

ÉVOLUTION DU ZOOBENTHOS DU LÉMAN (PETIT LAC)

CHANGES IN THE ZOOBENTHIC COMMUNITIES IN LAKE GENEVA (PETIT LAC)

Campagne 2009

PAR

Brigitte LODS-CROZET

LABORATOIRE DU SERVICE DES EAUX, SOLS ET ASSAINISSEMENT (SESA)
Chemin des Boveresses 155, CH - 1066 EPALINGES

RÉSUMÉ

Un suivi du zoobenthos profond du Petit Lac entre 15 et 71 m de profondeur est réalisé en mai 2009 sur 9 stations, réparties sur 3 transects perpendiculaires à la rive et correspondant à 3 principales fosses du Petit Lac. Un total de 56 taxons de vers oligochètes, larves de chironomidés, éphémères et trichoptères, mollusques, planaires, sangsues et crustacés colonisent les sédiments profonds. Aussi bien la richesse que l'abondance des espèces diminue fortement avec la profondeur. L'indice de qualité benthique (IQB-AL) basé sur les peuplements d'oligochètes de chironomidés profonds varie entre 1.3 ± 0.1 et 1.42 ± 0.25 en 2009 au niveau des 3 transects avec les valeurs les plus élevées côté Nyon. En comparaison, l'IQB-AL calculé pour 1999 varie suivant le même gradient entre 1.57 ± 0.14 et 2.19 ± 0.18 . Il apparaît donc que les conditions environnementales au niveau des sédiments profonds ne se sont pas améliorées dans cet intervalle de 10 ans mais plutôt dégradées, ceci malgré une diminution significative du phosphore dans le Petit Lac (22.3 à $13.1 \mu\text{gPtot}\cdot\text{L}^{-1}$) et une concentration en oxygène dissous au niveau du fond toujours supérieure à $4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Les facteurs de régression de la qualité des sédiments sont certainement liés à l'accroissement très fort de la biomasse phytoplanctonique depuis le début des années 2000 avec un doublement des concentrations au cours des années 2001, 2005 et 2007. Une amélioration de la qualité biologique des sédiments sera à terme liée à la réduction de la production phytoplanctonique, elle-même contrôlée par des facteurs comme la stabilité de la colonne d'eau et la température des eaux qui a une tendance significative à l'augmentation depuis 25 ans. L'utilisation de plusieurs approches descriptives et de bioindication de la faune benthique des sédiments est donc actuellement nécessaire pour apprécier l'évolution du fonctionnement trophique à long terme du Léman.

ABSTRACT

The deep zoobenthos in Petit Lac at depths of between 15 and 71 m was monitored in May 2009 at 9 stations, distributed on 3 transects perpendicular to the bank and corresponding to 3 of the main ditches in Petit Lac. A total of 56 taxons of oligochaetae, chironomid larvae, ephemerals and trichoptera, flat mollusks, leeches and crustaceae colonise the bottom sediments. Both the diversity and the abundance of the species declined markedly with depth. The benthic quality index (BQI-AL) based on the populations of deep oligochaetae and chironomids ranged from 1.3 ± 0.1 to 1.42 ± 0.25 in 2009 in the 3 transects with the highest values on the Nyon side. In comparison, on the same gradient the BQI-AL calculated for 1999 ranged from 1.57 ± 0.14 to 2.19 ± 0.18 . It therefore appears that the environmental conditions in the deep sediments did not improve over this period of 10 years, but in fact had actually deteriorated despite a significant reduction in phosphorus in Petit Lac (from 22.3 to $13.1 \mu\text{gPtot}\cdot\text{L}^{-1}$) and a concentration of dissolved oxygen at the bottom that always remained above 4 mg/L . The regression factors of the sediment quality are clearly linked to the very sharp increase in the phytoplankton biomass since the early 2000s, with concentrations doubling in the years 2001, 2005 and 2007. Any improvement in the biological quality of the sediments will in the end be linked to a reduction in phytoplankton production, which is itself controlled by factors such as the stability of the water column and of the water temperature, which has displayed a significant upward trend over the last 25 years. It is therefore now necessary to apply several different descriptors and bioindicators to the benthic fauna of the sediments in order to assess the long-term change in the trophic functioning of Lake Geneva.

1. INTRODUCTION

L'étude des communautés benthiques joue un rôle de base dans l'évaluation de la qualité écologique des écosystèmes lacustres. Le zoobenthos profond est en particulier exposé aux variations des conditions de milieu, tant au travers du cycle des nutriments qu'au niveau des teneurs en oxygène dissous. Comme les invertébrés benthiques ont généralement de longs cycles de vie, les conséquences de perturbations ponctuelles ou chroniques sont intégrées au niveau de la distribution, de la fréquence et/ou de la diversité du zoobenthos. Durant ces dernières décennies, plusieurs outils de biomonitoring ont intégré le zoobenthos des lacs (SAETHER, 1979 ; WIEDERHOLM, 1980 ; MILBRINK, 1983 ; LANG, 1990 ; MOUTHON, 1993 ; p. ex.). La mise au point d'un indice de qualité global et pertinent pour le zoobenthos des lacs profonds européens est en développement car la directive cadre européenne sur la qualité écologique des eaux (UE, 2000) demande une évaluation des masses d'eau avec pour objectif l'obtention du bon état écologique d'ici 2015 (AFNOR, 2005 ; VERNEAUX *et al.*, 2004 ; MILLET *et al.*, 2010 ; ROSSARO *et al.*, 2011 ; VERBRUGGEN *et al.* ; 2011).

La faune benthique des sédiments du Léman, et plus particulièrement les vers oligochètes, les insectes chironomidés, et les mollusques bivalves sphaeriidés est connue depuis le début du XX^e siècle. Dans le cadre du programme vaudois de surveillance des milieux aquatiques, les communautés zoobenthiques du Petit Lac ont été suivies en 2009 entre 15 et la zone de profondeur maximum. Ce monitoring permet de suivre l'évolution de la structure des communautés benthiques profondes par confrontation de différentes approches descriptives et de bioindication et d'établir un diagnostic de l'état biologique des sédiments.

2. STATIONS ET MÉTHODES

En 2009, 9 stations ont été échantillonnées au niveau des 3 principales fosses du Petit Lac, le long de 3 transects perpendiculaires à la rive et à plusieurs profondeurs : maximum 71 m ; moyenne 40 m et dans la zone sublittorale à 15 m (figure 1 ; Tableau 1). Dans chaque station, 5 échantillons de sédiments ont été prélevés à l'aide d'une benne de type Ekman (surface : 225 cm²) entre le 5 et le 7 mai. Une carotte de sédiment a également été prise dans les stations les plus profondes (71 et 40 m). L'analyse des cinq premiers centimètres porte sur la teneur en matière organique (perte au feu et exprimée en pourcent du poids sec après combustion à 550°C pendant 4h) et sur la teneur en phosphore particulaire (calcination, acidification et spectrophotométrie).

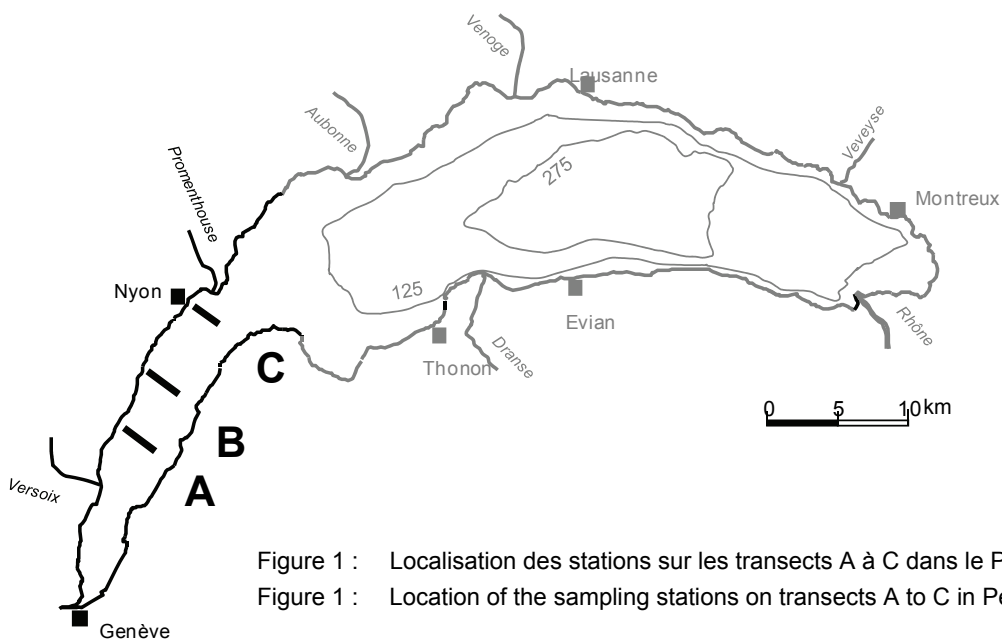


Figure 1 : Localisation des stations sur les transects A à C dans le Petit Lac.

Figure 1 : Location of the sampling stations on transects A to C in Petit Lac.

Tableau 1 : Coordonnées géographiques le long des 3 transects dans le Petit Lac.

Table 1 : Geographical coordinates along the 3 transects in Petit Lac.

Région	X	Y	X	Y
	Profondeur maxi		Profondeur mini	
Chevrens - Coppet	506000	128000	504340	129700
Tougues - Founex	507500	131500	505360	132000
Nernier - Nyon	510800	136350	508200	137000

En laboratoire, le sédiment des bennes est tamisé (vide de maille 0.315 mm) et le refus du tamis est conservé au formol 5%. La macrofaune récoltée est constituée principalement de vers oligochètes (lumbriculidés, tubificidés, naïdés), de larves d'insectes (chironomidés, éphémères, trichoptères), de mollusques, crustacés et sangsues. Après coloration au Rose Bengal (meilleure distinction des oligochètes), les organismes sont triés et comptés sous une loupe binoculaire à faible grossissement (6x). Un sous-échantillonnage des oligochètes de chaque échantillon est réalisé de façon aléatoire jusqu'à l'obtention d'un total de 120 vers. Ces vers et les chironomidés sont ensuite montés entre lame et lamelle (REYMOND, 1994) puis identifiés à l'espèce ou au groupe d'espèces.

L'évaluation de la qualité écologique des sédiments est basée sur plusieurs paramètres :

- Richesse taxonomique et densité des oligochètes et chironomidés aux trois profondeurs
- Indice de qualité benthique basé sur les oligochètes et les chironomidés (IQB-AL) selon SAETHER (1979) et WIEDERHOLM (1980), adapté au zoobenthos de lacs européens de l'écorégion alpine AL3 (profondeur moyenne > 15 m ; altitude 50-800 m). La valeur de sensibilité de chaque espèce est basée sur un jugement d'experts (données historiques, données paléolimnologiques, indices saprobies (LANG, 1990 ; LOTTER *et al.*, 1997 ; MOOG, 2002 ; MILLET *et al.*, 2010 ; ROSSARO *et al.*, 2011). Cet indice est calculé pour la zone profonde (40 - 71 m). L'indice croît avec l'amélioration de la qualité des sédiments entre des valeurs comprises entre 1 et > 4.

$$IBQ-AL = \sum_{i=1}^p S_i \cdot n_i / N$$

S_i = valeur de sensibilité pour chaque espèce (voir Tableau 2)
 n_i = nombre d'individus de l'espèce i
 N = nombre total d'individus des espèces indicatrices
 p = nombre d'espèces

L'indice de qualité benthique IQB-AL est calculé puis comparé avec des données de 1999 (159 échantillons prélevés au tube carottier de surface : 16 cm²) dans le Petit Lac (LANG, 2000a ; LANG, 2000b) et de 2006 dans la zone de la barre d'Yvoire (52-72 m) sur 27 échantillons de sédiment prélevés au tube carottier de même surface (données non-publiées).

3. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

3.1 Composition faunistique, répartition spatiale et bathymétrique

Un total de 25 taxons d'oligochètes colonisent les fonds entre 15 et 71 m et de manière relativement homogène sur les 3 transects (Tableau 2). Les taxons se répartissent entre les Lumbriculidés (2 espèces), Tubificidés (15 taxons) et Naïdés (8 taxons). Ces derniers sont principalement présents dans la zone sublittorale, excepté *Uncinaiis uncinata* qui est prélevé à 40 m de profondeur. *Embolocephalus velutinus* est caractéristique de la zone profonde (à partir de 40 m) et *Spirosperma ferox* ne va pas au-delà de 40 m. Les taxons les plus fréquents et abondants sont *Limnodrilus* avec principalement *L. hoffmeisteri*, le groupe *Potamothrix hammoniensis/heuscheri* et *Tubifex tubifex*.

Sur un total de 15 taxons de chironomidés, 7 colonisent uniquement la zone sublittorale et 4 sont présents aux plus grandes profondeurs (*Paracladopelma gr. nigriflora*, *Micropsectra contracta*, *Procladius sp.*, *Sergentia coracina*). *Micropsectra contracta* et *Procladius sp.* sont les deux taxons les plus abondants et les plus fréquents.

Parmi les autres groupes faunistiques (14 taxons), seuls les mollusques sphaeriidés colonisent toutes les profondeurs. Trois espèces sont présentes : *Pisidium personatum* et *Pisidium conventus*, cette dernière caractéristique des eaux froides des grands lacs et *Sphaerium corneum*, eurytope est prélevé en zone sublittorale.

Les autres mollusques, planaires, sangsues, crustacés, éphémères et trichoptères sont principalement des taxons caractéristiques des zones littorales et sublittorales. Seuls 4 taxons sont fréquents (> 70% échantillons) : *Dugesia*, *Polycelis*, *Helobdella*, *Asellus*.

La richesse moyenne des taxons décroît graduellement avec la profondeur pour les oligochètes et chironomidés (figure 2) et de manière très accentuée entre 15 et 40 m pour les autres invertébrés.

Tableau 2 : Présence des macroinvertébrés des sédiments du Petit Lac en 2009 et 1999 et préférences bathymétriques. Si : valeur de sensibilité ; nd : donnée non disponible.

Table 2 : Presence of macroinvertebrates in the sediments of Petit Lac in 2009 and 1999 and bathymetric preferences. Si : Sensitivity value ; nd : no data available.

Si	OLIGOCHETES - vers	Transect			Prof (m)			1999
		A - Chevrens	B - Tougues	C - Nyon	15	40	71	
3	<i>Stylodrilus heringianus</i>		x	x				x
3	<i>Stylodrilus lemami</i>	x	x	x				x
4	<i>Bichaeta sanguinea</i>							x
4	<i>Emblocephalus velutinus</i>		x	x				x
4	<i>Spirosperma ferox</i>	x	x	x				x
4	<i>Psammoryctides barbatus</i>		x					x
2	<i>Potamothrix vejdoskyi</i>	x	x	x				x
2	<i>Potamothrix moldaviensis</i>	x	x	x				x
1	<i>Limnodrilus claparedeanus</i>	x						
1	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	x	x	x				x
1	<i>Limnodrilus profundicola</i>			x				x
1	<i>Limnodrilus udekemianus</i>			x				
1	<i>Limnodrilus sp. (immatures)</i>	x	x	x				x
1	<i>Potamothrix hammoniensis</i>	x	x	x				x
1	<i>Potamothrix heuscheri</i>	x	x	x				x
1	<i>Tubifex tubifex</i>	x	x	x				x
1	<i>P. hammoniensis, P. heuscheri, T. tubifex (immatures)</i>	x	x	x				x
2	<i>Aulodrilus pluriseta</i> Piquet	x		x				
3	<i>Ophidonais serpentina</i>	x	x					nd
3	<i>Specaria josinae</i>	x	x					nd
4	<i>Uncinaiis uncinata</i>	x		x				nd
4	<i>Vejdoskyella intermedia</i>		x	x				nd
3	<i>Stylaria lacustris</i>	x						nd
	<i>Dero sp.</i>			x				nd
	<i>Nais sp.</i>		x					nd
	<i>Pristina sp.</i>			x				nd
	CHIRONOMIDES - Insectes							
4	<i>Paracladopelma nigrifula</i> gr.	x	x	x				x
4	<i>Orthocladius (O.) sp.</i>			x				x
4	<i>Macropelopia sp.</i>							x
3	<i>Micropsectra contracta</i>	x	x	x				x
2	<i>Sergentia coracina</i>	x	x	x				x
2	<i>Microtendipes chloris</i>	x	x	x				
2	<i>Polypedilum nubeculosum</i>	x	x	x				
2	<i>Tanytarsus spp.</i>	x	x	x				x
2	<i>Tanytarsus mendax</i> gr.		x					
1	<i>Procladius (H.) spp.</i>	x	x	x				x
1	<i>Cryptochironomus sp.</i>	x	x	x				
1	<i>Dicrotendipes sp.</i>	x	x	x				x
	<i>Ablabesmyia phatta</i>	x	x					
	<i>Cricotopus (C.) fuscus</i> gr.	x	x					
	<i>Eukiefferiella sp.</i>	x						
	<i>Parakiefferiella sp.</i>	x						
MOLLUSQUES	<i>Sphaeriidae</i>	x	x	x				nd
	<i>Dreissena polymorpha</i>	x						nd
	<i>Bithynia tentaculata</i>	x						nd
	<i>Radix balthica</i>	x						nd
PLANAIRES	<i>Dugesia sp.</i>	x	x	x				nd
	<i>Polycelis sp.</i>	x	x	x				nd
SANGSUES	<i>Erpobdella octoculata</i>	x	x	x				nd
	<i>Helobdella stagnalis</i>	x	x	x				nd
	<i>Glossiphonia sp.</i>	x	x	x				nd
	<i>Hemiclepsis marginata</i>	x						nd
CRUSTACES	<i>Asellus aquaticus</i>	x	x	x				nd
	<i>Gammarus pulex/fossarum</i>	x	x	x				nd
INSECTES	<i>Caenis sp.</i>	x	x	x				nd
	<i>Leptoceridae</i>	x	x	x				nd

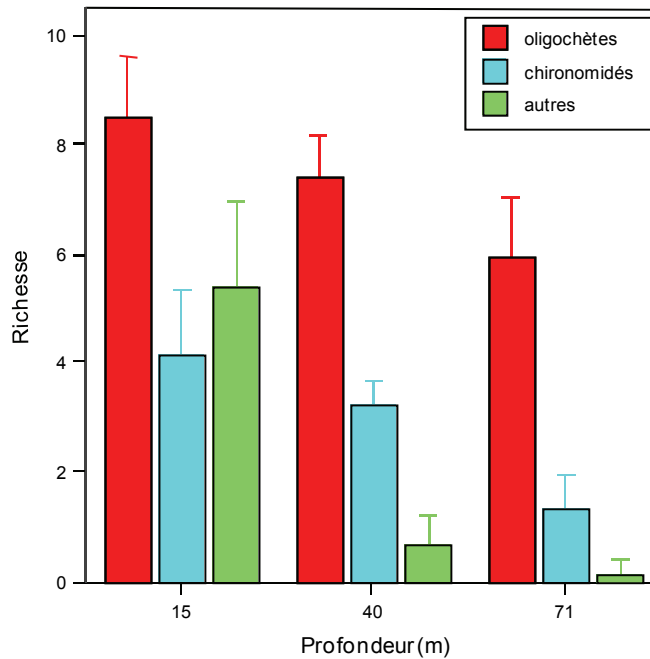


Figure 2 : Richesse moyenne (\pm intervalles de confiance à 95%) du zoobenthos du Petit Lac à 3 profondeurs.

Figure 2 : Mean diversity (\pm 95% intervals of confidence) of the zoobenthos in Petit Lac at 3 different depths.

3.2 Densité

Comme pour la richesse, c'est dans la zone sublittorale que la densité est la plus élevée en oligochètes (21'285 à 29'304 ind. \cdot m⁻²) sur les trois transects (figure 3). A 40 et 71 m, l'abondance est 4 à 5 fois moins élevée (3'294 à 7'255 ind. \cdot m⁻²) avec une abondance minimale sur le transect C, à 71 m dans la fosse de Nyon. Cette constatation est à relier à une plus faible sédimentation organique. En effet, les paramètres, pourcentage de matière organique et phosphore particulaire, ont des valeurs plus basses que sur les deux autres transects (Tableau 2).

Au niveau des chironomidés, les abondances les plus grandes sont enregistrées à 40 m de profondeur (1'838 à 2770 ind. \cdot m⁻²) avec une dominance de *Micropsectra contracta*, *Procladius sp.* et *Sergentia coracina* (figure 4).

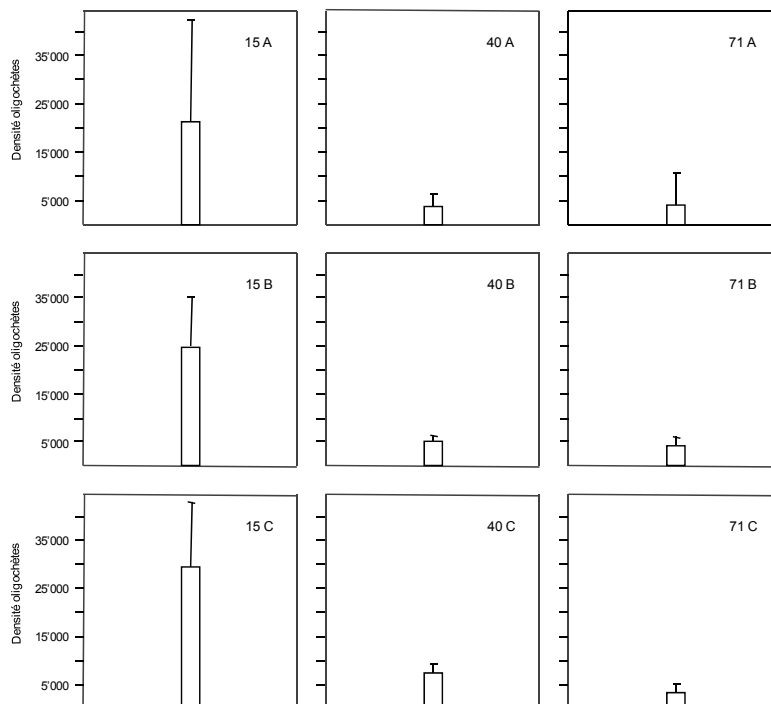


Figure 3 : Densité des vers oligochètes (Nb.ind. \cdot m⁻² et \pm intervalles de confiance à 95%) sur les transects A, B et C aux 3 profondeurs (15, 40 et 71 m)

Figure 3 : Density of oligochaetae (Number of individuals \cdot m⁻² (\pm 95% intervals of confidence) on transects A, B and C at 3 different depths (15, 40 and 71 m)

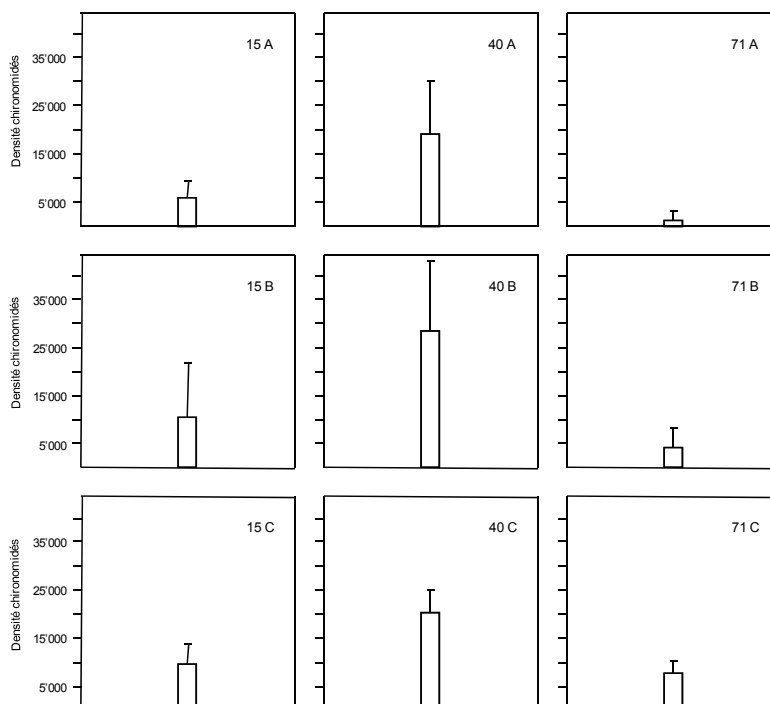


Figure 4 : Densité des larves de chironomidés (Nb.ind.m⁻² et ± intervalles de confiance à 95%) sur les transects A, B et C aux 3 profondeurs (15, 40 et 71 m).

Figure 4 : Density of chironomid larvae (Number of individuals.m⁻² and ±95% intervals of confidence) on transects A, B and C at 3 different depths (15, 40 and 71 m).

Tableau 3 : Valeurs du pourcentage de matière organique et du phosphore particulaire dans les sédiments dans les 3 transects à différentes profondeurs.

Table 3 : Values of the percentage of organic matter and particulate phosphorus in the sediments at different depths in the 3 transects.

Transect	Prof. (m)	% mat. org.	P part. (mg/kg)
A	71	7.9	0.96
A	40	6.7	0.77
B	71	7.2	0.85
B	40	7.4	0.80
C	71	4.6	0.65
C	40	5.8	0.67

3.3 Indice de qualité benthique de la zone profonde et évolution

L'IQB-AL moyen basé sur les peuplements d'oligochètes de chironomidés profonds (40 et 71 m) varie entre 1.3 ± 0.1 et 1.42 ± 0.25 en 2009 au niveau des 3 transects avec les valeurs les plus élevées côté Nyon. En comparaison, l'IQB-AL en 1999 varie suivant le même gradient entre 1.57 ± 0.14 et 2.19 ± 0.18 (figure 5). Sur la barre d'Yvoire à l'entrée du Grand Lac, cet indice s'élève à 3.0 ± 0.34 en 2006, soit le double de celui calculé dans les 3 fosses.

Il apparaît que les conditions environnementales au niveau des sédiments profonds ne se sont pas améliorées dans cet intervalle de 10 ans mais plutôt dégradées, ceci malgré une diminution significative du phosphore dans le Petit Lac (22.3 à $13.1 \mu\text{gPtot}\cdot\text{L}^{-1}$) et une concentration en oxygène dissous au niveau du fond toujours supérieure à $4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Les facteurs de régression de la qualité des sédiments sont certainement liés à l'accroissement très fort de la biomasse phytoplanctonique depuis le début des années 2000 (figure 6) avec un doublement des concentrations au cours des années 2001, 2005 et 2007. Malgré l'oligotrophisation de la colonne d'eau visible au niveau des concentrations en phosphore, la réponse de l'écosystème au niveau du compartiment phytoplanctonique a privilégié des espèces algales filamenteuses comme *Mougeotia gracillima*, capables d'exploiter le phosphore en plus grande profondeur (ANNEVILLE, 2001 ; RIMET, 2010). Cette biomasse très élevée a entraîné une forte sédimentation organique au niveau des zones d'accumulation que constituent les 3 fosses. Une régression consécutive est alors observée pour des espèces sensibles inféodées aux sédiments comme les oligochètes *Emboलोcephalus velutinus* (abondance relative 3.8% en 1999 ; 1.5% en 2009) et *Stylodrilus heringianus* et *S. lemani* (6.9% en 1999 ; 0.5% en 2009). De surcroît, une espèce très sensible, *Bichaeta sanguinea*, avec une abondance relative de 3.6 % en 1999 (LANG, 2000b) n'a pas été retrouvée en 2009. Pour les chironomidés vivant à l'interface eau-sédiment, l'évolution est plus nuancée car l'espèce très sensible, *Paracladopelma gr. nigrītula* est en accroissement (1% en 1999, 11% en 2009).

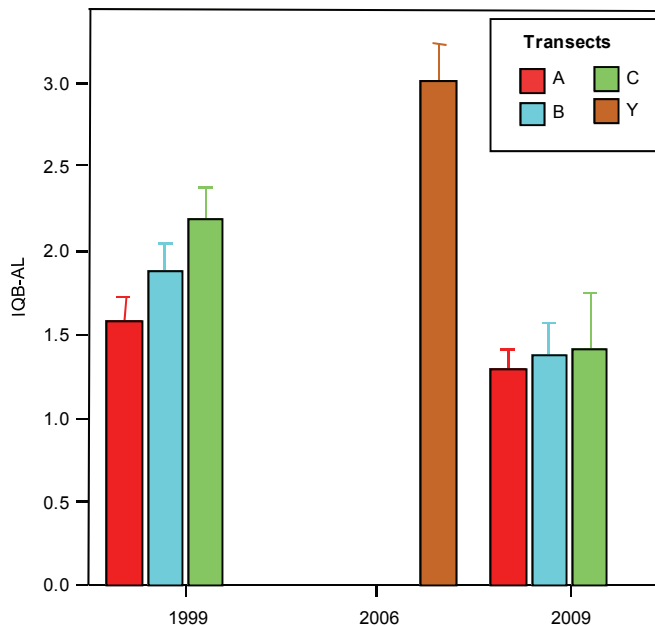


Figure 5 : Evolution de l'indice de qualité benthique de l'écorégion alpine (IQB-AL) sur les transects A, B et C en 1999 et 2009 entre 40 et 71 m et sur la barre d'Yvoire (Y) (52-72 m) en 2006 (moyennes \pm intervalles de confiance à 95%).

Figure 5 : Change in the benthic quality index in the alpine ecoregion (BQI-AL) on transects A, B and C in 1999 and 2009 between 40 and 71 m and on the barre d'Yvoire (Y) (52-72 m) in 2006 (means \pm 95% intervals of confidence).

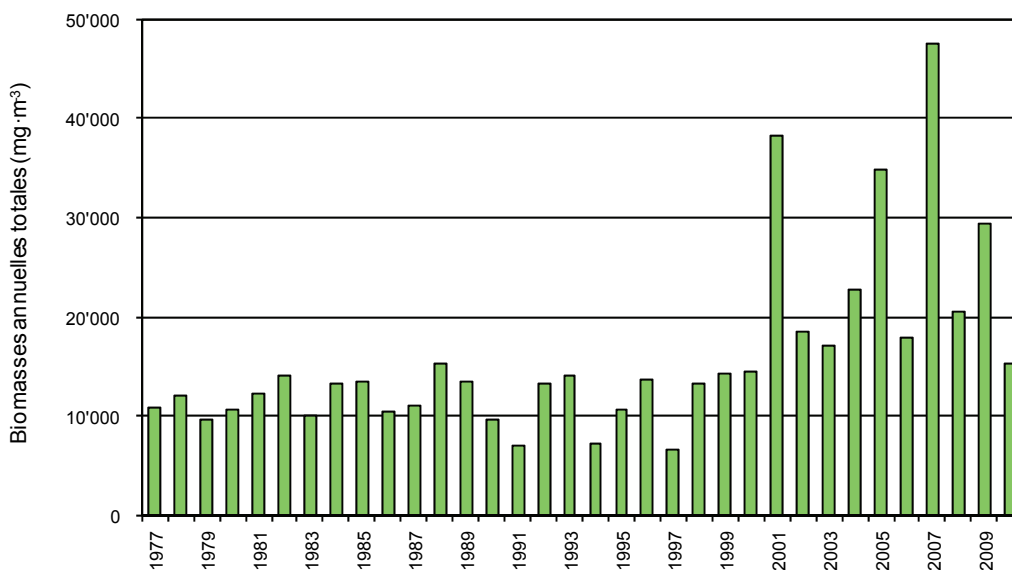


Figure 6 : Evolution des biomasses annuelles de phytoplancton entre 0 et 20 m à la station GE3 du Petit Lac (données SECOE, canton de Genève).

Figure 6 : Change in the annual phytoplankton biomasses between 0 and 20 m at GE3 in Petit Lac (SECOE data, canton de Genève).

4. CONCLUSIONS

Les meilleures valeurs de l'indice de qualité benthique (IQB-AL) obtenues sur la barre d'Yvoire en 2006, démontrent que l'ampleur de la sédimentation organique a un effet marqué sur la structure des communautés benthiques. Dans cette zone de seuil entre le Grand et Petit Lac et de moindre accumulation sédimentaire liée à la pente, les sédiments profonds peuvent être considérés de moyenne à bonne qualité comparé à celles atteintes dans les 3 fosses du Petit Lac où la qualité est médiocre en 2009. La diminution de l'IQB-AL constatée de Nyon en direction de Genève met en valeur un gradient d'accumulation de matière organique lié à l'hydromorphologie et aux courants principalement.

Pour comparaison, l'évaluation trophique du Petit Lac par le Service de l'Ecologie de l'Eau - Genève (SECOE, 2008) et basée sur les paramètres OCDE, donne une classification mésotrophe pour le phosphore total et la chlorophylle *a* et oligotrophe si l'on prend la transparence des eaux.

L'utilisation de plusieurs descripteurs benthiques est pertinent car les vers oligochètes reflètent les conditions prévalant à l'intérieur du sédiment et sont des indicateurs à long terme de la métabolisation de la matière organique tandis que les insectes chironomidés sont des indicateurs à plus court terme de la situation à l'interface eau-sédiment. Une amélioration de la qualité biologique des sédiments sera à terme liée à la réduction de la production phytoplanctonique. Les valeurs du phosphore déjà inférieures à 15 µgP·L⁻¹ depuis 2008 montrent que certainement d'autres facteurs comme la température des eaux, qui a une tendance significative à l'augmentation depuis 25 ans (LAZZAROTTO *et al*, 2011), rentrent en jeu pour le contrôle du développement des communautés phytoplanctoniques.

Remerciements : L'aide efficace sur le terrain de Sébastien ROJARD, garde-pêche permanent, nous a permis de mener à bien ce travail. Nous tenons également à remercier Pascal STUCKI, du bureau Aquabug de Neuchâtel, pour la détermination des mollusques sphaeriidés.

BIBLIOGRAPHIE

- AFNOR (2005) : Qualité de l'eau - Détermination de l'indice oligochètes de bioindication lacustre (IOBL). Association française de Normalisation (AFNOR) NF T 90-391, 17 p.
- ANNEVILLE, O. (2001) : Diagnostic sur l'évolution de l'état de santé écologique du Léman par l'analyse des séries chronologiques du phytoplancton. Thèse Université Claude Bernard-Lyon1, 253p. + annexes.
- LANG, C. (1990) : Quantitative relationships between oligochaete communities and phosphorus concentrations in lakes. *Freshwater Biology*, 24, 327-334.
- LANG, C. (2000a) : Evolution de l'état trophique du Petit lac entre 1994 et 1999 indiquée par les communautés de vers et de chironomides. *Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1999*, 129-133.
- LANG, C. (2000b) : Réponse des communautés d'oligochètes (Tubificidés et Lumbriculidés) et de diptères chironomidés à la baisse des teneurs en phosphore dans le Léman (Petit Lac). *Ann. Limnol. M - Int. J. Lim.*, 36, 13-20.
- LAZZAROTTO, J., NIREL, P. et RAPIN, F. (2011) : Evolution physico-chimique des eaux du Léman (éléments majeurs). *Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2010*, 31-63.
- LOTTER, A.F., BIRKS, H.J.B., HOFMANN, W. et MARCHETTO A. (1997) : Modern diatoms, cladocera, chironomid and chrysophyte cyst assemblages as quantitative indicators for the reconstruction of past environmental conditions in the Alps. I. Climate. *Journal of Paleolimnology*, 18, 395-420.
- MILBRINK, G. (1983) : An improved environmental index based on the relative abundance of oligochaete species. *Hydrobiologia*, 102, 89-97.
- MILLET, L., GIGUET-COVEX, C., VERNEAUX, V., DRUART, J.-C., ADATTE, T. ET ARNAUD, F. (2010) : Reconstruction of the recent history of a large deep prealpine lake (Lake Bourget, France) using subfossil chironomids, diatoms, and organic matter analysis : towards the definition of a lake-specific reference state. *J. Paleolimnology*, 44, 963-978.
- MOOG, O. (2002) (Ed.) : Fauna Aquatica Austriaca. Katalog zur autökologischen Einstufung aquatischer Organismen Österreichs. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- MOUTHON, J. (1993) : Un indice biologique lacustre basé sur l'examen des peuplements de mollusques. *Bull. Fr. Pêche Pisc.*, 331,397-406.

- REYMOND, O. (1994) : Préparations microscopiques permanentes d'oligochètes: une méthode simple. Bull. Soc. Vaud. Sc. nat. ; 83 ; 1-3.
- RIMET, F. (2010) : Phytoplancton du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2009, 77-88.
- ROSSARO, B., BOGGERO, A., LODS-CROZET, B., FREE, G., LENCIONI, V. et MARZIALI, L. (2011) : A comparison of different biotic indices based on benthic macro-invertebrates in italian lakes. J. Limnology, 70, 109-122.
- SAETHER, O. A. (1979) : Chironomid communities as water quality indicators. Holarctic Ecology, 2, 65-74.
- SECOE (2008) : Etat écologique du Petit Lac en 2008. Rapport Direction générale de l'eau, canton de Genève, 91p.
- VERBRUGGEN, F., HEIRI, O., MERILÄINEN, J.J. et LOTTER, A.F. (2011) : Subfossil chironomid assemblages in deep, stratified European lakes: relationships with temperature, trophic state and oxygen. Freshwater Biology, 56, 407-423.
- VERNEAUX, V., J. VERNEAUX, A. SCHMITT, LOVY, C. et LAMBERT, J.C. (2004) : The Lake Biotic Index (LBI) : an applied method for assessing the biological quality of lakes using macrobenthos; the lake Châlain (French Jura) as an example. Ann. Limnol. - Int. J. Lim., 40 (1), 1-9.
- WIEDERHOLM, T. (1980) : Use of benthos in lake monitoring. Journal Water Pollution Control Federation, 52, 537-547.