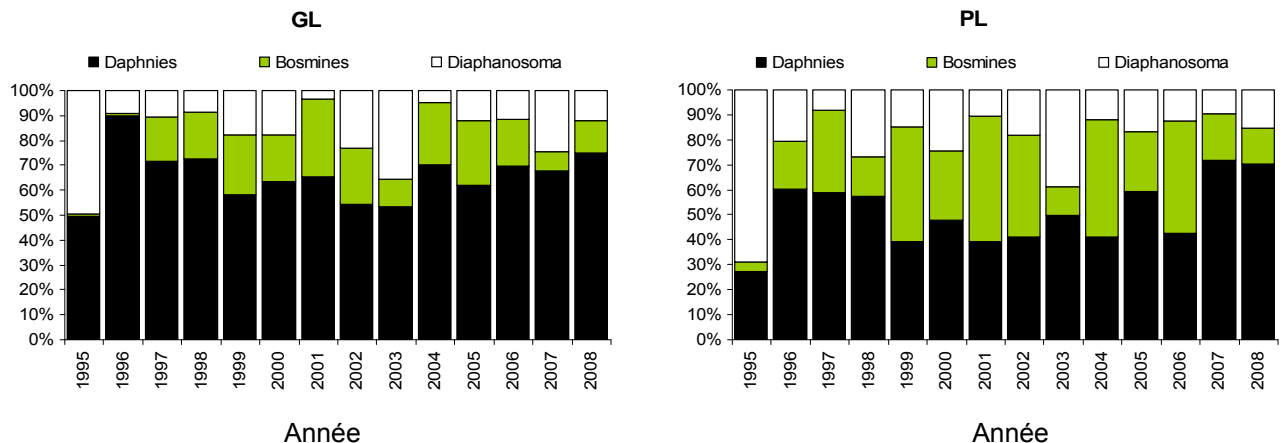


Figure II.3 :3. Evolution de la composition de la communauté des cladocères herbivores entre 1995 et 2008.

Par contre, la communauté des cyclopoïdes est passée d'une dominance de *Cyclops prealpinus* entre 1995-2000 à une dominance par *Mesocyclops leuckarti* depuis 2001 (Figure 4). Cette tendance est plus nette pour le Grand Lac que pour le Petit Lac.

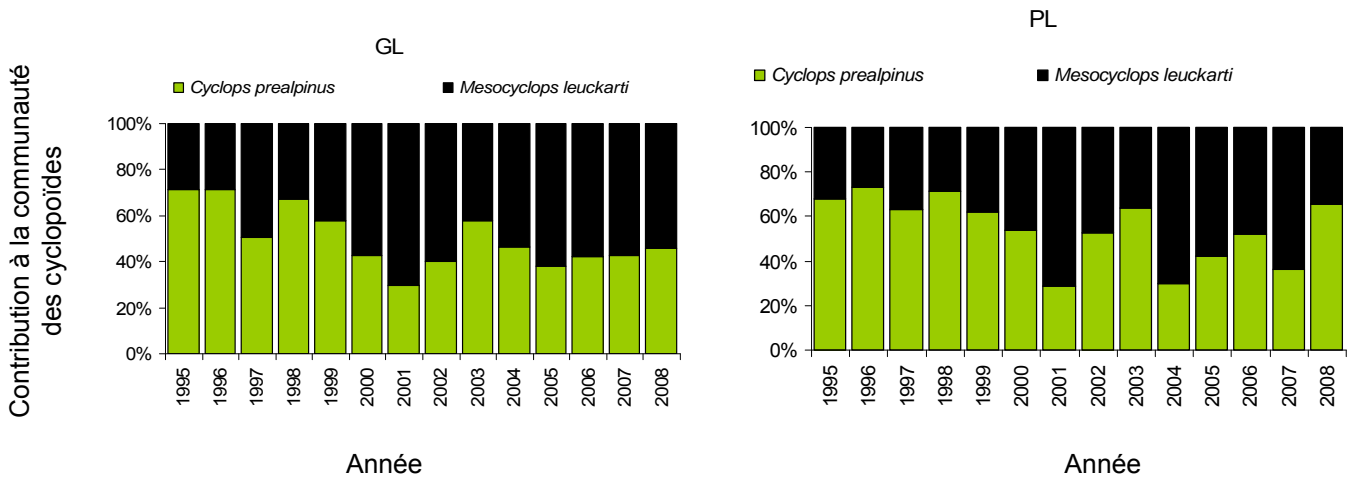


Figure II.3 :4. Evolution de la composition de la communauté des cyclopoïdes entre 1995 et 2008.

II.3.1.3. Evolution à long terme des biovolumes sédimentés

Les deux bassins présentent des évolutions inter-annuelles qui reflètent celles observées pour la communauté des cladocères (figure 5).

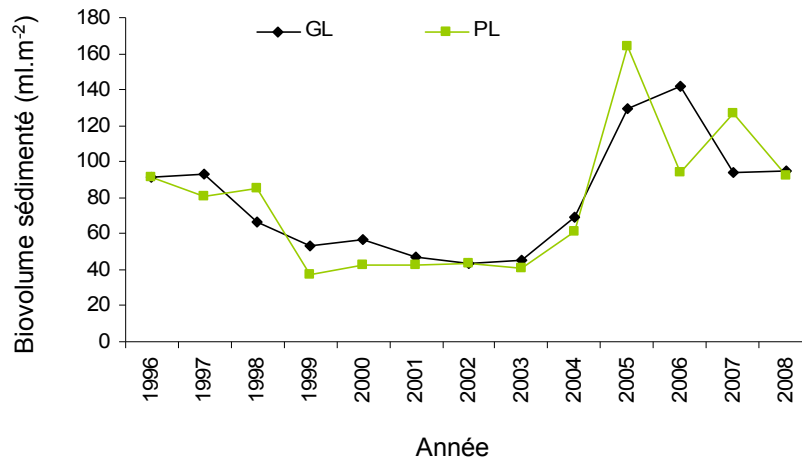


Figure II.3 :5. Evolution des moyennes annuelles de l'abondance du zooplancton sédimenté.

II.3.2. DYNAMIQUE SAISONNIERE EN 2008

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 début d'automne (**figure 6**). Les abondances maximales printanières sont atteintes le 3 juin, avec des effectifs de 110 000 et 180 000 ind.m⁻² dans, respectivement, le Grand et le Petit Lac. Le second pic a lieu le 17/09, avec des abondances similaires de 180 000 ind.m⁻² dans les deux bassins. Contrairement au Grand Lac, les effectifs de cladocères restent élevés en fin d'automne dans le Petit Lac.

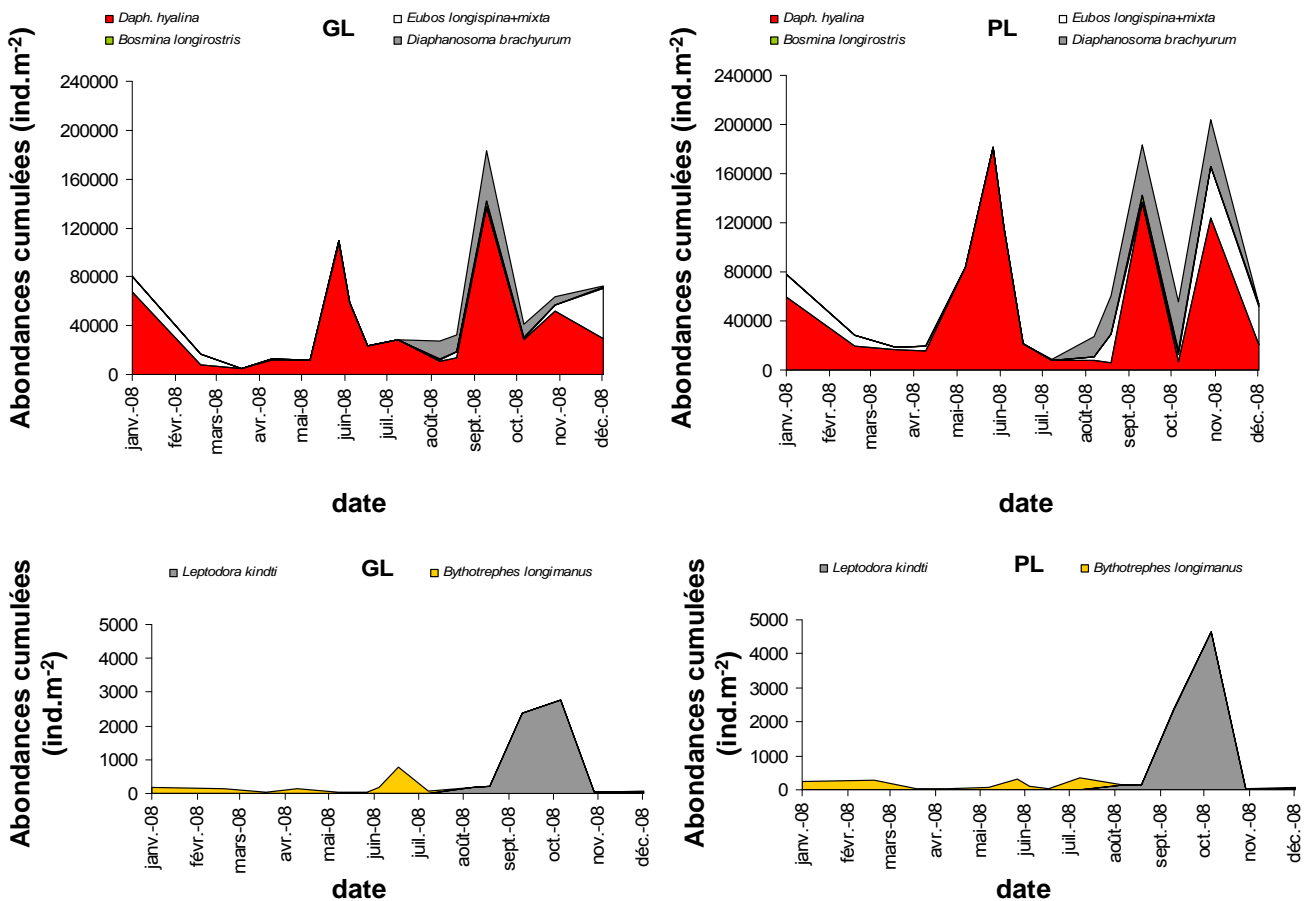


Figure II.3 :6. Evolution saisonnière des abondances des différentes espèces de Cladocères identifiées en 2008

La dynamique saisonnière des cladocères est assez similaire entre les deux bassins en 2007 (**Figure 6**).

D. hyalina représente la quasi-exclusivité de la communauté des cladocères herbivores tout le premier semestre de l'année 2008. Le pic printanier d'abondance des cladocères est exclusivement dû à l'accroissement de la population de *D. hyalina*, qui atteint des effectifs de 110 000 et 180 000 ind.m⁻² dans le Grand et le Petit lac respectivement. En 2008, les pics printaniers sont synchrones sur les deux bassins (6/3). 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 *D. brachyurum* apparaît en abondances significatives dans la population de cladocères. Le pic d'abondance de début d'automne (17/9) correspond à un maximum d'abondance de *D. hyalina* et de *D. brachyurum*. Un pic d'abondance des bosmines apparaît plus tard au cours de l'automne. 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 relativement similaire dans les deux bassins (**figure 6**). *Bythotrephes longimanus*, espèce pérenne à développement en période de stratification thermique (Balvay *et al.*, 2004), présente un pic d'abondance peu marqué au cours de l'été 2008. *L. kindti* atteint ses maxima tardivement au cours de l'automne avec des effectifs de 3000 ind.m⁻² dans le Grand Lac et 5000 ind.m⁻² dans le Petit Lac, avant de décroître en fin d'automne.

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*. La dynamique saisonnière des cyclopoïdes présente cependant des différences notables entre les deux bassins en 2008. En 2008, *M. leuckarti* domine la communauté cyclopoïde dans le Grand Lac, tandis que *C. prealpinus* est prédominant dans le Petit Lac (**figure 7**). Dans le Grand Lac, les effectifs de *C. prealpinus* sont relativement constants tout au long de l'année 2008, autour de 50 000 ind. m⁻², tandis que *M. leuckarti* montre une dynamique bimodale avec des effectifs maximaux en fin d'hiver (180 000 ind.m⁻² le 26/2) et en cours d'été (81 000 ind.m⁻² le 14/8). Les abondances de *M. leuckarti* sont <20 000 ind.m⁻² au printemps et à l'automne. Dans le Petit Lac par contre, *M. leuckarti* ne montre pas de dynamique saisonnière marquée et stagne à des abondances généralement <50 000 ind.m⁻². Les abondances de *C. prealpinus* montrent, elles, dans

le Grand Lac, un pic de fin d'hiver (180 000 ind.m⁻² le 26/02 ; synchrone avec celui de *M. leuckarti* dans le Petit Lac) ainsi qu'un pic automnal (120 000 ind.m⁻² le 17/9 ; synchrone avec le pic d'abondances de cladocères).

Mixodiaptomus laciniatus suit une dynamique relativement similaire dans les deux bassins en 2008. *M. laciniatus* est abondant tout au long de l'année avec des effectifs supérieurs à 100 000 ind.m⁻². L'abondance de *M. laciniatus* croît cependant au cours du printemps pour atteindre son maximum au début de l'été (Fin mai - début juin) avec des effectifs de 160 000 (GL) et 190 000 ind.m⁻² (PL). Les effectifs de *M. laciniatus* diminuent au cours de l'été et un second pic d'abondance, du même ordre de grandeur que le pic printanier, est observé le 17/9. Les abondances diminuent à nouveau à la mi-automne et se maintiennent à des abondances de 50 à 100 000 ind.m⁻² jusqu'à la fin de l'année.

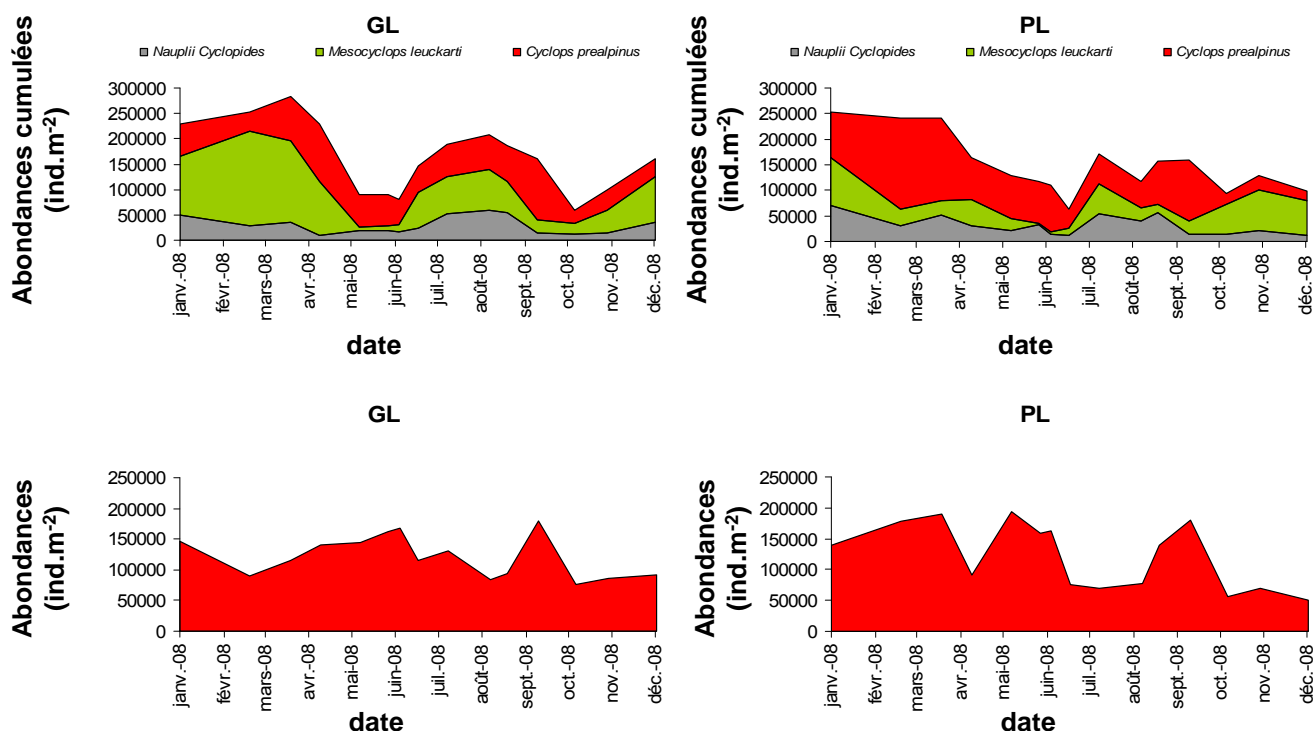


Figure II.3 : 7. Evolution saisonnière des abondances des différentes espèces de copépodes identifiées

II.3.2.3. Variation saisonnière des biovolumes sédimentés

Dans les deux bassins, le biovolume sédimenté présente une dynamique bimodale. Le biovolume sédimenté du zooplancton se caractérise par une augmentation printanière qui, le 6 juin est synchrone pour les deux bassins, atteint un

pic de 150 (Grand Lac)-160 ml.m⁻² (Petit Lac) (**figure 8**). Après une diminution transitoire des biovolumes en été, un second pic automnal apparaît dans les deux bassins. Dans le Grand lac, le biovolume atteint 100 ml.m⁻² entre le 17 septembre se maintient à des valeurs élevées jusqu'à la fin de l'année. Le second pic de biovolume est atteint plus tardivement dans le Petit Lac (120 ml.m⁻² le 5 novembre).

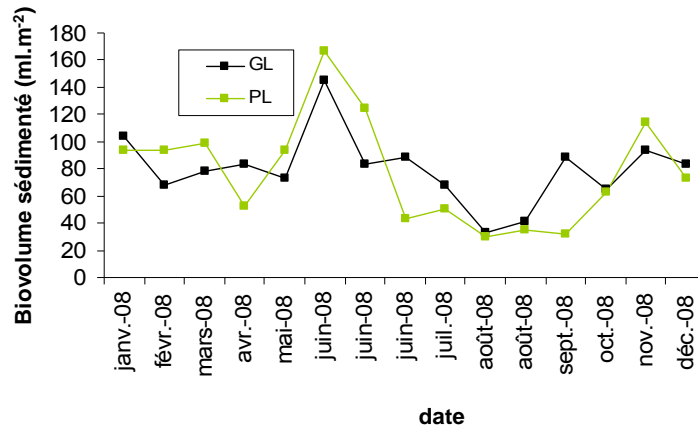


Figure II.3 :8. Evolution annuelle du biovolume sédimenté en 2008

II.3.2.4. Variation saisonnière des espèces non crustacéennes

Conochilus et *Kellicottia* ont en 2008 une dynamique atypique avec des maxima hivernaux dans les deux bassins, le 8 janvier à 400 000 et 200 000 ind.m⁻² dans le Grand Lac et la Petit Lac respectivement (**figure 9**). Les abondances de *Kellicottia* augmentent à nouveau en cours d'été, pour atteindre des effectifs plus faibles toutefois que le pic hivernal.

Dans les deux bassins, *Asplanchna* atteint transitoirement des effectifs proches de 100 000 ind.m⁻² en cours d'été ainsi que des effectifs de 3 (Grand Lac) à 6 (Petit Lac) fois plus élevés en début d'hiver.

Suivi du lac d'Annecy 2008

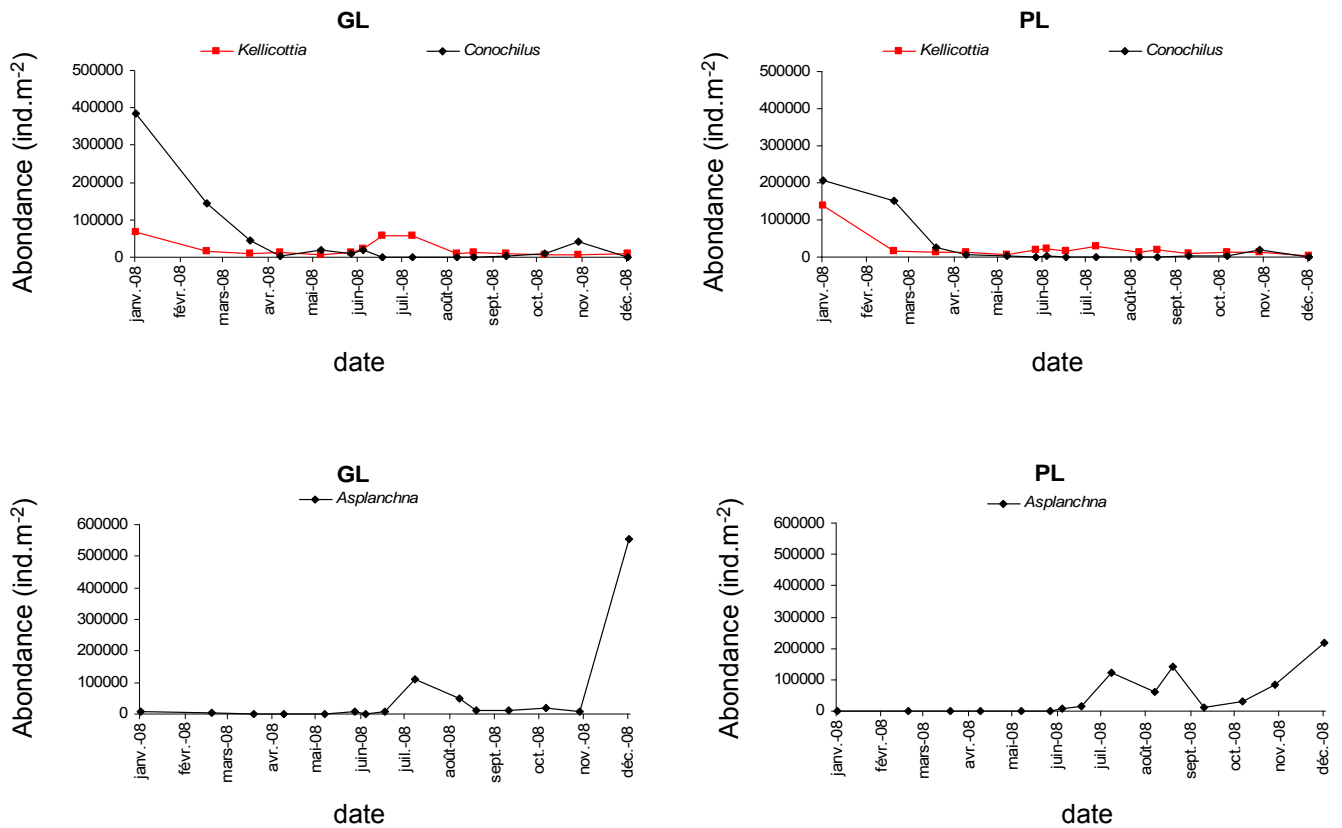


Figure II.3 :9. Evolution saisonnière des abondances des différentes espèces de rotifères identifiées

La larve véligère de la moule zébrée d'eau douce *Dreissena polymorpha* n'a été observée qu'à une unique occasion (le 5 novembre), avec des effectifs faibles (680 ind.m⁻²), et uniquement dans le Grand Lac.

Bibliographie

Afnor 2006 NF EN 15204. Qualité de l'eau - Norme guide pour le dénombrement du phytoplancton par microscopie inversée (méthode Utermöhl). Afnor 1-41.

Anneville, O. & Lainé, L. 2004. Le Zooplancton du lac d'Annecy, SILA.

Anneville, O. & Kaiblinger, K. Proposal for a phytoplankton lake index applicable to lakes of the Rhône-Alpes basin for the implementation of the European Water Framework Directive. Final report. Agence de l'Eau Rhone Méditerranée et Corse, 1-54. 2009. INRA Thonon, France.

Ref Type: Report

Balvay G., Lainé L, Anneville O. 2004 Evolution du zooplancton du Léman, campagne 2003. Rapp. Comm. Int. Prot. Eaux Léman contre pollut., Campagne 2003, 81-92.

Bourrelly, P. 1972. Les Algues d'eau douce, Tome I: Les Algues vertes. 1-572pp.

Bourrelly, P. 1981. Les Algues d'eau douce, Tome II: Les Algues jaunes et brunes. 1-517pp.

Bourrelly, P. 1985. Les Algues d'eau douce, Tome III: Les Algues bleues et rouges. 1-606pp.

Druart, J. C. & Rimet, F. Protocoles d'analyse du phytoplancton de l'INRA : prélèvement, dénombrement et biovolumes. INRA. 1-200. 2008. Thonon les Bains.
Ref Type: Report

Kaiblinger, K. Water quality assessment in lakes with special focus on Phytoplankton indices used within the EU Water Framework Directive (WFD). Rapport I.L. 277/08;DEC0470, 1-45. 2008. INRA Thonon.
Ref Type: Report

Lange-Bertalot, H. & Moser, G. 1994 *Brachysira*. Monographie der Gattung. Bibliotheca Diatomologica 29: 1-212.

Pelletier, J. P. & Orand, A. 1978 Appareil de prélèvement d'un échantillon dans un fluide. Brevet d'invention 76.08579.

Reynolds, C. S., Huszar, V., Kruk, C., Naselli-Flores, L., and Melo, S. 2002 Toward a functional classification of the freshwater phytoplankton. *J. Plankton Res.* 24: 417-428.

Rimet, F., Druart, J. C., Anneville, O. 2009 Exploring the dynamics of plankton diatom communities in Lake Geneva using emergent self-organizing maps (1974-2007). *Ecological Informatics*.

Wolfram, G. & Dokulil, M. Leitfaden zur erhebung der biologischen qualitatselemente. Teil B2 - Phytoplankton. 1-50. 2007. Lebensministerium, Austria.
Ref Type: Report

Wolfram, G., Dokulil, M., Pall, K. *et al.* Intercalibration Exercise, Technical Report + Annexes, Alpine GIG (Lakes). 2007. Vienna - Ispra.
Ref Type: Report

Annexe 1 : Définition des groupes fonctionnels selon Reynolds *et al.* (2002).

JOURNAL OF PLANKTON RESEARCH | VOLUME 24 | NUMBER 5 | PAGES 417-428 | 2002

Table 1: Trait-separated functional groups of phytoplankton (updated from Reynolds, 1997)

Codon	Habitat	Typical representatives	Tolerances	Sensitivities
A	Clear, often well-mixed, base poor, lakes	<i>Urosolenia</i> , <i>Cyclotella comensis</i>	Nutrient deficiency	pH rise
B	Vertically mixed, mesotrophic small-medium lakes	<i>Aulacoseira subarctica</i> <i>Aulacoseira islandica</i>	Light deficiency	pH rise, Si depletion stratification
C	Mixed, eutrophic small-medium lakes	<i>Asterionella formosa</i> <i>Aulacoseira ambigua</i> <i>Stephanodiscus rotula</i>	Light, C deficiencies	Si exhaustion stratification
D	Shallow, enriched turbid waters, including rivers	<i>Synedra acus</i> <i>Nitzschia spp</i> <i>Stephanodiscus hantzschii</i>	Flushing	nutrient depletion
N	mesotrophic epilimnia	<i>Tabellaria</i> <i>Cosmarium</i> <i>Staurodesmus</i>	Nutrient deficiency	stratification pH rise
P	eutrophic epilimnia	<i>Fragilaria crotonensis</i> <i>Aulacoseira granulata</i> <i>Closterium aciculare</i> <i>Staurastrum pingue</i>	Mild light and C deficiency	stratification Si depletion
T	deep, well-mixed epilimnia	<i>Gemineella</i> <i>Mougeotia</i> <i>Tribonema</i>	Light deficiency	Nutrient deficiency
S1	turbid mixed layers	<i>Planktothrix agardhii</i> <i>Limnothrix redekei</i> <i>Pseudanabaena</i>	highly light deficient conditions	flushing
S2	shallow, turbid mixed layers	<i>Spirulina</i> <i>Arthrospira</i> <i>Raphidiopsis</i>	light deficient conditions	flushing
S _N	warm mixed layers	<i>Cylindrospermopsis</i> <i>Anabaena minutissima</i>	light-nitrogen-deficient conditions	flushing
Z	clear, mixed layers	<i>Synechococcus</i> prokaryote picoplankton	low nutrient	light deficiency grazing
X3	shallow, clear, mixed layers	<i>Koliella</i> <i>Chrysococcus</i> eukaryote picoplankton	low base status	mixing, grazing
X2	shallow, clear mixed layers in meso-eutrophic lakes	<i>Plagioselmis</i> <i>Chrysochromulina</i>	stratification	mixing, filter feeding
X1	shallow mixed layers in enriched conditions	<i>Chlorella</i> , <i>Ankyra</i> <i>Monoraphidium</i>	stratification	nutrient deficiency filter feeding
Y	usually, small, enriched lakes	<i>Cryptomonas</i>	low light	phagotrophs!
E	usually small, oligotrophic, base poor lakes or heterotrophic ponds	<i>Dinobryon</i> <i>Mallomonas</i> (<i>Synura</i>)	low nutrients (resort to mixotrophy)	CO ₂ deficiency
F	Clear epilimnia	colonial Chlorophytes e.g. <i>Botryococcus</i> <i>Pseudosphaerocystis</i> <i>Coenochloris</i> <i>Oocystis lacustris</i>	low nutrients high turbidity	?CO ₂ deficiency

Suivi du lac d'Annecy 2008

G.S .RE YNOLDS ET AL. | FUNCTIONAL CLASSIFICATION OF FRESHWATER PHYTOPLANKTON

Table I: continued

Codon	Habitat	Typical representatives	Tolerances	Sensitivities
G	Short, nutrient-rich water columns	<i>Eudorina</i> <i>Volvox</i>	high light	nutrient deficiency
J	shallow, enriched lakes ponds and rivers	<i>Pediastrum</i> , <i>Coelastrum</i> <i>Scenedesmus</i> <i>Golenkinia</i>		settling into low light
K	short, nutrient-rich columns	<i>Aphanothece</i> <i>Aphanocapsa</i>		deep mixing
H1	dinitrogen-fixing Nostocaleans	<i>Anabaena flos-aquae</i> <i>Aphanizomenon</i>	low nitrogen low carbon,	mixing, poor light, low phosphorus
H2	dinitrogen-fixing Nostocaleans of larger mesotrophic lakes	<i>Anabaena lemmermanni</i> <i>Gloeotrichia echinulata</i>	low nitrogen	mixing, poor light,
U	summer epilimnia	<i>Uroglena</i>	low nutrients	CO ₂ deficiency
L₀	summer epilimnia in mesotrophic lakes	<i>Peridinium</i> <i>Woronichinia</i> <i>Merismopedia</i>	segregated nutrients	prolonged or deep mixing
L_M	summer epilimnia in eutrophic lakes	<i>Ceratium</i> <i>Microcystis</i>	very low C _i	mixing, poor stratification light
M	dielly mixed layers of small eutrophic, low latitude lakes	<i>Microcystis</i> <i>Sphaerocavum</i>	high insolation	flushing, low total light
R	metalimnia of masotrophic stratified lakes	<i>P. rubescens</i> <i>P. mougeotii</i>	low light, strong segregation	instability
V	metalimnia of eutrophic stratified lakes	<i>Chromatium</i> , <i>Chlorobium</i>	very low light, strong segregation	instability
W1	small organic ponds	Euglenoids, <i>Synura</i> <i>Gonium</i>	high BOD	grazing
W2	shallow mesotrophic lakes	bottom-dwelling <i>Trachelomonas</i>	?	?
Q	small humic lakes	<i>Gonyostomum</i>	high colour	?

CONCLUSION GENERALE

L'hiver 2007-2008 a été encore un hiver doux qui n'a pas permis un brassage du lac suffisamment long pour réoxygéner convenablement la totalité de la masse d'eau. Alors qu'en 2005 et 2006 la température du lac s'était abaissée au niveau des températures hivernales observées dans les années 1960, la température du lac est remontée à 5,8°C début 2008, ce qui correspond aux maxima enregistrés (Figure A).

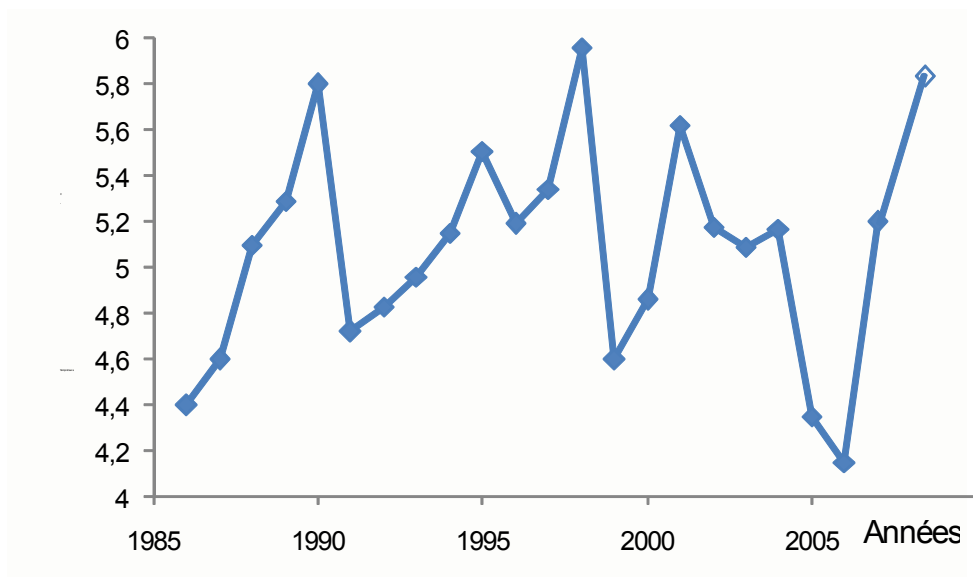


Figure A: Température de l'eau au fond du lac d'Annecy (GL) au moment du brassage hivernal.

En raison du faible brassage, la réoxygénation des eaux du lac n'a pas dépassé 85% de saturation en fin d'hiver. Ce phénomène de désoxygénation profonde du Grand Lac est un phénomène récurrent au lac d'Annecy, lié à sa géomorphologie. La désoxygénation des eaux profondes a débuté dès le printemps au niveau du fond dans le grand lac et est devenue très forte en fin d'année dans la couche d'eau de 55 à 60m.

Le Petit Lac est très influencé par les apports des affluents comme on peut le noter le 17 septembre au lendemain d'un épisode pluvieux. On note alors le maximum de carbone organique total, une forte turbidité vers 14 m, le plus faible rapport N/P (apport de P par les rivières), la présence d'une diatomée benthique qui se trouve normalement

sur les cailloux en limite air-eau et qui a dû être apportée par les eaux des rivières ainsi qu'un pic des calanoïdes.

L'année 2008 présente des biomasses de phytoplancton parmi les plus faibles de la chronique 1996-2008. On remarque également que l'évolution de la diversité algale est à la baisse et l'année 2008 présente la diversité la plus faible de toute la chronique.

Les espèces d'algues les plus fréquentes et présentes constamment sur la chronique 1996-2008 sont des algues mixotrophes (organismes capables de se nourrir aussi bien par autotrophie que par hétérotrophie), préférant les lacs oligotrophes (*Dinobryon* spp., *Mallomonas* spp.). Des espèces caractéristiques de lacs eutrophes brassés, sensibles aux faibles concentrations en silice apparues en 2000/2001, dont la biomasse avait augmenté significativement jusqu'en 2005, ont diminué en abondance jusqu'en 2008 dans le Grand lac. On note également que les espèces sensibles au broutage du zooplancton présentent une cinétique de raréfaction.

Cela peut être dû à la forte augmentation des copépodes calanoïdes depuis 2001.