Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles

Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles

Band: 92 (2010-2011)

Heft: 2

Artikel: État écologique des sédiments de deux lacs de montagne indiqué par les oligochètes et les chironomides

Autor: Lang, Claude

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-284222

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Bull. Soc. vaud. Sc. nat. 92.2: 47-60 ISSN 0037-9603

Etat écologique des sédiments de deux lacs de montagne indiqué par les oligochètes et les chironomides

par

Claude LANG[1]

Résumé.–LANG C., 2010. Etat écologique des sédiments de deux lacs de montagne indiqué par les oligochètes et les chironomides. *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles* 92.2: 47-60.
Dans deux lacs de montagne de Suisse occidentale, les oligochètes et les chironomides ont été étudiés à partir de 772 échantillons de sédiment (de 16 cm^2 chacun) récoltés en plongée à 4 profondeurs (10 m,12 m, 15 m, 20 m). Sur la base de ces 772 échantillons récoltés entre 1978 et 2006, le nombre moyen d'individus par m^2 était de 3027 pour les oligochètes et de 2035 pour les chironomides dans le lac Lioson (LL) tandis que, dans le lac des Chavonnes (LC), ces nombres s'élevaient respectivement à 7697 et 778 individus. Les pourcentages des chironomides, calculés relativement au nombre total des oligochètes et des chironomides, étaient de 43% dans LL et de 12% dans LC. Ces valeurs diminuaient de 56% à 20% entre 10 m et 20 m de profondeur dans LL tandis que, dans LC, ces valeurs passaient de 20% à 4% pour ces mêmes profondeurs. Comme les chironomides tolèrent moins bien les pollutions que les oligochètes, les tendances observées indiquent que l'état écologique des sédiments de LL est meilleur que celui de LC. A l'appui de cette évaluation, les espèces très intolérantes (*Stylodrilus heringianus, Heterotrissocladius marcidus, Paracladopelma camptolabis*) dont les individus forment 70% de la communauté dans les lacs non pollués sont présentes dans LL seulement. L'espèce très tolérante *Tubifex tubifex* est la plus abondante espèce d'oligochète dans les deux lacs. Entre 1978 et 2006, les nombres d'oligochètes diminuent significativement dans LL, mais pas dans LC. Le rapport nombre de chironomides sur nombre d'oligochètes augmente à 12 m de profondeur dans les deux lacs. Ces tendances pourraient indiquer une amélioration de l'état écologique des sédiments. Mais elles pourraient également être attribuées au fait que certains prélèvements ont été effectués plus tôt de 2002 à 2006 que de 1978 à 2001 (en juin au lieu d'août), c'est-à-dire avant l'émergence de certains des chironomides.

Mots clés: indice benthique, chironomide, eutrophisation, indicateur, lac, oligochètes, sédiment, zoobenthos.

Abstract.–LANG C., 2010. Ecological state of sediment in two mountain lakes indicated by oligochaetes and chironomids. *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles* 92.2: 47-60.
In two mountain lakes of western Switzerland, oligochaetes and chironomids were studied from

[1]Condémines 32, CH-1028 Préverenges, Suisse.
E-mail: claudelang41@hotmail.com

CODEN: BSVAA6

2010 © Société vaudoise des Sciences naturelles
Droits de reproduction réservés

772 samples of sediment (16 cm^2 each) collected by a diver at 4 depths (10 m, 12 m, 15 m, and 20 m). Based on these 772 samples collected from 1978 to 2006, the mean number of individuals per m^2 was 3027 for the oligochaetes and 2035 for the chironomids in Lake Lioson (LL) whereas, in Lake Chavonnes (LC), these numbers were respectively 7697 and 778 individuals. The mean percentages of chironomids, relative to the combined number of oligochaetes and chironomids, were respectively 43% for LL and 12% for LC. These values decreased from 56% at a depth of 10 m to 20% at a depth of 20 m in LL whereas, in LC, these values decreased from 20% to 4% for the same depths. As chironomids are less tolerant of pollutions than oligochaetes, the observed trends indicated that the ecological state of sediment was better in LL than in LC. To confirm this assessment, the very intolerant species (*Stylodrilus heringianus, Heterotrissocladius marcidus, Paracladopelma camptolabis*) whose individuals form 70% of the community in the unpolluted lakes were present in LL only. The very tolerant species *Tubifex tubifex* was the most abundant oligochaete in both lakes. Between 1978 and 2006, the number of oligochaetes decreased significantly in LL but not in LC. The percentages of chironomids relative to oligochaetes increased at a depth of 12 m in LL and in LC. These trends suggested an improvement of the ecological state of sediment between 1978 and 2006 in both lakes. But they could also be attributed to the fact that some samples have been collected earlier from 2002 to 2006 than from 1978 to 2001 (in June instead of August), i.e. before the emergence of some chironomids.

Keywords: benthic index, chironomid, eutrophication, indicator, lake, oligochaete, sediment, zoobenthos.

Introduction

Les vers oligochètes et les larves de chironomides (insectes Diptères) constituent l'essentiel de la macrofaune présente entre 10 m et 20 m de profondeur dans les sédiments du lac Lioson et du lac des Chavonnes, deux lacs de montagne du canton de Vaud dont la surface est de moins de 7 hectares pour une profondeur maximale d'environ 28 m. Les variations de l'abondance de ces deux groupes d'animaux entre 1978 et 2006 (Lang 1986, Lang & Reymond 1996, Lang résultats inédits, Lods-Crozet *et al.* 2008) sont utilisées pour caractériser l'évolution à long terme de l'état écologique des sédiments (Brinkhurst 1974, Johnson *et al.* 1993).

Les oligochètes sont plus résistants que les chironomides aux pollutions et au manque d'oxygène (Wiederholm 1980). De ce fait, ils deviennent plus abondants que les chironomides lorsque les sédiments perdent une partie de leurs qualités écologiques antérieures, d'où l'utilisation du rapport nombre de chironomides sur nombre d'oligochètes comme indicateur (Wiederholm 1980). Pour les lacs étudiés, l'utilisation de cet indice simple se justifie par le fait qu'il est le seul pour lequel des données sont disponibles pour toute la période qui va de 1978 à 2006. Les espèces d'oligochètes ont toujours été identifiées tandis que les espèces de chironomides ne l'ont été, d'une façon systématique, qu'entre 2002 et 2006 (Lods-Crozet *et al.* 2008).

La présente étude poursuit trois objectifs concernant chaque profondeur étudiée dans chacun des lacs: (1) établir un cadre de référence à partir des valeurs quartiles et extrêmes de l'abondance des oligochètes, des chironomides et du rapport nombre de chironomides sur nombre d'oligochètes, sur la base de tous les prélèvements effectués entre 1978 et 2006; (2) évaluer les tendances suivies entre 1978 et 2006 par les valeurs moyennes de ces trois variables biologiques; (3) comparer, pour la période 2002-2006, les indications fournies par les valeurs du rapport nombre de chironomides sur nombre d'oligochètes à celles obtenues à partir d'indices plus élaborés (Lang 2007, 2009), qui nécessitent de pousser l'identification

des chironomides et des oligochètes jusqu'au niveau de l'espèce. Ces trois objectifs ont le même but: définir l'état écologique des sédiments des deux lacs étudiés et suivre son évolution entre 1978 et 2006.

STATIONS ET MÉTHODES

La localisation, la morphologie et la physico-chimie du lac Lioson (altitude 1848 m) et du lac des Chavonnes (altitude 1690 m) sont présentées en détails ailleurs (LODS-CROZET *et al.* 2008). Signalons cependant que, entre 2002 et 2006, les concentrations moyennes en phosphore total dans l'eau sont plus basses (9 mg/m^3) dans le lac Lioson que celles observées (17 mg/m^3) dans le lac des Chavonnes. De plus, les conditions d'oxygénation de la zone profonde qui sont bonnes dans le lac Lioson, sont mauvaises en dessous de 15 m dans le lac des Chavonnes (LODS-CROZET *et al.* 2008). Le manque d'oxygène observé s'explique en partie par la couche de glace et de neige qui couvre les lacs pendant 5 à 7 mois chaque année.

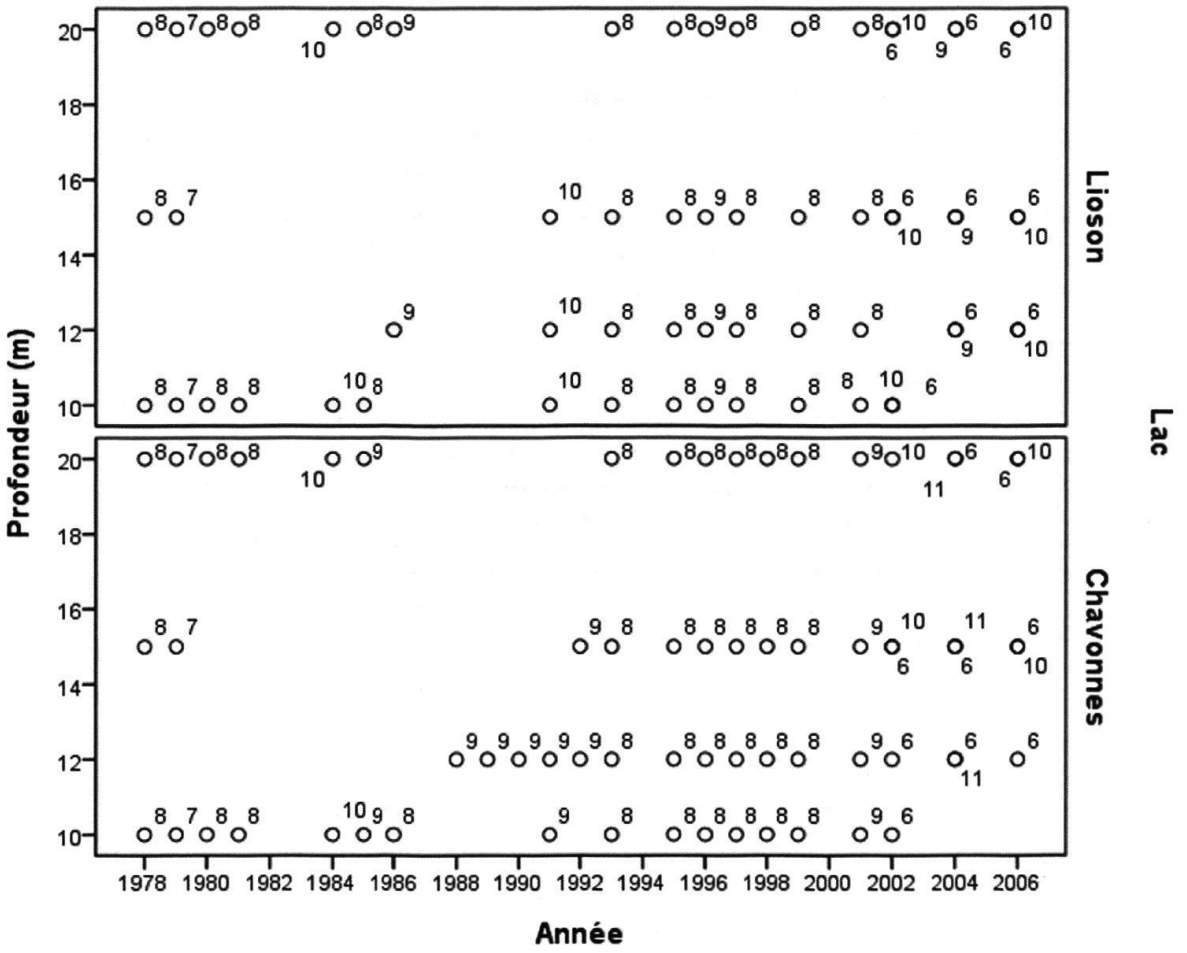

Figure 1.–Répartition des 127 ensembles de prélèvements effectués dans le lac Lioson et le lac des Chavonnes en fonction de l'année et de la profondeur. Les nombres (6 à 11) proches des cercles désignent les mois de prélèvements.

La faune des sédiments est prélevée en plongée à 10 m, 12 m, 15 m et 20 m de profondeur entre juin et novembre au cours d'une série de campagnes de prélèvements effectuées entre 1978 et 2006. La figure 1 présente la répartition des 127 ensembles de prélèvements effectués en fonction du lac visité, de l'année et du mois de visite, de la profondeur étudiée. Chacun de ces 127 ensembles est basé en moyenne sur 6,1 carottes de sédiment de 16 cm^2 chacune. Entre 1978 et 2001, les lacs sont visités une seule fois la même année, le plus souvent en août. En 2002, 2004 et 2006, deux visites sont effectuées la même année: la première en juin, la deuxième entre septembre et novembre.

En laboratoire, le sédiment est tamisé (vide de maille: 0,2 mm) et le refus du tamis est conservé dans du formol 5 %. Les oligochètes et les larves de chironomides sont séparés du sédiment et comptés sous une loupe prélèvement par prélèvement. Les valeurs moyennes des nombres d'oligochètes et de chironomides par m^2 sont calculées pour chacun des 127 ensembles de prélèvements définis ci-dessus. Ces nombres moyens sont utilisés pour calculer le rapport entre le nombre de chironomides et le nombre cumulé d'oligochètes et de chironomides qui, pour simplifier, sera appelé rapport nombre de chironomides sur nombre d'oligochètes dans la suite du texte. Une augmentation de ce rapport, exprimé sous forme de pourcentage, indique une amélioration de l'état écologique du sédiment (WIEDERHOLM 1980). Les valeurs moyennes calculées à partir des 127 ensembles de prélèvements présentent deux avantages par rapport au calcul effectué à partir des 772 carottes: elles sont basées sur un plus grand nombre d'animaux et elles contiennent peu de valeurs zéros, susceptibles de perturber les analyses statistiques (tableau 1).

Pour définir un état de référence, le premier des trois buts définis dans l'introduction, l'analyse porte sur les 127 ensembles de prélèvements effectués entre 1978 et 2006 qui sont répartis en 8 grands ensembles définis par les 2 lacs et les 4 profondeurs étudiées dans chacun d'eux (tableau 1). L'analyse de variance montre que pour chacune des 3 variables

Tableau 1.–Nombre total de carottes de sédiment prélevées dans le lac Lioson (L) et le lac des Chavonnes (C) en fonction de la profondeur entre 1978 et 2006, nombre total de visites par profondeur, nombre moyen de carottes prélevées par visite (C/V), fréquence arrondie (%) des carottes contenant des oligochètes (Fréq. Oli.), fréquence des carottes contenant des chironomides (Fréq. Chir.). Les fréquences en caractères gras sont significativement différentes (test de Chi^2 $p < 0,05$).

Variable	Lac	10 m	12 m	15 m	20 m	10-20 m
Carottes	L	88	72	92	112	364
	C	99	107	98	104	408
Visites	L	15	12	15	19	61
	C	16	16	16	18	66
C/V	L	5.9	6.0	6.1	5.9	6.0
	C	6.2	6.7	61	5.8	6.2
Fréq. Oli.	L	**68**	**69**	83	**87**	78
	C	**100**	**96**	87	**20**	76
Fréq. Chir.	L	82	**86**	**77**	**48**	**71**
	C	72	**69**	**42**	**6**	**48**

utilisées (nombre de chironomides, nombre d'oligochètes, rapport nombre de chironomides sur nombre d'oligochètes) l'effet du lac, de la profondeur ainsi que l'interaction entre l'effet du lac et celui de la profondeur est significatif ($p<0,01$). A cause de l'importance de cette interaction, la signification des différences observées entre les 8 ensembles définis ci-dessus est évaluée globalement au moyen du test non paramétrique de Kruskal-Wallis. Lorsqu'une différence significative est détectée, un test non paramétrique de comparaisons multiples (CAMPBELL & SKILLINGS 1985) est effectué. De cette manière, les valeurs des 3 variables biologiques étudiées dans les 8 ensembles définis ci-dessus sont regroupées en sous-ensembles qui sont statistiquement homogènes. Toutes les analyses statistiques de la présente étude sont réalisées au moyen du programme PASW (version 18 pour Windows).

Le deuxième but, l'analyse des tendances, cherche à déterminer si les valeurs des 3 variables biologiques augmentent ou diminuent significativement entre 1978 et 2006. Pour ce faire, le coefficient de corrélation de rang de Spearman est calculé dans chaque lac et pour chaque profondeur. Les valeurs moyennes des 3 variables biologiques sont corrélées avec l'année au cours de laquelle les prélèvements ont été effectués. Lorsque deux campagnes de prélèvements sont réalisées la même année, le calcul est basé sur les valeurs moyennes de ces deux campagnes; c'est le cas en 2002, 2004 et 2006. De même, pour les profondeurs 10 m et 12 m, les valeurs moyennes de tous les prélèvements effectués à ces profondeurs sont utilisées dans le calcul du coefficient de rang.

Le troisième but visé consiste à comparer les résultats obtenus à partir du rapport nombre de chironomides sur nombre d'oligochètes, pour la période 2002- 2006 (LODS-CROZET *et al.* 2008), à ceux d'indices plus élaborés (LANG 2007, 2009) qui nécessitent d'identifier les espèces et de leur attribuer une valeur indicatrice. Pour ce faire, le nombre moyen d'individus présents par m^2 est déterminé pour chaque espèce à partir du nombre d'individus présents dans toutes les carottes prélevées à une profondeur donnée dans chaque lac, en utilisant l'ensemble des résultats 2002, 2004 et 2006. Les prélèvements effectués à 10 m et à 12 m de profondeur sont cumulés.

Les trois espèces d'oligochètes identifiées sont classées ainsi d'après leur valeur indicatrice (LANG 2009): *Stylodrilus heringianus* Claparède parmi les espèces très intolérantes aux pollutions qui sont les plus abondantes dans la zone profonde des lacs oligotrophes, *Peloscolex ferox* Eisen parmi les espèces tolérantes, *Tubifex tubifex* (Müller) parmi les espèces très tolérantes aux pollutions qui sont les plus abondantes dans la zone profonde des lacs eutrophes.

L'indice benthique utilisant les oligochètes (IBO en abrégé) est calculé en rapportant, sous forme de pourcentage, le nombre d'individus appartenant à des espèces très intolérantes aux pollutions au nombre total d'oligochètes identifiés. La valeur moyenne (%) de IBO peut également être calculée (IBOC) à partir des concentrations moyennes (mg/m^3) en phosphore total (PT) mesurées dans l'eau du lac (LANG 1990) d'après la formule: $IBOC = 80,29 - 8,35\ PT^{0,5}$ ($r^2 = 0,81$, $n = 15$). La valeur de l'indice IBOC, calculée à partir des concentrations moyennes en phosphore indiquées ci-dessus, devrait être de 55% dans le lac Lioson et de 46% dans le lac des Chavonnes. Comme valeur de référence, signalons que dans le Lac Supérieur, le plus grand lac oligotrophe d'Amérique du Nord, les individus appartenant à des espèces très intolérantes constituent, en moyenne, 70% des communautés (LANG 1990).

L'indice IBC07 (indice benthique combiné version 2007) se calcule en combinant les nombres d'individus appartenant à des espèces d'oligochètes et de chironomides très intolérantes aux pollutions (LANG 2009). Ce nombre est ensuite rapporté sous forme de pourcentage à l'abondance des espèces d'oligochètes très tolérantes plus celle des espèces de chironomides et d'oligochètes très intolérantes. Seules *Heterotrissocladius marcidus* (Walk.) et *Paracladopelma camptolabis* gr., les deux espèces de chironomides qui présentent la valeur indicatrice la plus élevée et qui sont par conséquent les plus intolérantes aux pollutions (SAETHER 1979, WIEDERHOLM 1980), sont inclues dans le calcul de l'indice IBC07.

Tableau 2.–Valeurs du nombre (N) d'oligochètes, du nombre de chironomides et du rapport nombre de chironomides sur nombre d'oligochètes, exprimé en %, regroupées en sous-ensembles (SE) statistiquement homogènes (numérotés de 1 à 5) en fonction du lac (C pour Chavonnes, L pour Lioson) et de la profondeur (10 m, 12 m, 15 m, 20 m). Le rang arrondi des valeurs est indiqué dans chaque cas. Résultats 1978-2006 basés sur les valeurs moyennes de 127 ensembles de prélèvements.

Variable	Lac et profondeur	SE 1	SE 2	SE 3	SE 4	SE 5
Oligochètes (N)	C20	15				
	L12		47			
	L10		50			
	L15		57	57		
	L20		71	71	71	
	C15			78	78	78
	C10				92	92
	C12					100
Chironomides (N)	C20	15				
	C15		38			
	L20		53	53		
	C12			68	68	
	C10				79	79
	L15				85	85
	L10				92	92
	L12					100
Chironomides (%)	C20	27				
	C15		36			
	C12		55	55		
	L20			60		
	C10			67		
	L15				87	
	L10				93	
	L12				101	

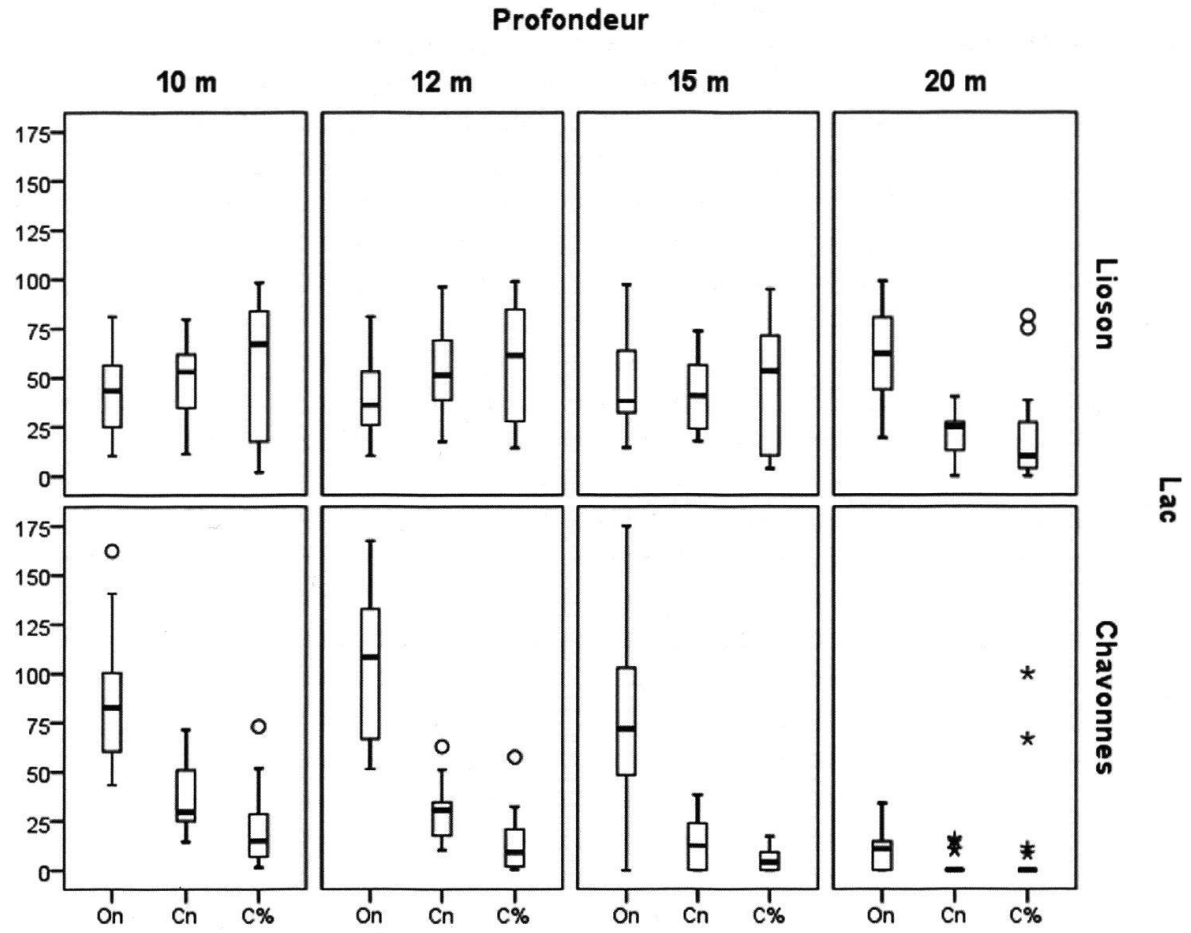

Figure 2.–Valeurs quartiles et extrêmes de la racine carrée des nombres par m^2 d'oligochètes (On) et de chironomides (Cn), du rapport nombre de chironomides sur nombre d'oligochètes, exprimé sous forme de pourcentage (C%) en fonction de la profondeur dans le lac Lioson et le lac des Chavonnes. La face inférieure de chaque boîte correspond au premier quartile (25% des cas), la face supérieure au troisième quartile (75% des cas) tandis que la ligne horizontale située entre ces 2 faces correspond à la médiane (50% des cas). Les lignes verticales qui partent du bas et du haut de chaque boîte s'étendent jusqu'aux extrêmes pour autant qu'ils ne dépassent pas 1,5 fois l'espace interquartile. Les cercles et les étoiles signalent des valeurs aberrantes.

RÉSULTATS

Le tableau 1 présente, en fonction du lac et de la profondeur, le pourcentage de carottes de sédiment dans lesquelles les oligochètes et les chironomides sont présents. Les chironomides sont présents dans plus de prélèvements dans le lac Lioson que dans le lac des Chavonnes et la diminution de leur présence en fonction de la profondeur est moins rapide. Dans le lac des Chavonnes, la profondeur de 20 m se distingue des autres par le fait que les oligochètes ne sont présents que dans 20% des prélèvements et les chironomides dans 6% seulement.

L'analyse globale des 127 ensembles de prélèvements effectuées entre 1978 et 2006 montre que les différences observées entre les 8 ensembles définis à partir des 2 lacs et des 4 profondeurs étudiées dans chacun d'eux sont très significatives (test de Kruskal-Wallis $p < 0{,}001$) en ce qui concerne l'abondance des oligochètes, celle des chironomides et le

rapport nombre de chironomides sur nombre d'oligochètes (figure 2). Le test de comparaison multiple (tableau 2) révèle l'existence de 4 ou de 5 sous-ensembles statistiquement homogènes selon les variables considérées. La profondeur 20 m dans le lac des Chavonnes se distingue des 7 autres zones pour les 3 variables. Dans le lac des Chavonnes, l'abondance des oligochètes, représenté presque exclusivement par *Tubifex tubifex*, est très élevée entre 10 m et 15 m. Dans le lac Lioson, les nombres d'oligochètes sont nettement plus faibles et ceux des chironomides plus élevés ce qui fait que le rapport nombre de chironomides sur nombre d'oligochètes est bien plus élevé, entre 10 m et 15 m de profondeur tout au moins, dans le lac de Lioson que dans le lac des Chavonnes.

Le tableau 3 présente les tendances observées entre 1978 et 2006. Dans le lac Lioson, les valeurs du coefficient de corrélation de rang de Spearman indiquent que les nombres d'oligochètes diminuent significativement entre 1978 et 2006 à toutes les profondeurs. Dans ce même lac, le nombre de chironomides et le rapport nombre de chironomides sur nombre d'oligochètes augmentent au contraire, mais à 2 profondeurs seulement. Dans le lac des Chavonnes, seul le rapport nombre de chironomides sur nombre d'oligochètes augmente significativement à 12 m de profondeur. Remarquons que les pourcentages de chironomides observés à 12 m de profondeur dans ce lac en 2002 et 2006 sont élevés parce qu'ils ne sont basés que sur des prélèvements effectués en juin, en l'absence d'autres prélèvements effectués plus tard dans la saison qui auraient pu pondérer ces valeurs (figure 3).

Les valeurs moyennes du rapport nombre de chironomides sur nombre d'oligochètes (figure 3) sont en général plus élevées dans le lac de Lioson que dans le lac des Chavonnes pour les années où la comparaison est possible. Les valeurs moyennes anormalement élevées, observées à 20 m de profondeur dans le lac des Chavonnes en 1980 et 1993, s'expliquent par le fait que la densité des animaux est si faible dans cette zone (figure 2) que la capture d'un seul chironomide suffit à augmenter le pourcentage d'une façon disproportionnée.

Discussion

Les valeurs du rapport nombre de chironomides sur nombre d'oligochètes sont nettement plus élevées dans le lac Lioson que dans le lac des Chavonnes lorsque que tous les prélèvements effectués entre 1978 et 2006 sont pris en compte (figure 2). La différence constatée indique que l'état écologique des sédiments du lac Lioson est meilleur que celui du lac des Chavonnes. Cette situation s'explique par le fait que les conditions d'oxygénation de la zone profonde sont meilleures dans le lac Lioson (Lods-Crozet *et al.* 2008) ce qui avantage les chironomides par rapport aux oligochètes (Wiederholm 1980). Malgré les concentrations moyennes en phosphore total qui sont plus basses (9 mg/m^3) dans l'eau du lac Lioson que celles observées (17 mg/m^3) dans le lac des Chavonnes, les concentrations moyennes en chlorophylle a sont faibles (3,5-4,1 mg/m^2) dans les deux lacs (Lods-Crozet *et al.* 2008). Si ces mesures sont représentatives, un excès de production provenant des algues planctoniques ne semble donc pas être à l'origine du déficit d'oxygène constaté dans le lac des Chavonnes. Dans ce cas, la production des bactéries planctoniques et benthiques des couches profondes serait à considérer.

Les tendances observées entre 1978 et 2006 (tableau 3) sont plus difficiles à interpréter à cause de l'influence perturbatrice de trois facteurs: la façon dont l'échantillonnage est

Tableau 3.–Corrélations de rang de Spearman calculées entre les années de prélèvement et le nombre (N) d'oligochètes par m^2 (Oligo), de chironomides par m^2 (Chiro), le rapport nombre de chironomides sur nombre d'oligochètes (Chiro %). La probabilité associée à chaque coefficient est indiquée à la droite de celui-ci. La valeur de n correspond au nombre d'années utilisées dans le calcul.

Lac	Profondeur (m)	Oligo (N)		Chiro (N)		Chiro (%)		n
Lioson	12	-0,583	0,014	0,492	0,045	0,490	0,046	17
	15	-0,867	0,000	0,361	0,249	0,599	0,059	12
	20	-0,606	0,013	0,574	0,020	0,718	0,002	16
Chavonnes	12	-0,362	0,098	0,347	0,114	0,462	0,030	22
	15	0,165	0,590	-0,474	0,102	-0,517	0,070	13
	20	-0,173	0,522	-0,166	0,699	-0,104	0,701	16

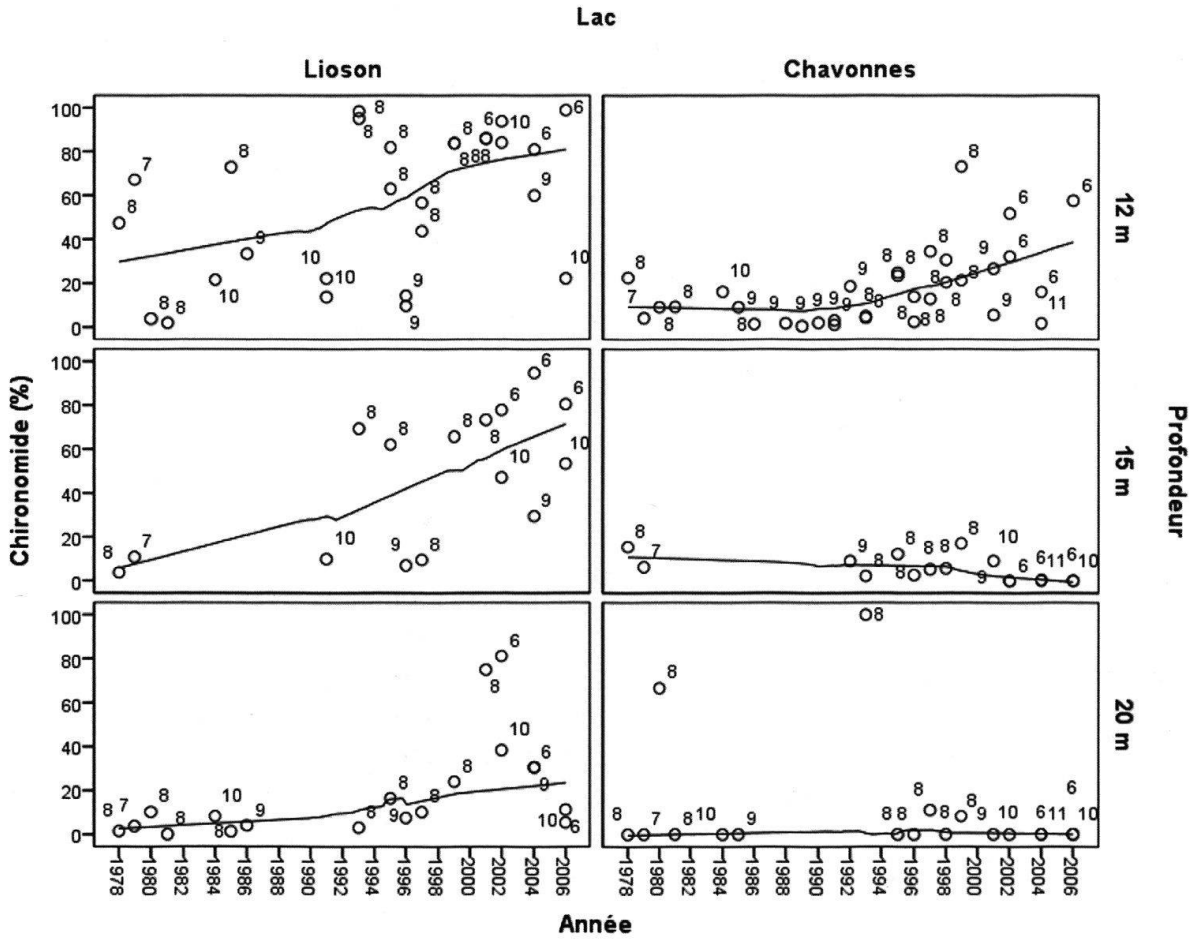

Figure 3.–Variations entre 1978 et 2006 des valeurs du rapport nombre de chironomides sur nombre d'oligochètes, exprimé sous forme de pourcentage (chironomides %), en fonction de la profondeur dans le lac Lioson et le lac des Chavonnes. Les nombres (6 à 11) proches des cercles désignent les mois de prélèvements. Une droite de régression robuste (Loess) utilisant 75% des points est indiquée.

réparti en fonction des années et des profondeurs, les variations de niveau des lacs, l'effet du mois au cours duquel le prélèvement a été effectué.

La figure 1 montre que, entre 1978 et 2006, les prélèvements ne sont pas répartis d'une façon homogène chaque année et dans chaque lac en fonction de la profondeur. De ce fait, l'analyse des tendances doit se faire pour chaque profondeur séparément. Comme les valeurs observées à 10 m et 12 m de profondeur ne sont pas significativement différentes (tableau 2), l'analyse des tendances peut se baser sur les valeurs moyennes de tous les résultats obtenus à ces profondeurs une année donnée. Le plan d'échantillonnage suivi qui n'est certes pas idéal, montre que les services de l'Etat de Vaud ne peuvent pas maintenir, avec les moyens disponibles, une surveillance biologique constante de tous les lacs et des principaux cours d'eau du canton. La figure 1 illustre les priorités retenues: nous observons une phase exploratoire en 1978 et 1979, un suivi minimum entre 1980 et 1992, une surveillance intense entre 1993 et 2001, poursuivie en 2002, 2004 et 2006 par une nouvelle équipe, mais avec certaines modifications qui ont entraîné les deux conséquences présentées ci-dessous.

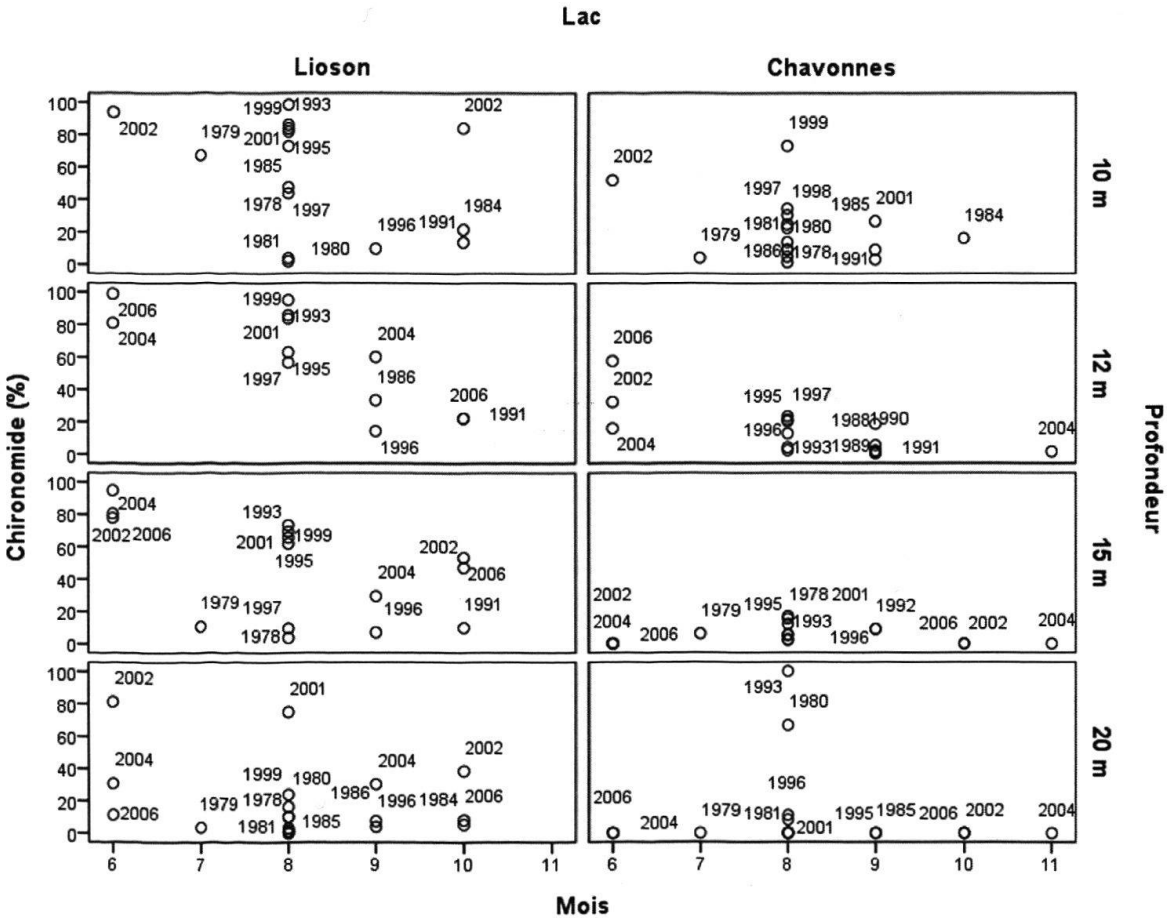

Figure 4.–Variations entre 1978 et 2006 des valeurs du rapport nombre de chironomides sur nombre d'oligochètes, exprimé sous forme de pourcentage (chironomides %), en fonction du mois de prélèvement dans le lac Lioson et le lac des Chavonnes. Les années de prélèvement sont indiquées à proximité des cercles.

L'effet des variations de niveau se manifeste seulement dans le lac des Chavonnes. A 15 m de profondeur (figure 2), l'abondance des oligochètes varie beaucoup à cause des fortes variations de niveau (de 2 m à 8 m, LODS-CROZET *et al.* 2008) que ce lac subit au cours de l'année, contrairement au lac Lioson. De ce fait, les prélèvements effectués à une profondeur de 15 m en juin et octobre de la même année peuvent en réalité correspondre à une profondeur de 12 m en juin et de 18 m en octobre. Dans le premier cas, les prélèvements s'effectuent dans une zone bien oxygénée, dans le deuxième cas, dans une zone pauvre en oxygène. Les prélèvements effectués en 2002 à 15 m de profondeur confirment cette interprétation: en juin, ils renfermaient en moyenne 30 625 oligochètes par m^2, mais aucun en octobre. La valeur moyenne des deux prélèvements effectués la même année est utilisée dans le calcul des tendances 1978-2006 afin d'atténuer l'effet des variations de niveau.

Les tendances observées entre 1978 et 2006 peuvent avoir été influencées par le mois au cours duquel le prélèvement a été effectué. Une particularité de la biologie des groupes indicateurs utilisés explique cet effet. Les oligochètes passent toute leur vie dans le sédiment mais les chironomides n'y vivent qu'à l'état de larves avant de se métamorphoser et d'émerger de l'eau sous forme d'adultes ailés pour se reproduire (BRINKHURST 1974). Comme les prélèvements n'ont pas été effectués le même mois chaque année (figure 4), l'émergence des chironomides influence les résultats. A l'appui de cette interprétation, nous constatons que, entre 10 m et 15 m de profondeur, le pourcentage moyen chironomides sur oligochètes est négativement corrélé avec le jour de l'année au cours duquel le prélèvement a été effectué, tant dans le lac Lioson (r_S= - 0,456, p=0,002, n=42) que dans le lac des Chavonnes (r_S= -0,393, p=0,006, n=48). Dans le lac Lioson en 2006 à 12 m et à 15 m de profondeur, le rapport nombre de chironomides sur nombre d'oligochètes, exprimé sous forme de pourcentage, diminue considérablement entre juin et octobre à cause de l'émergence des chironomides. De ce fait, les pourcentages observés en juin 2002, 2004 et 2006 sont en général plus élevés que ceux observés les mois suivants; mais il existe des exceptions, par exemple dans le lac Lioson à 10 m de profondeur en 2002 . De plus, les valeurs observées en août, le mois le plus souvent étudié (à 61 reprises sur 127), sont souvent aussi élevées qu'en juin. Pour ces raisons, le fait d'utiliser, pour le calcul de la tendance, la valeur moyenne des deux prélèvements effectués la même année (en 2002, 2004 et 2006) permet de corriger en partie l'effet du mois de prélèvement (figure 3).

Les valeurs du rapport nombre de chironomides sur nombre d'oligochètes indiquent que l'état écologique des sédiments du lac Lioson est meilleur que celui du lac des Chavonnes. Ce diagnostic est confirmé par les indices basés sur l'abondance relative des individus appartenant à des espèces intolérantes aux pollutions qui sont indicatrices d'un milieu en bon état sur le plan écologique (voir Stations et méthodes). Nous constatons que les valeurs moyennes de ces indices sont élevées dans le lac Lioson, surtout à 12 m de profondeur (figure 5). Dans cette zone, le pourcentage moyen d'individus appartenant à des espèces intolérantes, calculé à partir des concentrations en phosphore dans l'eau (voir Stations et méthodes), est de 55% ce qui est proche des 51% obtenu à partir de l'indice IBC07 qui combine les espèces d'oligochètes et de chironomides intolérantes. De même, l'abondance relative des individus appartenant à des espèces d'oligochètes très intolérantes (LAFONT 1989, 2007) est de 34% à 12 m de profondeur dans le lac Lioson (IBO figure 5) ce qui indique que la qualité des sédiments peut être qualifiée de bonne (valeurs comprises entre 21% et 50%). Remarquons que l'abondance relative de *Stylodrilus heringianus*, la seule

espèce d'oligochète très intolérante présente dans ce lac, était déjà de 30% entre 1978 et 1985 (LANG 1986). Par contraste, les valeurs de ces indices sont partout nulles dans le lac des Chavonnes alors qu'il devrait s'y trouver 46% d'individus appartenant à des espèces intolérantes d'après le calcul effectué à partir des concentrations en phosphore dans l'eau.

Contrairement aux indices décrits ci-dessus, l'indice oligochète de bioindication lacustre (AFNOR 2005), utilisé par LODS-CROZET *et al.* (2008) n'indique pas clairement que l'état écologique des sédiments du lac Lioson est meilleur que celui du lac des Chavonnes. Les valeurs observées sont 7,3 (par rapport à un maximum de 25) dans le premier lac à 20 m de profondeur et de 8,6 dans le deuxième lac à 15 m ce qui situe ces deux lacs dans la catégorie des lacs à potentiel métabolique moyen (LAFONT 2007).

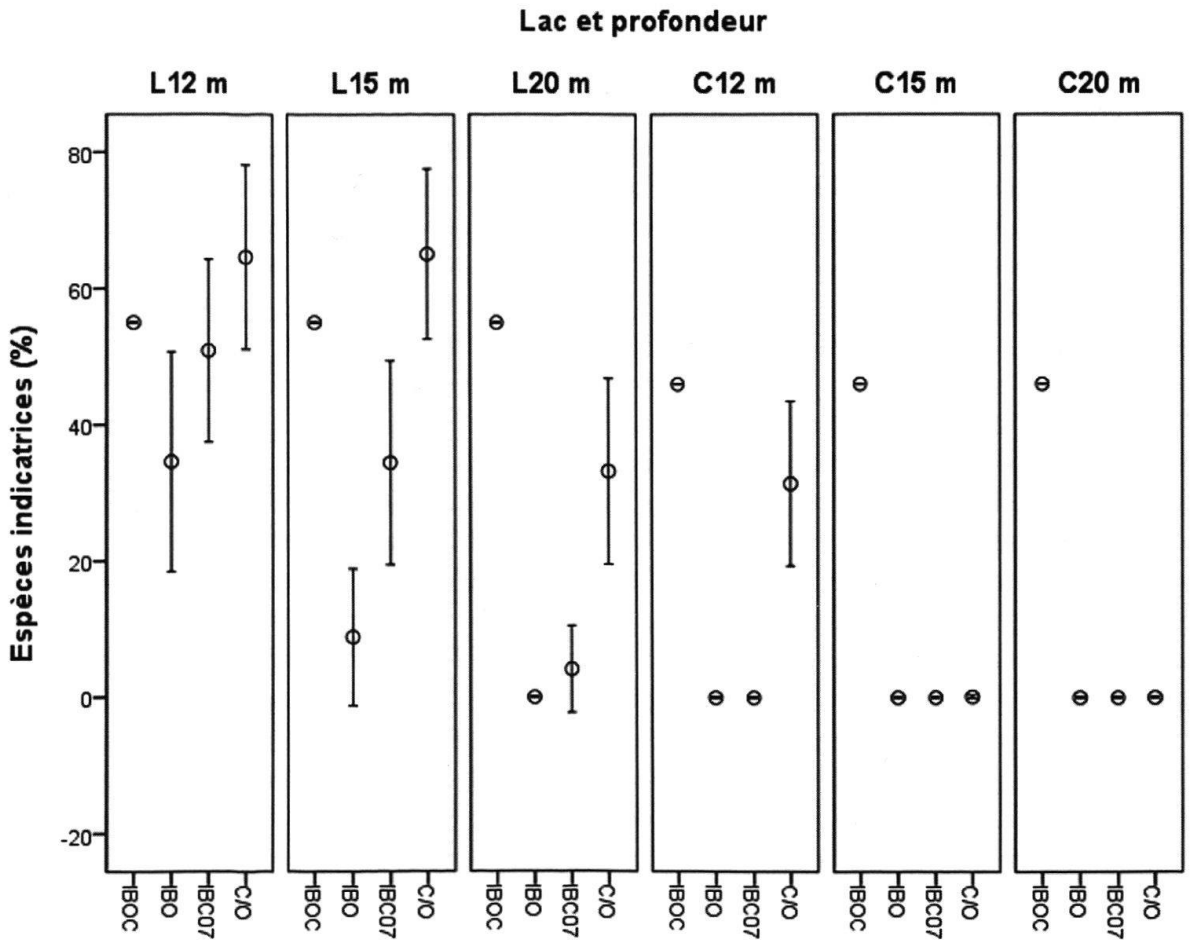

Figure 5.–Valeurs moyennes et intervalles de confiance de 95% de l'abondance relative (%) des individus appartenant à des espèces indicatrices de bonnes conditions écologiques dans le lac Lioson (L) et le lac des Chavonnes (C) en fonction de la profondeur. IBOC calculé à partir des concentrations en phosphore total dans l'eau, IBO basé sur les oligochètes intolérants, IBC07 basés sur les oligochètes et les chironomides intolérants, C/O basé sur le rapport nombre de chironomides sur nombre d'oligochètes, exprimé sous forme de pourcentage.

Conclusion

Ces résultats montrent qu'un indice simple, tel que le rapport nombre de chironomides sur nombre d'oligochètes, indique clairement que l'état écologique des sédiments du lac Lioson est meilleur que celui du lac des Chavonnes et qu'il s'améliore entre 1978 et 2006, contrairement à celui du lac des Chavonnes. Ce diagnostic est confirmé par des indices plus élaborés, dont l'efficacité a été testée dans le lac de Neuchâtel et le Léman sur la base des espèces identifiées et dénombrées dans plus de 4000 prélèvements (Lang 2007, 2009). La faune des sédiments profonds du lac Lioson correspond à celle d'un lac oligotrophe, pauvre en nutriments et riche en oxygène; celle du lac des Chavonnes à celle d'un lac eutrophe, riche en nutriments et pauvre en oxygène (Lang & Reymond 1996). Une question reste ouverte: les causes de cette différence sont-elles plutôt d'origine naturelle (Lods-Crozet *et al.* 2008) ou plutôt d'origine humaine (Lang & Reymond 1996) ou résultent-elles de ces deux origines combinées?

Remerciements

Les commentaires de deux lecteurs anonymes m'ont permis d'améliorer le présent article. Cette étude se base sur des résultats obtenus par le centre de conservation de la faune et de la nature du service des forêts, de la faune et de la nature (SFFN) entre 1978 et 2000 et par le laboratoire du service des eaux, sols et assainissement (SESA) entre 2001 et 2006.

Bibliographie

AFNOR, 2005. Qualité de l'eau-Détermination de l'indice oligochète de bioindication lacustre (IOBL). Association française de normalisation (AFNOR), NF T90-391, 17 p.

Brinkhurst R. O., 1974. The benthos of lakes. The Macmillan Press, London Basingstoke, 190 pp.

Campbell G. & Skillings J. R., 1985. Nonparametric stepwise multiple comparison procedures. *Journal of the American Statistical Association*, 80: 998-1003.

Johnson R. K., Wiederholm T. & Rosenberg D. M., 1993. Freshwater biomonitoring using individual organisms, populations, and species assemblages of benthic macroinvertebrates. In Rosenberg, D. M. & Resh V. H. (Eds). Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman & Hall. New York, 488 pp.

Lafont M., 1989. Contribution à la gestion des eaux continentales: utilisation des oligochètes comme descripteurs de l'état biologique et du degré de pollution des eaux et des sédiments. Doctorat d'Etat ès Sciences, Université Lyon I: 403 pp.

Lafont M., 2007. Interprétation de l'indice lacustre oligochètes IOBL et son intégration dans un système d'évaluation de l'état écologique. Cemagref/MEDAD: 18 pp.

Lang C., 1986. Eutrophisation et faune benthique de trois lacs de montagne. *Schweiz. Z. Hydrol.* (48): 64-70.

Lang C., 1990. Quantitative relationships between oligochaete communities and phosphorus concentrations in lakes. *Freshwater Biology* 24: 327-334.

Lang C., 2007. Comment interpréter les modifications du zoobenthos (oligochètes et chironomides) dans le lac de Neuchâtel entre 1984 et 2002 ? *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles* 90 :133-149.

Lang C., 2009. Indices basés sur les oligochètes et les chironomides indiquant la restauration écologique des sédiments du Léman. *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles* 91.3: 283-300.

Lang C. & Reymond O., 1996. Le zoobenthos comme indicateur des perturbations d'origine humaine dans deux lacs de montagne. *Rev. suisse Zool.* 103 (4): 851-858.

LODS-CROZET B., REYMOND O. & STRAWCZYNSKI A., 2008 Evaluation de l'état écologique de deux lacs sub-alpins suisses (canton de Vaud). *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles* 91: 157-173.

SAETHER O. A., 1979. Chironomid communities as water quality indicators. *Holarctic Ecology* 2: 65-74.

WIEDERHOLM T., 1980. Use of benthos in lake monitoring. *Journal of Water Pollution and Control Federation* 52: 537-547.

Manuscrit reçu le 24 août 2010