

Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 91 (2008-2009)
Heft: 2

Artikel: Evaluation de l'état écologique de deux lacs sub-alpins suisses (canton de Vaud)
Autor: Lods-Crozet, Brigitte / Reymond, Olivier / Strawczynski, Andrés
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-282148>

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: 18.04.2026

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

Evaluation de l'état écologique de deux lacs sub-alpins suisses (canton de Vaud)

par

Brigitte LODS-CROZET¹, Olivier REYMOND¹ et Andrés STRAWCZYNSKI¹

Résumé.—LODS-CROZET B., REYMOND O. et STRAWCZYNSKI A., 2008. Evaluation de l'état écologique de deux lacs sub-alpins suisses (canton de Vaud). *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.* 91.2: 157-173.

Une évaluation de la qualité écologique de deux lacs sub-alpins profonds des Préalpes vaudoises, basée sur les données physico-chimiques et biologiques (chlorophylle *a* et communautés benthiques) a été entreprise en 2002, 2004 et 2006. Des échantillons d'eau et de sédiments ont été récoltés en périodes printanière et automnale. Ces deux lacs ont des caractéristiques morphométriques et physico-chimiques très différentes. Le lac Lioson a un effluent majeur, ses eaux circulent complètement deux fois par an (lac dimictique) et son oxygénation est assurée jusqu'au fond (28 m). Le lac des Chavonnes, de même profondeur, n'a pas d'exutoire superficiel et la circulation de l'eau ne se fait que sur les 15-20 premiers mètres, deux fois par an (lac méromictique). Dans ces deux lacs, les communautés benthiques profondes sont dominées par les vers oligochètes et les larves d'insectes chironomides. La richesse taxonomique en oligochètes est faible (2 espèces), et seul *Tubifex tubifex* colonise les plus grandes profondeurs du lac Lioson. La faune des chironomides est peu diversifiée (7 taxons) et typique des lacs de montagne où peu d'espèces peuvent survivre aux conditions environnementales sévères (température, oxygénation). L'évaluation écologique de ces deux lacs sub-alpins montre qu'ils sont globalement de bonne qualité. Cependant, ils ont un seuil de sensibilité à l'eutrophisation plus bas que ceux de plaine du fait de la couverture neigeuse hivernale qui limite les échanges d'oxygène atmosphérique et les basses températures qui diminuent les processus de minéralisation.

Mots clés: monitoring, physico-chimie, invertébrés benthiques, profondeur, méromicticité.

Abstract.—LODS-CROZET B., REYMOND O. and STRAWCZYNSKI A., 2008. Assessment of the ecological status of two Swiss Subalpine lakes (Canton Vaud). *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.* 91.2: 157-173.

An assessment of the ecological quality in two subalpine deep lakes based on surveys of physico-chemical metrics, chlorophyll *a* and zoobenthic communities was conducted

¹Laboratoire du Service des Eaux, Sols et Assainissement, Boveresses 155, CH-1066 Epalinges, Suisse. E-mail: brigitte.lods-crozet@vd.ch

in 2002, 2004 and 2006. Water and sediment samples were taken in spring and fall periods. These two lakes have very different morphometric and physico-chemical characteristics. Lake Lioson has a main outlet, a complete water circulation two times a year (dimictic lake) and dissolved oxygen until 28 m. Lake Chavonnes has the same depth but no surface outlet and water circulation only reaches the first 15-20 m depth, two times a year (meromictic lake). Deep zoobenthic communities were dominated by oligochaete worms and insect larvae chironomids. Oligochaete taxonomic richness is low (2 species) and only *Tubifex tubifex* colonised the bottom of Lake Lioson. The diversity of the chironomid fauna is rather small (7 taxa) and typical of mountain sites where few invertebrate species can survive the severe environmental conditions (temperature, dissolved oxygen). The ecological assessment of these two subalpine lakes globally demonstrated the predominance of a good quality situation. However, the sensitive threshold to anthropogenic impacts is lower in mountain lakes than in lowland ones. The main reasons are the snow cover which limits atmospheric oxygen exchanges and low water temperature diminishing mineralisation processes.

Keywords: monitoring, physico-chemical characteristics, benthic invertebrates, meromictic lake.

INTRODUCTION

Les nombreux petits lacs suisses de la zone alpine ont été peu étudiés jusqu'à récemment. Les premières investigations limnologiques datent de la fin du XIX^e siècle, et concernent principalement la caractérisation physico-chimique et biologique d'une manière qualitative (i.e. ZSCHOKKE 1900, PESTA 1929). Dans le canton de Vaud, seul le lac Lioson a fait l'objet de recherches plus approfondies au début du XX^e siècle (ANDRÉ 1923).

L'enrichissement en nutriments des systèmes aquatiques due à l'érosion des sols, à la fertilisation par ruissellement des terres cultivées et pâturages et aux rejets de stations d'épuration est considéré comme l'un des problèmes environnementaux principal depuis une quarantaine d'années. De nombreux cantons suisses ont ainsi mis en place des programmes de surveillance de leurs plans d'eau, basés principalement sur les paramètres physico-chimiques et planctoniques.

Plus récemment, les régions de haute altitude sont devenues le centre de préoccupations importantes en relation avec les changements climatiques. Une meilleure connaissance de la réaction des écosystèmes aux changements environnementaux permettra de prédire les modifications futures (LOTTER *et al.* 1997, 1998; HEIRI et LOTTER 2005, BIGLER *et al.* 2006). L'analyse des organismes aquatiques associés aux sédiments déposés au fond des lacs s'est ainsi révélée un outil majeur dans la reconstruction des climats jusqu'à nos jours. L'acquisition de données biologiques actuelles sur les lacs de haute altitude est aussi devenue urgente face aux changements environnementaux rapides comme l'augmentation de la température (ROBINSON *et al.* 2007, FÜREDER *et al.* 2006, BOGGERO and LENCIONI 2006, OERTLI *et al.* 2008).

La plupart des études sur les lacs alpins montre une faible richesse taxonomique et des communautés d'invertébrés dominées par les diptères chironomides et les oligochètes. Ces organismes peuvent être considérés comme sentinelles d'un changement climatique futur (ROBINSON *et al.* 2007, BOGGERO and LENCIONI 2006, OERTLI *et al.* 2008).

Le suivi de la qualité des eaux des lacs des Préalpes vaudoises a débuté à la fin des années septante en englobant les paramètres physico-chimiques et zoobenthiques (LANG 1986, LANG et REYMOND 1996).

Les principaux objectifs de cette publication sont donc de faire une caractérisation physico-chimique de deux lacs sub-alpins (lacs Lioson et des Chavonnes) et une évaluation globale de leur état écologique basée sur la chimie, le phytoplancton et les communautés zoobenthiques qui constituerait un point de référence dans le monitoring des lacs d'altitude, en relation avec le réchauffement global.

DESCRIPTION DES SITES

Les lacs Lioson et des Chavonnes, seuls lacs profonds du canton de Vaud se situent sur le versant Nord des Préalpes vaudoises. De petite taille, de forme arrondie et de profondeur maximale importante par rapport à leur taille (tableau 1), ces deux lacs d'origine glaciaire sont localisés dans un bassin versant à prédominance carbonatée. La végétation terrestre environnante est constituée principalement par de l'épicéa (*Pinus abies*) et par de l'aulne vert (*Alnus viridis*) sur les pentes raides. Le lac Lioson est orienté au nord et n'a que des apports d'eau de ruissellement. Son exutoire constitue la source de la rivière Hongrin, affluent de la Sarine. Les fluctuations du niveau d'eau sont faibles (± 1 m). Le lac des Chavonnes se situe dans une cuvette fermée côté sud par une falaise rocheuse et côté nord par des collines boisées. Il est alimenté par un ruisseau côté est et il n'a pas d'exutoire superficiel. Les variations du niveau d'eau sont fortes (2-8 m) (figure 1).

Dans les deux lacs, un éboulis lâche s'étend entre 0 et 8 m de profondeur, entrecoupé de sédiments fins. Les sédiments meubles ne deviennent prépondérants qu'à partir de 10 m. Les lacs sont généralement recouverts de glace et de neige pendant plus de six mois. Les principales caractéristiques limnologiques sont données dans le tableau 1.

La végétation aquatique du lac Lioson est dominée par des herbiers de *Chara vulgaris* L., *Potamogeton alpinus* Balb., *P. pusillus* L. et quelques touffes de *Ranunculus trichophyllus* Chaix entre 1 et 4 m de profondeur. La végétation submergée du lac des Chavonnes se limite à quelques touffes éparses de *Chara globularis* Thuill. et de *Ranunculus trichophyllus* Chaix.

A l'origine, ces 2 lacs n'abritaient pas de poissons et les premiers empoissonnements datent de la fin du XIX^e siècle (RUBIN 1991). En 2006, 6 espèces ont été pêchées dans le lac Lioson et 7 espèces dans le lac des Chavonnes (tableau 1) mais seuls des réempoissonnements réguliers de truites Arc-en-ciel et de rivière sont effectués depuis les années septante.

Tableau 1.—Principales caractéristiques géographiques, morphométriques, hydrologiques et piscicoles des lacs Lioson et des Chavonnes. n.d.: non disponible; * présence.

		Lioson	Chavonnes
Altitude du plan d'eau	m	1848	1690
Latitude	Nord	46°23'14''	46°20'03''
Longitude	Est	7°07'46''	7°05'09''
Profondeur maximum	m	28	28
Surface du lac	ha	6.62	4.97
Volume du lac (10.09.2007)	10 ⁶ m ³	8.46	5.77
Surface du bassin versant	km ²	1.38	0.88
Précipitations	mm/an	1777	1665
Temps moyen de renouvellement des eaux	an	0.93	n.d.
Nombre mois de gel		6-7	5-6
Occupation du sol dans le bassin versant			
sols nus	%	28	1
agriculture	%	30	26.5
urbanisé	%	1	1
forêts	%	14	67.3
prairies	%	27	4.2
Poissons			
Truite fario		*	*
Truite Arc-en-ciel		*	*
Chevaine			*
Perche		*	*
Vairon		*	*
Brochet			*
Sandre			*
Saumon de fontaine		*	
Omble chevalier		*	

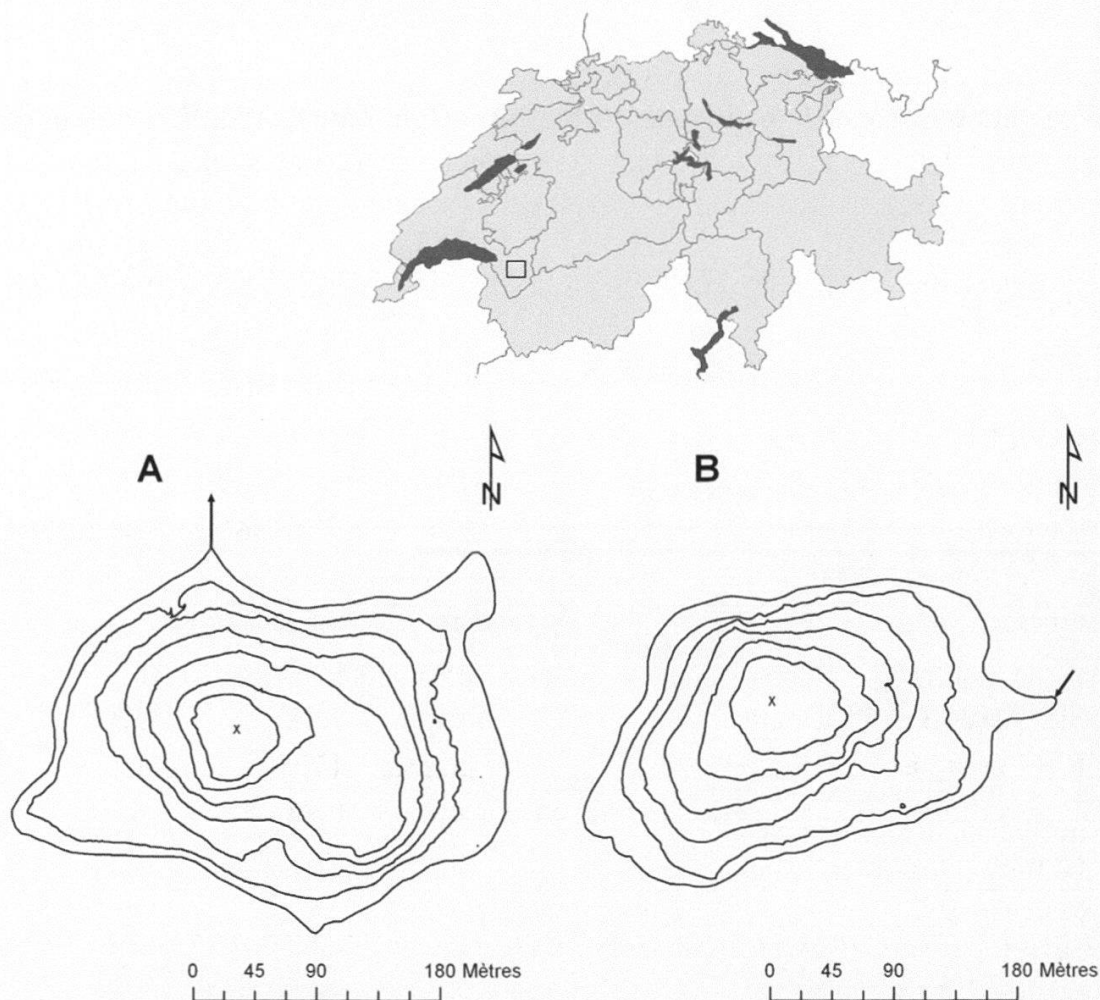


Figure 1.—Situation des lacs en Suisse (carré). A: lac Lioson et B: lac des Chavonnes avec le point le plus profond (x) et les isobathes équidistants de 5 m.

MÉTHODES

Les échantillons d'eau pour les analyses physico-chimiques et de la chlorophylle *a* sont récoltés depuis la surface, à la verticale du point le plus profond sur 8 stations dans la colonne d'eau (0, 2.5, 5, 10, 15, 20, 25 puis à 1 m au-dessus du fond) à l'aide d'une bouteille de prélèvements d'eau type Schöpf. En 2002, 2004 et 2006, les prélèvements ont été effectués en période de circulation printanière et automnale. De plus, un suivi mensuel a été effectué dans le lac des Chavonnes en 2006 (excepté mars, avril et décembre). La température de l'eau et l'oxygène dissous sont mesurés in situ à l'aide d'un oxymètre WTW-TA et la transparence de l'eau est évaluée avec un disque de Secchi. Les méthodes d'analyses physico-chimiques de l'eau sont listées dans le tableau 2. La teneur en matière organique des cinq premiers centimètres est

estimée par perte au feu et exprimée en pourcent du poids sec après combustion à 550 °C pendant 4 h. La concentration en chlorophylle *a* est mesurée selon la méthode décrite par STRICKLAND et PARSONS (1968).

Le zoobenthos des sédiments meubles est échantillonné à 12, 15 et 20 m de profondeur. Dix à 12 prélèvements sont effectués à l'aide d'un tube carottier (20 cm de long, 16 cm²) par un plongeur en scaphandre autonome en juin et octobre. Le sédiment est ensuite tamisé (vide de maille 0.2 mm) et le refus du tamis est conservé au formol 5 %. La macrofaune récoltée en zones sublittorale et profonde est constituée principalement de vers oligochètes (lumbriculidés et tubificidés) et de larves et pupes d'insectes chironomidés. Après coloration au

Tableau 2.—Méthodes d'analyses utilisées.

Paramètre(s)	Méthode
pH	Potentiométrie (électrode de verre)
Conductivité	Cellule conductimétrique (pont de Wheatstone)
Calcium, magnésium, sodium, potassium, manganèse, fer	Chromatographie ionique
Manganèse	Colorimétrie (formaldoxime)
Fer (II)	Colorimétrie (Ferrospectral)
Chlorure, nitrate, sulfate	Chromatographie ionique
Alcalinité	Titration à l'acide chlorhydrique (point final pH = 4.5)
Ammonium	Spectrophotométrie (salicylate)
Nitrite	Spectrophotométrie (sulfanilamide, N-(naphtyl-1)-éthylènediamine)
Orthophosphates (phosphore réactif soluble)	Spectrophotométrie (heptamolybdate d'ammonium + acide ascorbique)
Phosphore total	Digestion (peroxodisulfate d'ammonium, acide sulfurique) + spectrophotométrie comme phosphore réactif soluble
Silice	Spectrophotométrie (molybdate d'ammonium + acide ascorbique)

Rose Bengal, les organismes sont triés et comptés sous une loupe binoculaire à faible grossissement (6x). Les oligochètes et chironomidés sont ensuite pesés après passage sur du papier absorbant (biomasse, poids frais), montés entre lame et lamelle (REYMOND 1994) puis identifiés à l'espèce ou au groupe d'espèces.

L'évaluation de la qualité écologique des lacs est basée sur un protocole de diagnose rapide des plans d'eau (CEMAGREF 2003), l'indice Oligochètes de Bioindication Lacustre (IOBL) (AFNOR 2005), variant entre 0 et 25, et un Indice de Qualité Benthique pour les Chironomidés (IQBC) (WIEDERHOLM 1980) adapté aux lacs de la région alpine et qui varie entre 0 et 5 (LODS-CROZET et REYMOND 2006).

RÉSULTATS

Caractérisation physico-chimique des deux lacs

Le lac Lioson est un lac dimictique froid dont les eaux circulent en juin et en octobre/novembre, avec une période de gel hivernal allant jusqu'à 7 mois. Les eaux sont oxygénées jusqu'au fond (3 mg/l) (figure 2). La transparence a des valeurs moyennes supérieures à 8 m. Les nutriments azotés (ammonium, nitrite, nitrate) et phosphorés (orthophosphate, phosphore total) sont faibles (tableau 3).

Le lac des Chavonnes est un lac méromictique froid dont les eaux se mélangent en mai/juin et en octobre/novembre jusqu'à une profondeur qui oscille entre 15 et 20 m selon les fluctuations du niveau d'eau. En dessous de cette zone, les conditions deviennent anaérobies avec une concentration en oxygène dissous proche de zéro (figure 3) et une augmentation près du fond de l'ammonium, du manganèse et du fer ferreux (figure 4). La transparence atteint des valeurs moyennes de 5.4 m.

Les nutriments azotés et phosphorés sont plus élevés dans le lac des Chavonnes du fait de son fonctionnement. Dans la partie anaérobie (monimolimnion) qui représente 12 à 20 % du volume du lac, le stock de phosphore atteint la moitié ou la même valeur que dans la partie oxygénée (mixolimnion) (tableau 4).

Si les eaux des deux lacs sont relativement peu minéralisées, elles sont bien tamponnées par les carbonates. Du fait des teneurs en éléments nutritifs (matière organique, phosphore, azote) faibles, les valeurs d'ammonium, orthophosphate et phosphore total sont souvent inférieures aux limites de quantification (0.01 mg/l pour les 3 paramètres, exprimées comme N ou P). Les valeurs du tableau 3 inférieures à ces limites sont donc indicatives.

Les teneurs en matière organique des sédiments sont de l'ordre de 11 % dans le lac Lioson et de 14 % dans le lac des Chavonnes.

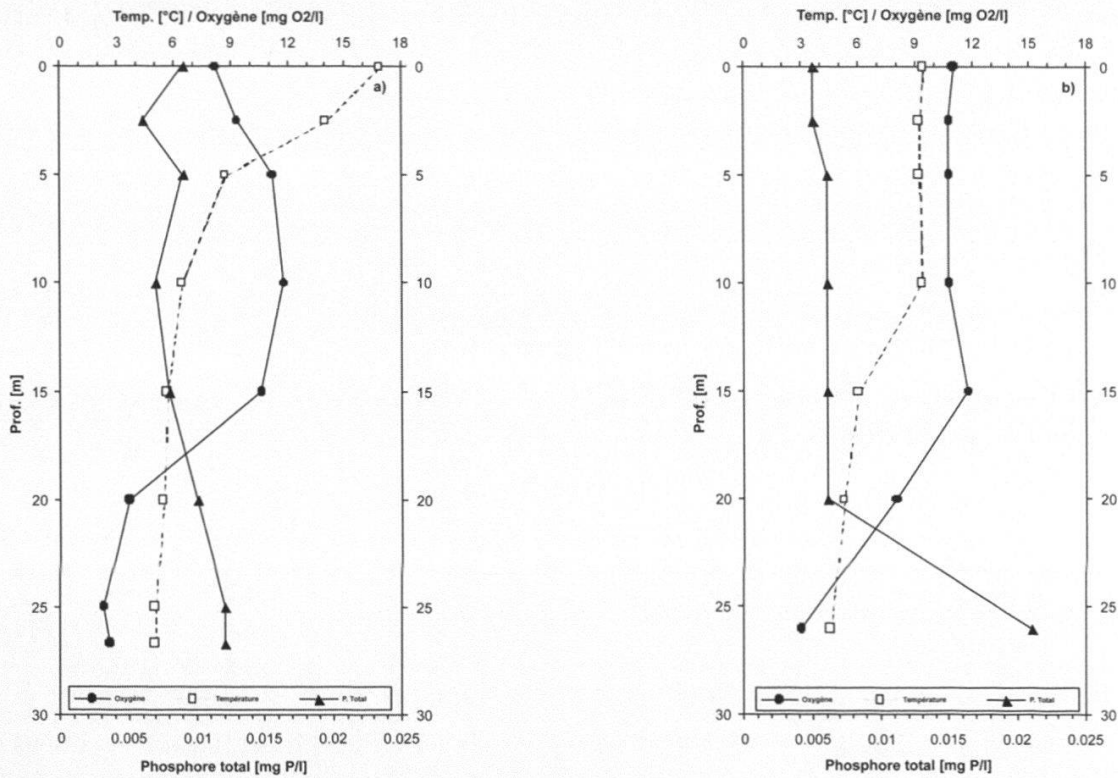


Figure 2.—Profils de la température, de l'oxygène dissous et du phosphore total dans le lac Lioson; a) le 04.07.2006 et b) 09.10.2006.

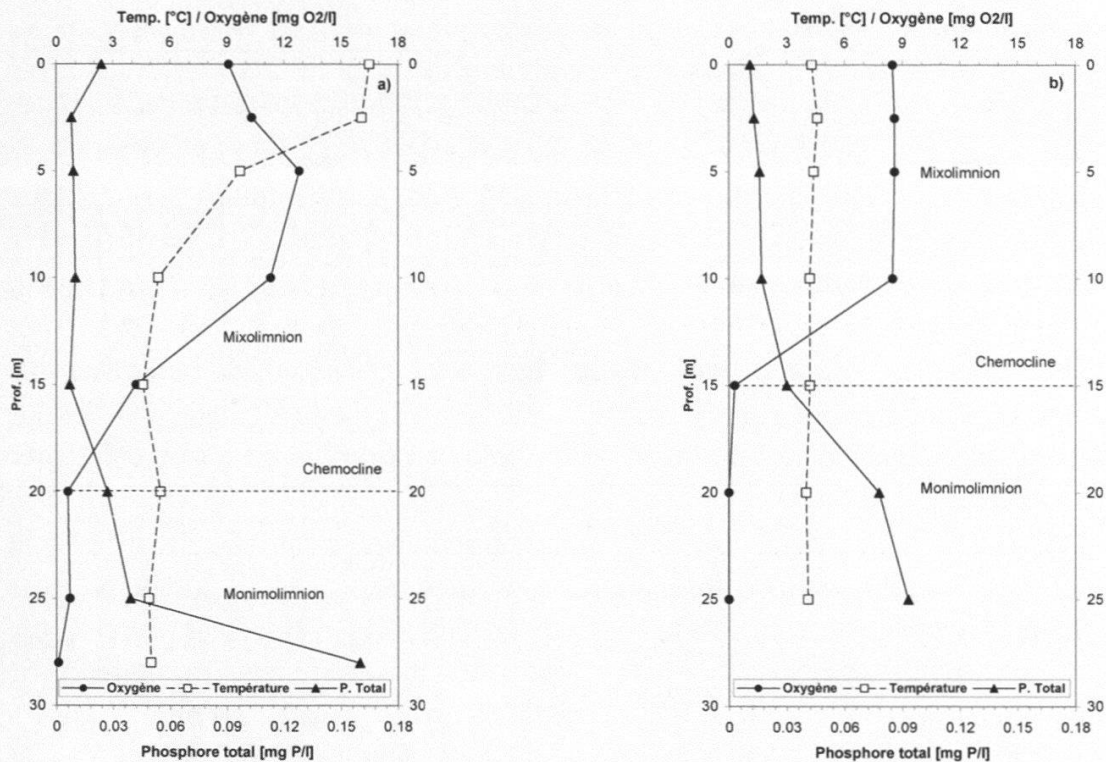


Figure 3.—Profils de la température, de l'oxygène dissous et du phosphore total dans le lac des Chavonnes avec les différentes strates d'eau; a) le 22.06.2006 et b) 16.11.2006.

Tableau 3.—Caractérisation physico-chimique des eaux des lacs Lioson et Chavonnes entre 2002 et 2006 (moyennes pondérées (M) par le volume pour les concentrations).

Paramètre		Lioson (<i>n</i> = 7)			Chavonnes (<i>n</i> = 18)		
		M	Min	Max	M	Min	Max
Transparence	m	8.2	7.0	9.5	5.4	2.6	8.6
pH		8.33	8.19	8.49	7.99	7.71	8.17
Conductivité	μS/cm, 25°C	179	173	186	183	173	207
Température	°C	7.57	4.03	10.34	7.24	2.50	11.96
Oxygène	mg/l	9.02	5.95	11.42	6.52	0.00	8.65
Alcalinité	méq/l	1.79	1.74	1.85	1.83	1.71	1.99
Carbone organique dissous	mg C/l	0.75	0.37	1.09	1.59	1.14	2.26
Ammonium	mg N/l	0.012	0.006	0.018	0.167	0.031	0.370
Nitrite	mg N/l	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.006
Nitrate	mg N/l	0.06	0.01	0.15	0.14	0.03	0.33
Orthophosphate	mg P/l	0.001	0.001	0.002	0.002	0.001	0.006
Phosphore total	mg P/l	0.009	0.005	0.014	0.017	0.009	0.029
Sodium	mg/l	0.52	0.34	0.81	0.55	0.24	1.49
Potassium	mg/l	0.37	0.21	0.74	0.67	0.15	1.68
Magnésium	mg/l	2.72	2.29	3.05	3.12	2.62	3.43
Calcium	mg/l	31.46	29.46	33.23	32.02	29.22	34.93
Chlorure	mg/l	0.22	0.09	0.35	0.34	0.20	0.58
Sulfate	mg/l	3.98	3.68	4.82	3.84	2.93	5.01
Silice	mgSiO ₂ /l	1.47	0.57	2.15	1.84	1.15	3.21

Tableau 4.—Stock en phosphore des deux strates dans le lac des Chavonnes. Mixolimnion: strate oxygénée; Monimolimnion: strate sans oxygène.

			22.06.2006		16.11.2006	
Volume	Total		0.474		0.370	
	Mixolimnion	mio m ³	0.419	88%	0.297	80%
	Monimolimnion		0.056	12%	0.074	20%
Stock phosphore	Total		7.2		9.3	
	Mixolimnion	kg P	4.7	66%	4.9	53%
	Monimolimnion		2.5	34%	4.4	47%
Concentration moyenne phosphore	Total		0.015		0.025	
	Mixolimnion	mg P/l	0.011		0.017	
	Monimolimnion		0.044		0.060	

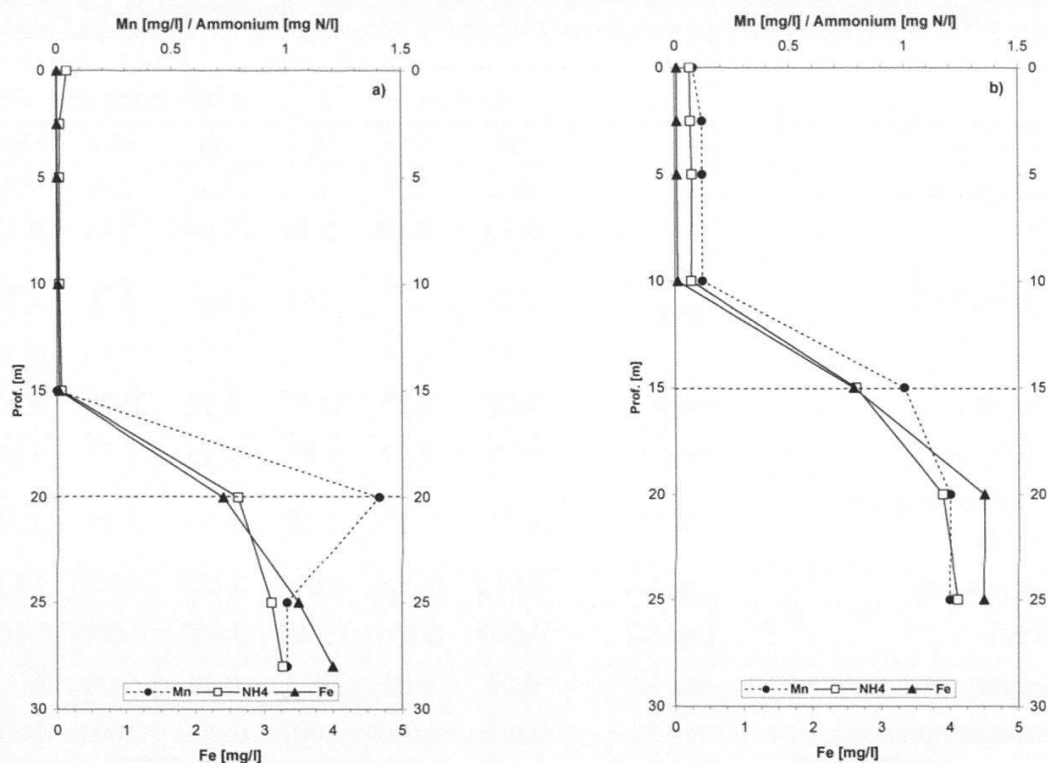


Figure 4.—Profils de l'ammonium, du manganèse et du fer dans le lac des Chavonnes avec les différentes strates d'eau; a) le 22.06.2006 et b) 16.11.2006.

Communautés zoobenthiques profondes

Le macrozoobenthos est dominé par les vers oligochètes et les larves d'insectes chironomides. La richesse taxonomique en oligochètes est faible dans les deux lacs (2 espèces par lac), et seul *Tubifex tubifex* colonise les plus grandes profondeurs.

Dans le lac Lioson, le ver oligochète *Stylodrilus heringianus* a une abondance relative de 35 % à 12 m, diminue à 12 % à 15 m et ne colonise pas les fonds de 20 m. La richesse des chironomidés est de 7 taxons avec une décroissance avec la profondeur, surtout en 2004 et 2006. Cinq taxons de chironomidae sont les plus abondants, à toutes les profondeurs investiguées (tableaux 5 et 6).

Dans le lac des Chavonnes, la zone des 20 m de profondeur n'est pas colonisée par le zoobenthos et *Spirosperma ferox* (ver oligochète) n'est que faiblement abondant (4.1 %) à 12 m en 2002. La richesse des chironomidés est de 5 taxons, mais seulement 3 sont abondants dans la zone des 12 m de profondeur (tableau 7).

L'abondance des oligochètes a tendance à augmenter de manière non significative (Test de Mann-Whitney, $p > 0.05$) avec la profondeur dans les 2 lacs et atteint un maximum de 2'334 individus par m^2 à 20 m dans le lac Lioson et 12'414 individus par m^2 à 15 m dans le lac des Chavonnes. Inversement,

Tableau 5.-Zoobenthos profond des lacs Lioson et des Chavonnes de 2002 à 2006. *: présence; n: nombre d'échantillons.

	2002			2004			2006			2002			2004			2006		
	Lioson			Lioson			Lioson			Chavonnes			Chavonnes			Chavonnes		
Prof.(m)	12	15	20	12	15	20	12	15	20	12	15	20	12	15	20	12	15	20
Vers oligochètes																		
<i>Stylodrilus heringianus</i> Claparède	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Spirosperma ferox</i> Eisen		*	*		*	*		*	*		*	*		*	*		*	*
<i>Tubifex tubifex</i> (Müller)			*		*	*		*	*		*	*		*	*		*	*
Tubificidae avec soies capillaires et soies pectinées	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Insectes Chironomidés																		
<i>Procladius (Holotanypus) sp.</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Chironomus cf. anthracinus</i> Zett.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Chironomus lacunarius</i> gr.			*		*	*		*	*		*	*		*	*		*	*
<i>Cricotopus (C.) fuscus</i> gr.			*		*	*		*	*		*	*		*	*		*	*
<i>Dicrotendipes</i> sp.			*		*	*		*	*		*	*		*	*		*	*
<i>Einfeldia</i> sp.			*		*	*		*	*		*	*		*	*		*	*
<i>Heterotrissocladius marcidus</i> (Walk.)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Paracladius alpicola</i> (Zett.)			*		*	*		*	*		*	*		*	*		*	*
<i>Paracladopelma camptolabis</i> gr.			*		*	*		*	*		*	*		*	*		*	*
<i>Micropsectra cf. contracta</i> Reiss			*		*	*		*	*		*	*		*	*		*	*
<i>Tanytarsus cf. bathophilus</i> Kieffer	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Richesse chironomidae	4	5	5	6	5	2	7	6	2	4	0	0	2	1	0	3	0	0
n	10	10	10	12	12	12	12	12	12	5	10	10	12	12	12	6	12	12

faible. Au niveau des sédiments profonds, les teneurs en matière organique témoignent d'un potentiel de minéralisation moyen. La faune des sédiments (Indices Oligochètes et Chironomidés) à 20 m de profondeur décrit la même tendance, à savoir un potentiel métabolique moyen (tableau 8).

Pour le lac des Chavonnes et du fait de ses conditions spéciales de fonctionnement, les teneurs en nutriments sont considérées comme faible / moyen et la production phytoplanctonique faible dans le mixolimnion. Les teneurs en matière organique des sédiments profonds confirment un potentiel de minéralisation moyen. Au niveau de la faune profonde (12-15 m de profondeur), l'indice Oligochètes révèle un potentiel métabolique moyen et l'indice Chironomidés, une diversité faible des chironomidés (tableau 8).

DISCUSSION

La composition chimique d'un lac est le reflet de la géologie, de la végétation et des activités humaines dans son bassin versant. La conductivité et les concentrations de calcium mises en évidence sont typiques de bassins versants carbonatés. Il en résulte que ces deux lacs sont insensibles aux dépositions acides atmosphériques. Les concentrations en nutriments sont relativement faibles. L'impact du bétail, présent dans le bassin versant, ne semble pas altérer de manière significative le fonctionnement de ces deux lacs.

La baisse des concentrations en oxygène dans la zone profonde du lac Lioson est à mettre en relation avec la limitation naturelle de la longueur de la période de mélange des eaux par couverture de neige/glace pendant plus de la moitié de l'année.

Le lac des Chavonnes est un lac méromictique d'origine biogénique, qui résulte d'une accumulation de sels dans le monimolimnion (WETZEL 2001). Ce type de lac est commun parmi les lacs de petite taille, de profondeur moyenne et abrité des vents de la zone alpine. Il fonctionne comme deux lacs en un. Les eaux sont oxygénées et se mélangent selon les saisons jusque vers 15 m. En-dessous de la chemocline, les eaux deviennent brunes et le fond est tapissé par des bactéries du soufre (p.ex *Chromatium*). D'après A. Lotter (comm. pers.), les cinq premiers centimètres de sédiments ont une teneur en carbone organique élevée (40-50 g/kg) et les sédiments sont laminés jusqu'à une profondeur de 90 cm, ce qui dénote une méromicticité ancienne, pouvant aller jusqu'à plusieurs décennies voire plusieurs siècles. Actuellement, aucune analyse plus fine ne permet de préciser son histoire.

Malgré leur différence importante de fonctionnement et la faible production chlorophyllienne des eaux superficielles, les deux lacs ont une teneur en matière organique assez élevée dans les cinq premiers centimètres de sédiment. Ces valeurs pourraient s'expliquer par les conditions de milieu (température faible,

Tableau 8.—Evaluation écologique des 2 plans d'eau en 2006.

paramètre	Lioson			Chavonnes			
	valeur	appréciation	état écologique	valeur	appréciation	état écologique	références
Chla (mg m^{-2})	3.5	production faible	bon	4.2	production faible	bon	CEMAGREF (2003)
Transp (m)	8.5			6.1			
Ptot (mg l^{-1})	9	nutrition faible	bon	11-17	nutrition faible/moy.	moyen	CEMAGREF (2003)
ISMOS 1)	55.7	potentiel minéralisation moyen	moyen	60.7	potentiel minéralisation moyen	moyen	CEMAGREF (2003)
IOBL 2)	7.3 (20 m)	potentiel métabolique moyen	moyen	8.6 (15 m)	potentiel métabolique moyen	moyen	norme AFNOR (2005)
IQBC 3)	2.8 (20 m)	qualité moyenne	moyen	0.9 (12 m)	qualité basse	faible	Wiederholm (1980)

1): Indice de Stockage de la Matière Organique dans les Sédiments

2): Indice Oligochètes de Bioindication Lacustre (0 – 25)

3): Indice de Qualité Benthique pour les Chironomidés (0 – 5)

déficit en oxygène dissous) qui ralentissent les processus de minéralisation. Des résultats similaires ont été décrits par LAVILLE (1971) et GIANI et LUCAS (1974) dans deux lacs des Pyrénées.

Les vers oligochètes profonds dominés par l'espèce *Tubifex tubifex*, *Stylodrilus heringianus* (présent jusque vers 15 m de profondeur dans le lac Lioson) et *Spirosperma ferox* (12 m dans le lac des Chavonnes) sont aussi répertoriées dans la zone profonde d'autres lacs alpins (WAGNER 1975, GIANI et LUCAS 1974, CHACORNAC 1986, BOGGERO and LENCIONI 2006, OERTLI *et al.* 2008). Plusieurs espèces de chironomidés du lac Lioson sont caractéristiques des lacs alpins comme *Heterotrissocladius marcidus*, *Paracladius alpicola* et *Paracladopelma camptolabis* gr. (HEIRI *et al.* 2003; BOGGERO et LENCIONI 2006, ROBINSON *et al.* 2007). De plus, tous ces taxons, excepté *Spirosperma ferox* ont déjà été recensés lors de suivis biologiques dans les années antérieures (LANG 1986, LANG et REYMOND 1996). A noter également que la renouée aquatique (*Ranunculus trichophyllus*) et la larve d'insecte *Sialis lutaria* récoltées par André en 1923 ont été retrouvées dans les années 2002-06.

Il est connu que les lacs des zones sub-alpine et alpine ont un seuil de sensibilité à l'eutrophisation plus bas que ceux de plaine du fait de la couverture neigeuse hivernale qui limite les échanges d'oxygène atmosphérique et les basses températures qui diminuent les processus de minéralisation. L'évaluation écologique de ces deux lacs sub-alpins montre qu'ils sont globalement de bonne qualité, mais qu'il est nécessaire de les maintenir dans cet état compte tenu de leur seuil de sensibilité plus réduit. Les paramètres analysés décrivent deux types de fonctionnement dont les facteurs clés sont la géomorphologie et l'altitude. De surcoût, ces lacs alpins sont à considérés comme environnements sensibles aux changements climatiques et les biocénoses benthiques sont potentiellement d'excellentes sentinelles pour détecter et documenter de tels changements (ROBINSON *et al.* 2007).

REMERCIEMENTS

Nous remercions Louis Anex pour la mise à disposition de son véhicule et son aide sur le terrain, Dominique Auderset Joye pour la détermination des Characées et Sandra Knispel pour son aide précieuse pendant les campagnes hivernales sur le lac des Chavonnes. Les remarques et les suggestions constructives de Pascale Derleth Sartori et Philippe Vioget ont permis d'améliorer ce manuscrit.

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 pp.
- ANDRÉ E., 1923. Le lac Lioson et sa faune. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.* 55: 22-29.

- BIGLER C., HEIRI O., KRŠKOVA R., LOTTER A.F. and STURM M., 2006. Distribution of diatoms, chironomids and cladocera in surface sediments of thirty mountain lakes in south-eastern Switzerland. *Aquatic Science* 68: 154-171.
- BOGGERO A. and LENCIONI V., 2006. Macroinvertebrates assemblages of high altitude lakes, inlets and outlets in the southern Alps. *Arch. Hydrobiol.* 165: 37-61.
- CEMAGREF, 2005. Protocole actualisé de la diagnose rapide des plans d'eau. Gemagref, Groupement de Lyon, Lyon, 24 p.
- CHACORNAC, J.M. 1986. Lacs d'altitude : Métabolisme oligotrophe et approche typologique des écosystèmes. Thèse, Univ. Claude Bernard, Lyon. 215 p.
- FÜREDER L., ETTINGER R., BOGGERO A., THALER B. and THIES H., 2006. Macroinvertebrate diversity in Alpine lakes: effects of altitude and catchment properties. *Hydrobiologia* 562: 123-144.
- GIANI N. et LUCAS C., 1974. Les sédiments d'un lac de haute montagne: structure, nature et peuplement. *Annls Limnol.* 10: 223-244.
- HEIRI O. and LOTTER A.F., 2005. Holocene and lateglacial summer temperature reconstruction in the Swiss Alps based on fossil assemblages of aquatic organisms: a review. *Boreas* 34: 506-516.
- HEIRI O., WICK L., VAN LEEUWEN J.F.N., VAN DER KNAAP W.O. and LOTTER A.F., 2003. Holocene tree immigration and the chironomid fauna of a small Swiss subalpine lake (Hinterburgsee, 1515 m asl). *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.* 189: 35-53.
- LANG C., 1986. Eutrophisation et faune benthique de trois lacs de montagne. *Schweiz. Z. Hydrol.* 48: 64-70.
- LANG C. et REYMOND O., 1996. Le zoobenthos comme indicateur des perturbations d'origine humaine dans deux lacs de montagne. *Rev. Suisse Zool.* 103: 851-858.
- LAVILLE H., 1971. Recherche sur les chironomides (Diptera) lacustres du massif de Néouvielle (Hautes-Pyrénées). 2^e partie. *Annls Limnol.* 7: 335-413.
- LODS-CROZET B. et REYMOND O., 2006. Evolution du zoobenthos profond du Léman. In: Rapport de la Commission internationale pour la protection des eaux du Léman contre la pollution, Campagne 2005: 141-146.
- LOTTER A.F., BIRKS H.J.B., HOFMANN W. and 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. *J. of Paleolimnology* 18: 395-420.
- LOTTER A.F., BIRKS H.J.B., HOFMANN, W. and MARCHETTO A., 1998. Modern diatoms, cladocera, chironomid and chrysophyte cyst assemblages as quantitative indicators for the reconstruction of past environmental conditions in the Alps. II. Nutrients. *J. of Paleolimnology* 19: 443-463.
- OERTLI B., INDERMUEHLE N., ANGÉLIBERT S., HINDEN H. and STOLL A., 2008. Macroinvertebrate assemblages in 25 high alpine ponds of the Swiss National Park (Cirque of Macun) and relation to environmental variables. *Hydrobiologia* 597: 29-41.
- PESTA O., 1929. Der Hochgebirgssee der Alpen. Die Binnengewässer 8, Stuttgart. 156 p.
- REYMOND O., 1994. Préparations microscopiques permanentes d'oligochètes: une méthode simple. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.* 83: 1-3.
- ROBINSON C.T., HIEBER M., WENZELIDES V. and LODS-CROZET B., 2007. Macroinvertebrate assemblages of a high elevation stream/lake network, with an emphasis on the Chironomidae. *Arch. Hydrobiol.* 169: 25-36.
- RUBIN J.F., 1991. L'omble chevalier, *Salvelinus alpinus* (L.), dans le lac Lioson (Suisse). *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.* 80.4 : 419-434.
- STRICKLAND J.D.H. et PARSONS T.R., 1968. A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Bd Canada* 167. 311 p.
- WAGNER B., 1975. Populationdynamic der Oligochaeten im Vorderen Finstertaler See (2237 m, Kühtai, Tyrol). PhD Thesis, Univ. Innsbruck. 102 p.

- WETZEL R.G. 2001. Limnology. Lake and River Ecosystems. 3rd Ed., Academic Press, San Diego. Xvi. 1006 p.
- WIEDERHOLM T., 1980. Use of benthos in lake monitoring. J. Water Poll. Contr Federation 52: 537-547.
- ZSCHOKKE F., 1900. Die Tierwelt der Hochgebirgsseen. Neue Denkschr. der Schw. Naturforsch. Gesell. 400 p.

Manuscrit reçu le 18 septembre 2008