

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles
<b>Herausgeber:</b>	Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles
<b>Band:</b>	129 (2006)
<b>Artikel:</b>	Evolution de la qualité chimique et biologique du lac de Joux (Jura suisse) entre 1985 et 2004
<b>Autor:</b>	Lods-Crozet, Brigitte / Reymond, Olivier / Strawczynski, Andrés
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-89646">https://doi.org/10.5169/seals-89646</a>

### **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:** 09.02.2026

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

# ÉVALUATION DE LA QUALITÉ CHIMIQUE ET BIOLOGIQUE DU LAC DE JOUX (JURA SUISSE) ENTRE 1985 ET 2004

BRIGITTE LODS-CROZET, OLIVIER REYMOND & ANDRÉS STRAWCZYNSKI

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

*Mots-clés* : zoobenthos, cyanobactéries, phosphore, lac, oligochètes, chironomides, biomonitoring, zone littorale, Suisse

*Keywords* : zoobenthos, cyanobacteria, phosphorus, lake, oligochaetes, chironomids, biomonitoring, littoral zone, Switzerland

## Résumé

Le suivi de la physico-chimie des eaux, de la biomasse phytoplanctonique et des communautés benthiques est effectué depuis 1985 dans le lac de Joux. Suite aux contrôles des apports en nutriments, les concentrations en phosphore total ont diminué depuis la fin des années 80 pour atteindre 15 µg/l en 2004. Depuis 1996, la biomasse de *Planktothrix rubescens* s'abaisse régulièrement mais pas suffisamment pour réduire le manque chronique d'oxygène dans les couches profondes à la fin de la période estivale. De ce fait, les bioindicateurs du zoobenthos profond (vers oligochètes et insectes chironomides) demeurent caractéristiques de sédiments eutrophes. En revanche, la faune des invertébrés littoraux est encore très riche et diversifiée avec plusieurs espèces rares qui sont considérées comme en danger au niveau suisse. Les processus de restauration de ce lac à haute potentialité écologique sont bien amorcés avec des valeurs de phosphore approchant la valeur seuil de limitation de la croissance des cyanobactéries planctoniques.

## Abstract

*Physico-chemical and biological assessment of the Lake Joux (Swiss Jura) between 1985 and 2004.*

Surveys of physico-chemical metrics, phytoplankton biomass and zoobenthic communities were conducted in the Lake Joux since 1985. Following the control of inputs, total phosphorus concentrations decreased from the end of the eighties reaching 15 µg/l in 2004. From 1996, *Planktothrix rubescens* biomass decreased continuously but not sufficiently enough to reduce the chronic lack of dissolved oxygen in the deep layers at the summer end period. Consequently, bioindicators of the profundal zone (oligochaete worms and chironomid insects) remain characteristic of eutrophic sediments. In contrast, littoral invertebrate fauna is still very rich and diverse with several rare species which are considered as endangered at the Swiss level. Restoration processes of this lake with high potential biological capacity are in progress with phosphorus values approaching the threshold for a growth limitation of cyanobacteria.

## INTRODUCTION

Durant la 2<sup>e</sup> moitié du XX<sup>e</sup> siècle, de nombreux lacs européens ont souffert d'eutrophisation conduisant à une détérioration de la qualité de leurs eaux. Une des conséquences les plus marquantes de l'apport organique a été la prolifération d'algues de la pleine eau qui a perturbé l'équilibre de l'oxygène entre la surface et le fond, avec surproduction d'oxygène en surface et surconsommation en profondeur lors de la décomposition des algues. Pour améliorer la qualité des eaux, différents programmes d'assainissement ont été axés prioritairement sur la réduction en phosphore qui est souvent le principal facteur limitant de la croissance du phytoplancton dans les lacs (SAS, 1989, ANNEVILLE & PELLETIER, 2000). Le lac de Joux comme d'autres lacs suisses n'a pas échappé au phénomène d'eutrophisation. Dans les années 1950, les teneurs moyennes en phosphore total ne dépassaient pas 10 µg P/l (BOSSET, 1961). Par contre, en 1978-79 les concentrations ont triplé (BOSSET, 1981) et atteint un maximum de 35 µg P/L en 1980. La diminution des concentrations en phosphore s'amorce en 1988-89 suite à la mise en place de mesures visant à améliorer le réseau d'égouts et le traitement des eaux usées et redimensionner les fosses à purin des exploitations agricoles (DE HEER, 1984, JUNGO, 1985). Un premier bilan de l'état chimique et biologique a été établi en 1995 sur la base de la chimie des eaux, de l'épuration du bassin versant, du phytoplancton et du zoobenthos profond (STRAWCZYNSKI *et al.* 1995). Parallèlement à l'augmentation du phosphore, on a assisté à une modification importante des communautés algales du phytoplancton avec l'apparition de la cyanobactéries *Planktothrix rubescens* en 1972 (BOSSET, 1981) et la présence de fleurs d'eau dès 1979. Depuis cette date et malgré la diminution importante des teneurs en phosphore total des eaux, cette espèce est dominante en terme de biomasse dans le phytoplancton (LANG & REYMOND, 1993, 1996, STRAWCZYNSKI *et al.*, 1995).

D'autres cas similaires sont connus des lacs de Zürich (WALSBY & SCHANZ, 2002) et du Bourget (JACQUET *et al.*, 2005). De plus, le manque d'oxygène périodique des couches profondes du lac de Joux depuis la fin des années 1970 a affecté la faune et en particulier les communautés benthiques des sédiments fins. Les espèces présentes sont des vers oligochètes et des larves d'insectes chironomidés résistants à l'anoxie partielle du fond (LANG & REYMOND, 1993, 1996).

Sur la base du suivi physico-chimique et biologique (phytoplancton, zoobenthos profond), l'ensemble des données a été réexaminé pour la période 1985-2004. Le suivi des communautés benthiques profondes a été maintenu et complété par des données inexploitées par Lang (identification des espèces d'oligochètes et chironomidés, données sur le zoobenthos littoral).

Le but de cette étude est d'évaluer l'évolution de la qualité physico-chimique et biologique (phytoplancton et faune benthique profonde) en relation avec les efforts d'assainissement entrepris depuis les années 1985 et de faire l'état des connaissances sur la faune benthique littorale de ce grand lac de l'arc jurassien.

## SITE D'ÉTUDE

Le lac de Joux est situé dans la partie sud-ouest du Jura suisse. Il fait partie d'une vallée d'érosion en partie préglaciaire, la vallée de Joux. Cette vallée forme un bassin naturel fermé, sans écoulement superficiel, mais en relation avec un réseau hydrographique souterrain. Le sol est en effet constitué de calcaires très fissurés du Jurassique supérieur et du Crétacé et les fonds lacustres sont forés de sept entonnoirs. Cette structure permet l'infiltration de la majeure partie des eaux de pluie qui vont alimenter par écoulement karstique, les sources vauclusiennes de l'Orbe (BOSSET, 1961). La régularisation du niveau du lac au début du XX<sup>e</sup> siècle par la Compagnie vaudoise des forces motrices des lacs de Joux et de l'Orbe a transformé

le lac de Joux en un lac de retenue dont les amplitudes de variations sont fixées entre les cotes 1001.5 et 1005 m. Les principales caractéristiques géographiques, morphométriques et hydrologiques du lac sont données dans le tableau 1.

La Vallée de Joux fait partie depuis 1996 de l'inventaire des sites marécageux d'une beauté particulière et d'importance nationale (n°21) puis en 1998 de l'inventaire fédéral des paysages, sites et monuments naturels d'importance nationale (n°1022). De plus, la région «Chez le Poisson», englobant les zones de marais entre le Bas des Bioux et l'embouchure de l'Orbe et les zones riveraines entre la Golisse et le Rocheray (n° 506) est inscrite à l'inventaire des bas-marais d'importance nationale. Enfin, les rives du lac sont encore dans un état très naturel et n'ont pas subi d'aménagement de grande envergure depuis le début du XXe siècle. 91% de l'interface eau-terre est encore naturelle (LODS-CROZET *et al.* 1995).

## STATIONS ET MÉTHODES

### *Physico-chimie*

La station d'étude (SP1) est suivie 10 fois par année entre avril et décembre par le SESA (Service des Eaux, Sols et Assainissement du canton de Vaud) pour faire des

contrôles physico-chimiques et récolter de l'eau pour l'étude du phytoplancton. Cette station établie en 1984 se situe à la verticale de la profondeur maximale (33 m) du lac (coordonnées CH : 511760/166070). La colonne d'eau est échantillonnée aux profondeurs : 0.0 m – 2.5 m – 5.0 m – 7.5 m – 10 m – 15 m – 20 m – 25 m – 30 m – >30 m à l'aide d'une bouteille de type Schöpf pour les analyses physico-chimiques. Les méthodes d'analyses utilisées par le laboratoire du SESA sont listées dans le tableau 2.

### *Phytoplancton*

Le phytoplancton est récolté séparément dans deux stations. Au point SP1, il est recueilli 10 fois par année entre avril et décembre dans les 10 premiers mètres de la colonne d'eau, au moyen d'une bouteille de prélèvement cumulatif (SCHRÖDER, 1969). Au deuxième point de prélèvement, situé à environ 50 m du rivage, en face du Pont (SP2) (coordonnées CH : 514780/169000), les échantillons sont récoltés depuis 1983, deux fois par mois, pendant toute l'année et dans les 10 premiers mètres de la colonne d'eau au moyen d'un tuyau lesté, descendu verticalement depuis la surface jusqu'à 10 m de profondeur.

Tous les échantillons d'eau contenant du phytoplancton sont fixés au lugol et rame-

Altitude du plan d'eau	m	1004
Longitude	Est	6°17'
Latitude	Nord	46°37'
Profondeur maximum	m	33
Profondeur moyenne	m	21
Surface du lac	km <sup>2</sup>	8.7
Volume (niveau 1004 m)	km <sup>3</sup>	0.132
Surface du bassin versant	km <sup>2</sup>	211
Temps moyen de renouvellement des eaux	an	0.85
Nombre mois de gel		0 - 3
Précipitations (période 1985-2004)	mm/an	1704

**Tableau 1 :** Principales caractéristiques géographiques, morphométriques et hydrologiques du lac de Joux.

Paramètre(s)	Méthode
pH	Potentiométrie (électrode de verre)
Conductivité	Cellule conductimétrique (pont de Wheatstone)
Calcium, magnésium, sodium, potassium	Chromatographie ionique
Chlorure, nitrate, sulfate	Chromatographie ionique
Alcalinité	Titrage à l'acide chlorhydrique (point final pH = 4.5)
Ammonium	Spectrophotométrie (salicylate)
Nitrite	Spectrophotométrie (sulfanilamide, N-(naphtyl-1)-éthylénediamine)
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)

**Tableau 2** : Méthodes d'analyse utilisées.

nés au laboratoire. Des sous-échantillons de 10 à 50 ml sont examinés au microscope inversé dans une chambre à sémination de Utermöhl (UTERMÖHL, 1958). Ainsi, on peut déterminer et compter les espèces d'algues présentes, mais essentiellement établir le poids de matière fraîche par mètre cube d'eau de la cyanobactéries *Planktothrix*.

### Zoobenthos

Le zoobenthos profond est échantillonné au niveau du limnimètre au Pont (SB1) (coordonnées CH : 514720/168800) par 25 m de profondeur. Dix à douze prélèvements sont effectués à l'aide d'un tube carottier (20 cm de long, 16 cm<sup>2</sup>) par un plongeur en scaphandre autonome en avril, juin et octobre de chaque année depuis 1985 (LANG & REYMOND, 1993). A partir de 2002, cette station est suivie tous les 2 ans.

Un transect en zone littorale a été effectué en 1994, 1995 (LANG, non publié) et de nouveau en 2003 à 5 et 10 m de profondeur sur le « Mont Rond » devant la

« Sauvagère » (SB2) (coordonnées suisses : 513200/166500) en utilisant les mêmes techniques et le même nombre de campagnes et prélèvements annuels que précédemment.

De plus en 2003, 3 prélèvements sont effectués par 1 m de fond en raclant le substrat sur une longueur de 1 m avec un filet emmanché pendant 30 secondes et une chasse à vue est effectuée dans la zone d'interface eau-terre.

Pour tous les échantillons de faune, le sédiment est 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 et chaoboridés. Après coloration au Rose Bengal mettant en évidence les oligochètes, les organismes sont triés et comptés sous une loupe binoculaire à faible grossissement (6x). Les oligochètes, chironomidés et chaoboridés sont ensuite pesés après passage sur du papier absorbant (biomasse,

poids frais). Pour l'analyse spécifique des vers oligochètes de la zone profonde, un sous-échantillonnage de 10 individus de diamètre  $> 0.3$  mm contenus dans la moitié des prélèvements de chaque campagne est réalisé. Les oligochètes et les chironomidés sont ensuite montés entre lame et lamelle (REYMOND, 1994) puis identifiés à l'espèce ou au groupe d'espèces.

De plus, en 2001 et 2002, des prélèvements qualitatifs ont été entrepris tout autour du lac en zone littorale dans le cadre d'une étude sur la révision des listes rouges des invertébrés aquatiques de Suisse (mandat OFEFP). Le recensement a été effectué par le bureau Aquarius pour le Centre Suisse de Cartographie de la Faune (CSCF). Les mollusques, éphémères, plécoptères et trichoptères (MEPT) ont été récoltés à l'aide d'une benne Ekman, d'un filet type Surber tracté sur le fond sur une distance de 0.50 m, au filet emmanché dans la zone d'interface eau-terre et à l'aide de pièges lumineux.

#### *Analyses statistiques*

Les biomasses planctoniques sont comparées en utilisant l'analyse de variance à un critère de classification (ANOVA) après transformation des données ( $\log(x + 1)$ ) pour améliorer la normalité et stabiliser la variance (ZAR, 1984). Pour évaluer l'évolution des peuplements zoobenthiques, le coefficient de corrélation non-paramétrique de Spearman ( $R_s$ ) est calculé en couplant la densité ou la biomasse moyenne avec le temps (SCHERRER, 1984). Toutes les analyses ont été réalisés à l'aide du logiciel SPSS (13.1) pour Windows.

#### RÉSULTATS

##### *Caractérisation et évolution physico-chimique du lac de Joux*

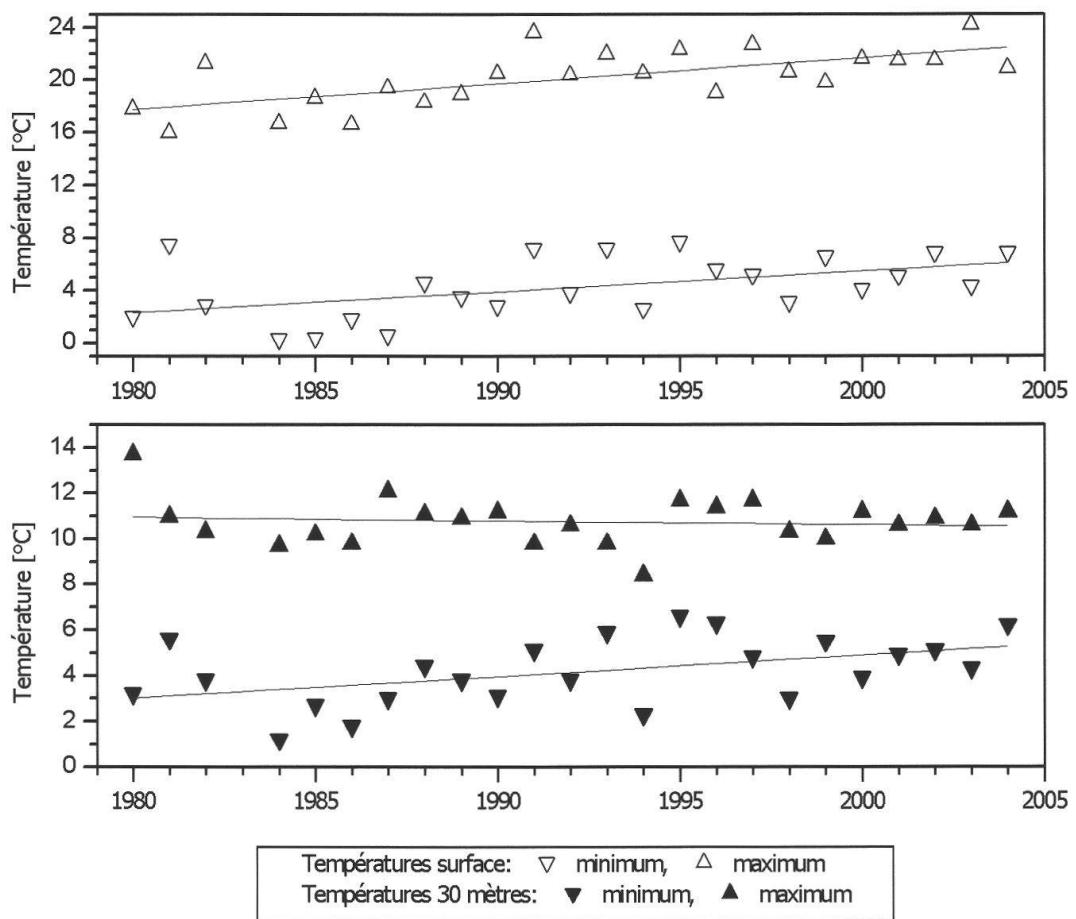
C'est un lac dimictique froid, dont les eaux circulent en avril et octobre, avec la

présence d'une période de gel hivernal allant jusqu'à trois mois. Les températures minimales en surface et au fond du lac ont tendance à augmenter ces 25 dernières années (fig. 1). Malgré cette double circulation annuelle, l'oxygène manque en fin d'été (août et septembre) dans les couches profondes (30 m) où les valeurs sont inférieures à 4 mg/l (dans plus de 90% des cas en août et septembre et entre 40 et 60% des cas en juillet et octobre). Une tendance temporaire à l'amélioration a été constatée dans les années 1994-98 (fig. 2).

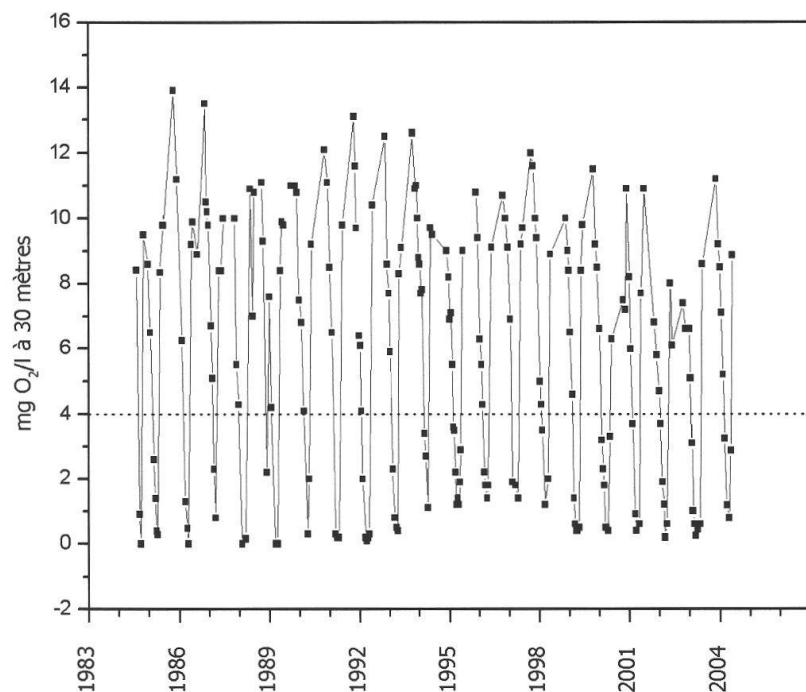
Depuis la fin des années 80, les teneurs en phosphore total décroissent graduellement dans le lac (fig. 3), avec une baisse temporaire plus marquée pendant la période 1993-95 où un minimum exceptionnel de 13.5 µg P/l a été mesuré. En 2004, les valeurs sont à nouveau descendues à 15 µg P/L. Ses eaux sont originellement alcalines et bien minéralisées. Les teneurs des composés azotés (ammonium, nitrate, azote total) sont relativement faibles. Le rapport moyen C : N : P est d'environ 400 : 40 : 1. Les chlorures (d'origine anthropique notamment, comme par exemple les sels de déneigement) ont tendance à augmenter ces vingt dernières années en passant de 5.5 mg/l en 1985 à 8.3 mg/l en 2004 (tab. 3).

##### *Evolution de *Plankthothrix* : 1985-2004*

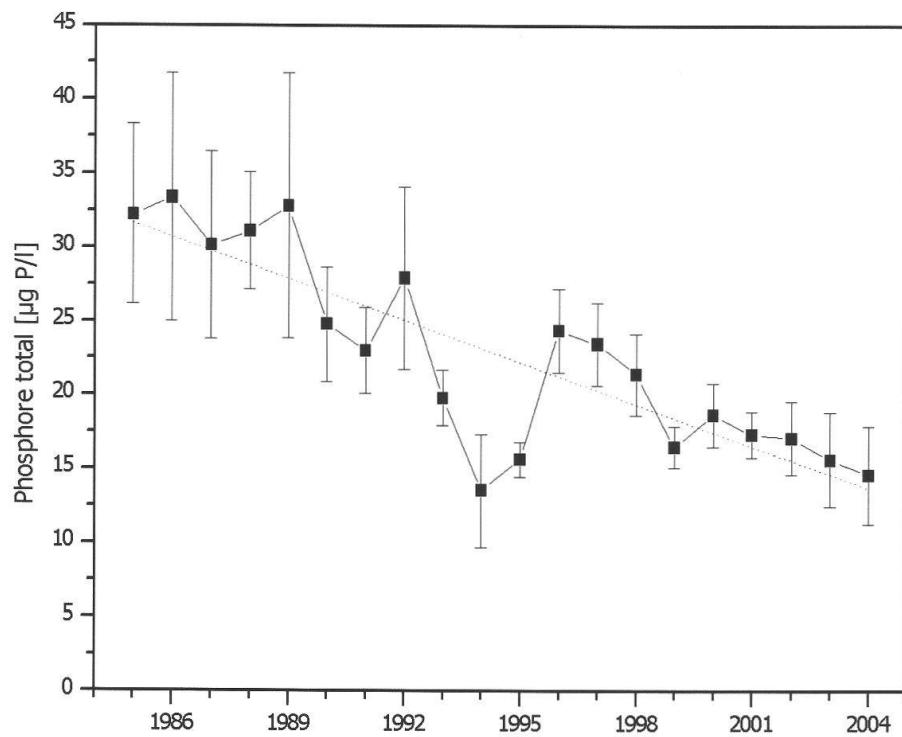
Les algues microscopiques de la pleine eau sont dominées depuis la fin des années 1972 (BOSSET, 1981) par un groupe de deux espèces de cyanobactéries filamentueuses indiscernable par examen microscopique : *Plankthothrix rubescens* / *P. agardhii*. Leurs biomasses moyennes annuelles (fig. 4) ont fluctué ces 20 dernières années entre un minima de 0.12 g/m<sup>3</sup> en 1994 et des maxima de 7.39 en 1988 et 8.43 g/m<sup>3</sup> en 1996. A partir de 1996, une décroissance graduelle et significative s'est réamorcée (ANOVA,  $F=12.102$ ,  $p<0.0001$ ). La période de croissance de ces deux espèces se situe pendant les mois les plus froids de



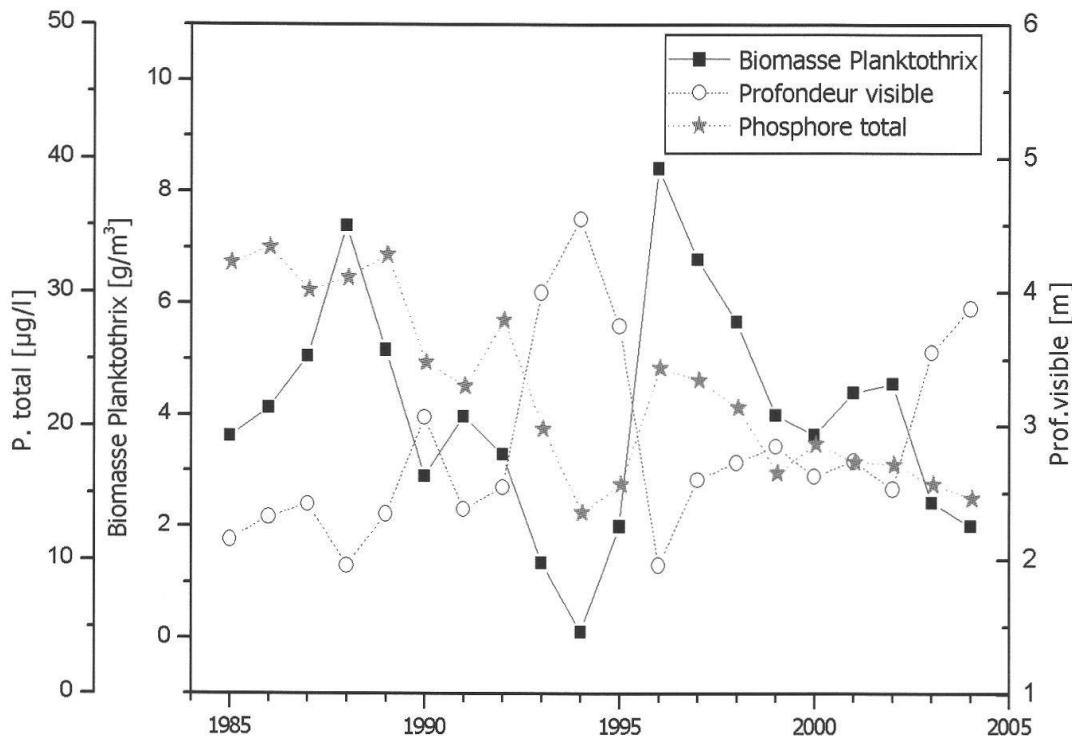
**Figure 1** : Amplitudes de variation thermique de l'eau en surface et à 30 m de profondeur entre 1985 et 2004.



**Figure 2** : Evolution saisonnière de la concentration en oxygène dissous à 30 m de profondeur entre 1985 et 2004.



**Figure 3 :** Evolution de la concentration moyenne annuelle de phosphore total entre 1985 et 2004.



**Figure 4 :** Evolution de la transparence des eaux, des teneurs en phosphore total (moyenne pondérée) et de la biomasse moyenne de *Planktothrix rubescens* ( $\text{g/m}^3$ ) entre 1985 et 2004 aux stations SP1 et SP2.

l'année, avec les plus hautes biomasses en hiver sous la glace (fig. 5). L'évolution de la transparence moyenne annuelle de l'eau est inversement proportionnelle à celle de la biomasse annuelle ( $r$  de Pearson = 0.847,  $p < 0.001$ ) (fig. 4).

La biomasse importante de la cyanobactéries *Planktothrix* rend presque négligeable celle des autres algues du phytoplancton. Il convient cependant d'en citer rapidement quelques-unes. Chez les Cyanobactéries, *Aphanizomenon flos-aquae* et *Anabaena cf. solitaria* font sporadiquement de très timides apparitions. Les Dinoflagellés sont périodiquement mais faiblement représentés par *Gymnodinium helveticum*, *Ceratium hirundinella* et quelques spécimens du genre *Peridinium*. Les Cryptophycées sont observées presque tout au long de l'année avec *Cryptomonas* et *Rhodomonas*. Les Euglenophycées sont régulièrement présentes avec *Trachelomonas*. Les Chrysophycées sont représentées par des fleurs d'eau de *Dinobryon divergens* et *sociale*. *D. bavaricum* et *D. sertularia* sont également notés. Ces fleurs d'eau ont généralement lieu l'été lorsque *Planktothrix* a gagné les couches profondes du lac. Les Diatomées du genre *Melosira* et *Cyclotella* cotoient *Diatoma elongatum*, *Fragilaria crotonensis*, *Asterionella formosa*, *Synedra acus*, v. *angustissima*. En hiver 1995, le genre *Tabellaria* a fait une apparition sporadique. Parmi les Chlorophycées Volvocales, le genre *Phacotus* est très régulièrement présent. Chez les Chlorococcales, les taxons les plus remarquables sont *Ankyra judayii*, *Pediastrum boryanum*, *Elakatothrix genevensis*, *Oocystis*, *Sphaerocystis* et *Scenedesmus*. Enfin, chez les Conjuguées, *Mougeotia* est une algue habituelle du lac tandis que différentes espèces de *Closterium*, de *Cosmarium* et de *Staurastrum* sont, elles, beaucoup plus épisodiques.

#### *Evolution de la faune benthique profonde*

La faune benthique profonde (25 m) est essentiellement constituée par 3 groupes

de macroinvertébrés : les vers oligochètes, les larves d'insectes diptères chironomidés et chaoboridés (tab. 4). Trois espèces d'oligochètes tubificidés colonisent la zone profonde du lac : *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Potamothrix hammoniensis* recensé seulement dès les années 2000 et *Tubifex tubifex*, souvent trouvé au stade immature et indéterminable au niveau spécifique. Ces 2 dernières espèces sont regroupés sous le terme «tubificidés avec soies capillaires et soies pectinées». Elles constituent entre 84 et 94% de l'abondance totale des vers oligochètes (tab. 4). Parmi les larves de chironomidés, *Chironomus* (Chironominae) est prédominant (45 à 98 % de l'abondance totale), suivi par *Procladius* (Tanyopodinae); ces 2 genres se retrouvent dans les prélèvements chaque année. *Tanytarsus* et *Paratanytarsus* sont peu abondants et leur fréquence au cours du temps est faible voir très faible. Les larves de chaoboridés sont transparentes, vivent sur le fond pendant la journée et peuvent se déplacer dans la colonne d'eau la nuit. Une espèce, *Chaoborus flavicans*, colonise le lac en abondance : 285 à 5333 ind./m<sup>2</sup> (min-max) entre 1985 et 2004.

Les densités moyennes annuelles des vers oligochètes varient entre 62'083 en 1986 et 19'357 ind./m<sup>2</sup> en 2000 et décroissent significativement depuis le début des années 1990 ( $r_s$  de Spearman = - 0.415,  $p < 0.01$ ) (fig. 6). L'abondance moyenne des larves de chironomidés varie cycliquement et oscille entre 125 en 1992 et 5'486 ind./m<sup>2</sup> en 1994. Une corrélation négative est cependant perceptible au cours du temps ( $r_s$  de Spearman = - 0.275,  $p < 0.01$ ) (fig. 7). La biomasse du zoobenthos (oligochètes, chironomidés et *Chaoborus*) diminue de manière significative depuis les années 1985 ( $r_s$  de Spearman = - 0.314,  $p < 0.01$ ) (fig. 8). Le pic de 1994 correspond au développement massif des larves de *Chironomus*, tandis que l'augmentation de 2002 et 2004 provient de la recrudescence des vers oligochètes

Paramètre		Moyenne	Minimum	Maximum
pH		8.29	7.80	8.70
Conductivité	µS/cm à 25°C	285	258	301
Température	°C	11.9	6.2	21.2
Oxygène	mg O <sub>2</sub> /l	7.9	0.7	11.3
Carbone organique total	mg C/l	2.71	2.28	3.84
Ammonium	mg N/l	0.033	0.001	0.151
Nitrite	mg N/l	0.005	0.001	0.190
Nitrate	mg N/l	0.17	0.00	0.75
Azote total	mg N/l	0.36	0.04	0.97
Phosphore réactif soluble	mg P/l	0.002	0.001	0.009
Phosphore total	mg P/l	0.017	0.004	0.080
Sodium	mg/l	5.23	4.76	6.56
Potassium	mg/l	0.70	0.24	1.01
Magnésium	mg/l	2.14	1.90	2.46
Calcium	mg/l	49.57	41.94	54.84
Alcalinité	méq/l	2.67	2.38	2.78
Chlorure	mg/l	8.41	8.11	9.36
Sulfate	mg/l	2.75	2.14	4.17
Silice	mg SiO <sub>2</sub> /l	0.84	0.04	2.42

Tableau 3 : Caractérisation chimique des eaux du lac de Joux en 2004, excepté pour l'azote total (moyennes 1985-2003)

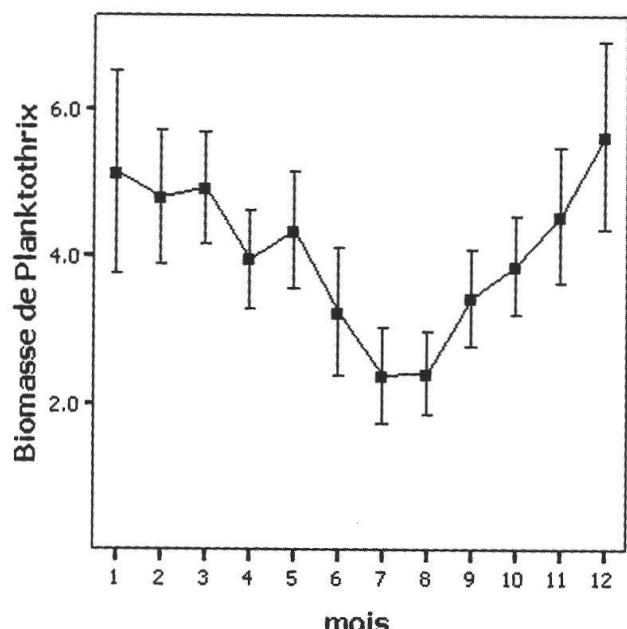
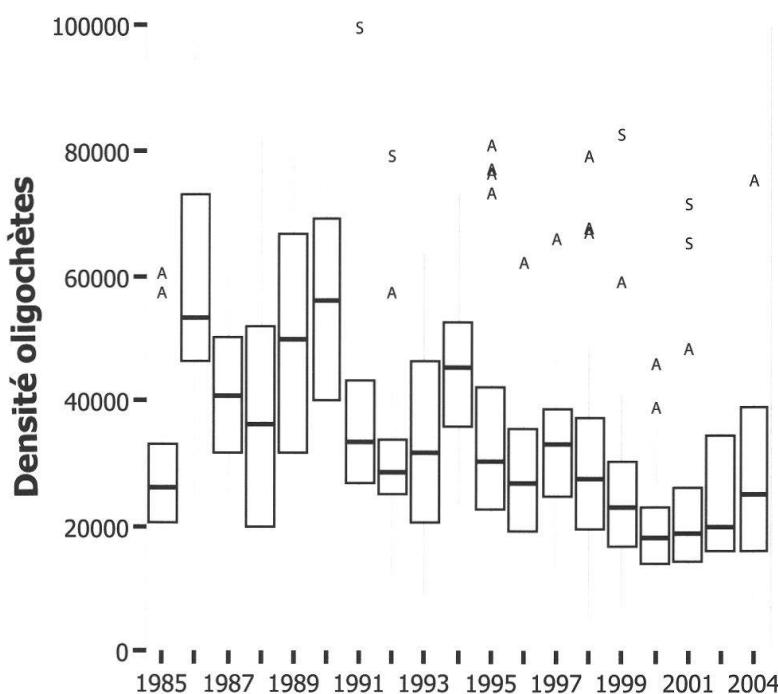


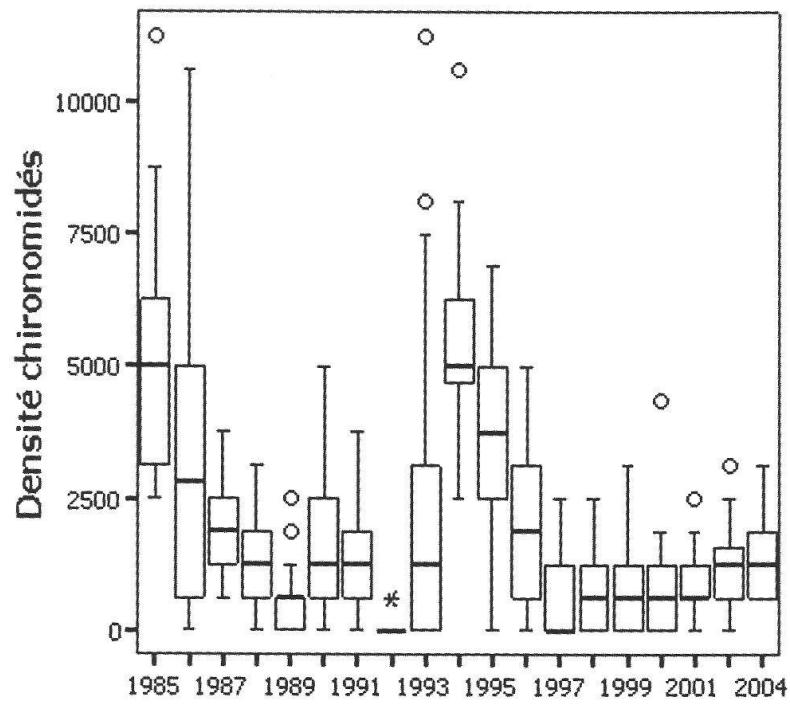
Figure 5 : Evolution moyenne saisonnière de la biomasse de *Planktothrix rubescens* (g/m<sup>3</sup>) (± intervalles de confiance à 95%) entre 1985 et 2004.

	1994		1995		1997		2000		2001		2002		2004	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
<b>OLIGOCHAETA</b>														
<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> (Claparède)	1	6	1	10	1	16	1	14	nd	nd	1	10	1	7
<i>Limnodrilus</i> spp. (immatures)	2	2	2	2	2	2	2	2	nd	nd	2	2	1	1
<i>Potamothrix hammoniensis</i> (Michaelsen)	2	94	2	90	2	84	1	86	nd	nd	2	90	2	93
<i>Tubifex tubifex</i> (Müller)	3	3	3	3	3	3	3	3	nd	nd	3	3	3	3
Tubificidae+soies capillaires+soies pectinées (immat.)	n		105	169		87	78		nd		230	161		
<b>CHIRONOMIDAE</b>														
<i>Procladius (Holotanypus)</i> spp.	1	nd	1	15	3	51	1	2	2	13	1	4	1	13
<i>Chironomus lacunarius</i> gr.	3	nd	3	83	3	45	3	98	3	85	3	96	3	85
<i>Paratanytarsus</i> spp.	1													
<i>Tanytarsus bathophilus</i> Kieffer	1													
<i>Tanytarsus lugens</i> gr.	1	nd	1	171	2	92	49	39	71	1	55	1		
<b>CHAOBORIDAE</b>														
<i>Chaoborus flavicans</i> (Meigen)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

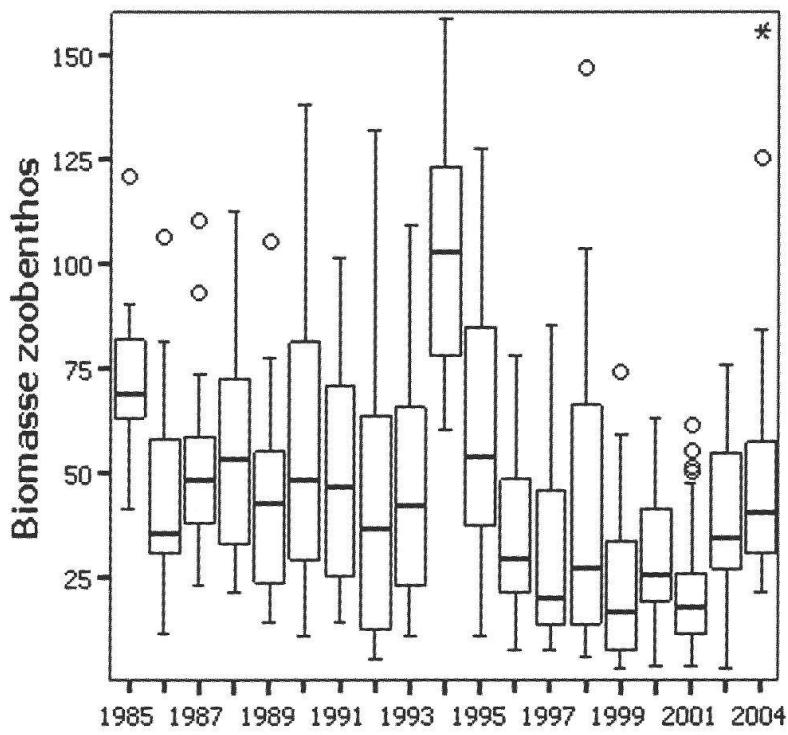
**Tableau 4 :** Composition faunistique et classes d'abondance des oligochètes et larves de chironomidés (A); abondance relative des 4 taxa dominants d'oligochètes et chironomidés (B) à la station SB1 (25 m de profondeur) entre 1994 et 2004. 1 : peu abondant (1 - 3 individus/carotte); 2 : abondant (4 - 10 individus/carotte); 3 : très abondant (>10 individus/carotte). nd : non disponible; n : nombre d'individus déterminés



**Figure 6 :** Evolution de la densité des oligochètes (ind./m<sup>2</sup>) entre 1985 et 2004 à la station SB1. Les boxplots représentent la médiane, les pourcentages inquartiles (25 et 75), 1.5 x l'intervalle interquartile et les valeurs éloignées.



**Figure 7** : Evolution de la densité des chironomides (ind./m<sup>2</sup>) entre 1985 et 2004 à la station SB1. Les boxplots représentent la médiane, les pourcentages inquartiles (25 et 75), 1.5 x l'intervalle interquartile et les valeurs éloignées.



**Figure 8** : Evolution de la biomasse du zoobenthos (poids frais, g/m<sup>2</sup>) entre 1985 et 2004 à la station SB1. Les boxplots représentent la médiane, les pourcentages inquartiles (25 et 75), 1.5 x l'intervalle interquartile et les valeurs éloignées.

	Année	1994	1995	2003	1994	2003
		Station	SB1/SB2	SB2	SB2	SB1/SB2
Profondeur (m)		5	5	5	10	10
nb. prélèvements		18	18	18	12	18
<b>OLIGOCHAETA</b>						
<i>Spiroperma ferox</i> (Eisen)		1	1	1		
<i>Limnodrilus claparedeanus</i> Ratzel						1
<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> (Claparède)		1			1	
<i>Limnodrilus</i> spp. (immatures)		1	1	1	2	1
<i>Tubifex tubifex</i> (Müller)					1	
Tubificidae+soies capillaires+soies pectinées (immat.)		1		1	1	1
<b>CHIRONOMIDAE</b>						
<i>Procladius</i> (H.) spp.		1	2	2	1	1
<i>Chironomus lacunarius</i> gr.		1	1	1	2	2
<i>Cladopelma laccophila</i> gr.		1		1		
<i>Cryptochironomus</i> spp.		1	1	1		1
<i>Dicrotendipes</i> spp.					1	
<i>Einfeldia dissipens</i> gr.		1				
<i>Microtendipes chloris</i> (Meigen)		1		1		
<i>Pseudochironomus prasinatus</i> (Staeger)		1	1	1		
<i>Cladotanytarsus mancus</i> gr.		1	1	1		
<i>Tanytarsus lugens</i> gr.		1	1	1	1	1
<b>EPHEMEROPTERA</b>						
<i>Caenis horaria</i> Linneaus		2	1	1		1
<b>MEGALOPTERA</b>						
<i>Sialis lutaria</i> Linneaus			1			1

**Tableau 5** : Composition faunistique et classes d'abondance du zoobenthos littoral (stations SB1 et SB2) entre 1994 et 2003 ; 1 : peu abondant (1 - 3 individus/carotte) ; 2 : abondant (4 - 10 individus/carotte) ; 3 : très abondant (>10 individus/carotte)

## Faune benthique littorale

Le zoobenthos des sédiments fins littoraux (SB2) à 5 et 10 m de profondeur est constitué principalement de 5 groupes d'invertébrés benthiques : vers oligochètes (4 espèces), larves d'insectes (éphémères : 1 espèce, mégaloptères : 1 espèce et diptères chironomidés : 10 taxa) et mollusques bivalves (2 espèces) (tab. 5, Annexe 1). *Spiroperma ferox* et *Limnodrilus claparedeanus* (vers oligochètes) ne se rencontrent respectivement qu'à 5 et 10 m de profondeur dans le lac de Joux. Les larves de chironomidés sont les plus diversifiées dans les sédiments littoraux (9 taxa à 5 m). Cette richesse diminue progressivement avec la profondeur (5 taxa à 10 m; 3 à 25 m). L'abondance des taxa est faible; seuls les vers *Limnodrilus* et les larves de *Procladius*, *Chironomus* et *Caenis horaria* peuvent avoir des abondances plus élevées (4-10 individus/carotte).

Le recensement effectué dans le lac de Joux en 2001 dans le cadre de la révision des listes rouges nationales (Lubini *et al.* 2001) a permis d'établir une liste de 57 espèces, dont 24 mollusques, 8 larves d'éphémères, 3 de plécoptères et 22 de trichoptères (Annexe 1). La profondeur de colonisation ne dépasse pas 10 m pour les mollusques bivalves. En 2003, les prélèvements faits devant la Sauvagère (station SB2) permettent d'enrichir la liste de 8 espèces parmi les sangsues, mollusques, crustacés, éphémères, mégaloptères et bryozoaires. A noter, l'apparition dans le lac de la moule zébrée (*Dreissena polymorpha*).

Il est en outre possible d'ajouter que le lac de Joux abrite une faune aquatique originale et rare, car plusieurs espèces recensées figurent sur la liste rouge des espèces animales menacées de Suisse disponible à ce jour (TURNER *et al.* 1994, SARTORI *et al.* 1994) : 7 espèces de mollusques (soit le 50%) et 6 espèces d'éphéméroptères (soit le 67%).

## DISCUSSION

La rapide diminution des teneurs en phosphore total des années 1993-94, a entraîné simultanément une baisse de la biomasse algale (fig. 4) qui a été suivie d'une meilleure oxygénéation de la zone profonde du lac pendant 4 années consécutives (1994 à 1997). Ceci a permis un développement en masse des larves de *Chironomus* dans des sédiments mieux oxygénés en 1994 et 1995. Ces éléments positifs ont fait penser que la restauration de la qualité des eaux du lac de Joux était bien amorcée (STRAWCZYNISKI *et al.* 1995). Pourtant en 1996, les concentrations en phosphore total sont remontées à des valeurs enregistrées en 1990, entraînant une explosion de la biomasse des cyanobactéries. Cette augmentation pourrait être liée aux plus fortes précipitations enregistrées en 1995 par rapport à celles des cinq précédentes années. Depuis 1996, la lente décroissance du phosphore et conjointement des cyanobactéries filamenteuses ( $r$  de Pearson = 0.485,  $p$  = 0.035) constituent des signes encourageants pour le fonctionnement du lac (fig. 4).

Le succès de la persistance et de la dominance de ces 2 espèces de cyanobactéries filamenteuses s'explique par leurs stratégies physiologiques et écologiques de développement. Par leur capacité d'ajuster leur flottabilité grâce à leurs vésicules gazeuses, et par conséquent leur position dans la colonne d'eau, elles se maintiennent dans un environnement préférentiel de faible intensité lumineuse. *Planktothrix rubescens* (espèce typique de lac bien stratifié) se maintient, en période estivale, dans le métalimnion où elle trouve des conditions lumineuses favorables à son développement et une concentration en phosphore plus grande. En effet, ses cellules sont généralement caractérisées par la présence d'un pigment rouge, la phycocérythrine, qui lui permet d'absorber la lumière verte dominante dans cette zone de la colonne d'eau. *Planktothrix agardhii* sup-

porte des températures relativement faibles, ce qui lui permet de survivre dans des eaux froides pendant l'hiver, même sous la glace, et représente ainsi l'inoculum pour une croissance très printanière avant les autres groupes d'algues. De plus, d'autres conditions favorisent leur croissance comme leur relative grande taille et l'émission de toxines de type microcystine qui limitent l'intensité du broutage par le zooplancton.

La réduction des apports de phosphore dans de nombreux lacs à forte stabilité de la colonne d'eau (p. ex. lac de Zürich, lac des Quatre-Cantons, lac du Bourget) n'a pas eu d'impact significatif sur la prolifération de *Planktothrix*. Des valeurs seuil de 10-15 µg/L ont été préconisées pour minimiser les risques de prolifération et de dominance des populations de *Planktothrix* dans les lacs. Un bon exemple est fourni par le Mondsee (Autriche) où des valeurs en P < 10 µg/L ont conduit à la disparition de *P. rubescens* (STEINBERG & HARTMANN, 1988, DOKULIL & JAGSCH, 1992, WALSBY & SCHANZ, 2002; JACQUET *et al.*, 2005). De telles valeurs ont été atteintes dans le lac de Joux en 1994 (13.6 µg/L) et ont permis une diminution drastique quoique momentanée de la biomasse algale. En 2004, la concentration moyenne pondérée en phosphore total est passée en dessous de la barre de 15 µg/L ce qui classe le lac de Joux, selon les critères OCDE (VOLLENWEIDER & KEREKES, 1982), comme un écosystème mésotrophe. Cette diminution régulière des concentrations en P et en biomasse de *Planktothrix* pourrait à terme provoquer la fin de la dominance de ces cyanobactéries sur le peuplement phytoplanctonique du lac et diminuer par conséquent la demande en oxygène des eaux interstitielles du sédiment par réduction de la sédimentation algale.

Certains indicateurs de la structure des peuplements zoobenthiques de la zone profonde (densité, biomasse) évoluent positivement depuis le début des années 1990.

Mais, d'un autre côté, les trois espèces de vers oligochètes sont résistantes au manque d'oxygène périodique du fond du lac et leurs abondances traduisent un taux élevée en matière organique du sédiment (6-7 % poids sec, données non publiées). Dans le lac Esrom au Danemark, *Potamothrix hammoniensis* supporte mieux des conditions d'anoxie (limite de diminution d'effectifs : 0.7 mg/l O<sub>2</sub>) que *Chironomus anthracinus* (ca. 2 mg/l O<sub>2</sub>) (LINDEGAARD *et al.*, 1993). Il semble en être de même dans le lac de Joux où les populations de *Chironomus lacunarius* gr. demeurent faibles (850.7 ± 778.5 ind./m<sup>2</sup> en 2004), excepté les années à faible biomasse de *Planktothrix* (cf. figure 4). Les communautés de chironomidés sont caractéristiques d'un lac de type µ-eutrophe au sens de SAETHER (1979) et sont comparables à celles d'autres lacs de l'arc jurassien français (Maclu, Abbaye, Saint Point) (VERNEAUX & ALEYA, 1998). La structure des communautés zoobenthiques profondes a nettement évolué depuis 1955 (BOSSET 1961). Dans la station de profondeur comparable à SB1, sur les deux espèces d'oligochètes identifiées, *Psammoryctides barbatus* indicateur d'oxyphilie (MILBRINK *et al.*, 2002, LAFONT, 1989) n'a pas été retrouvé depuis les années 1980 même en zone littorale. *Limnodrilus hoffmeisteri*, moins sensible à l'anoxie maintient des populations denses en 2002 – 2004. Les deux genres de chironomidés recensés en 1955 (*Chironomus* et *Tanytarsus*) sont toujours présents, quoique moins abondants, tandis que les populations de *Chaoborus* sont trois fois plus abondantes aujourd'hui. En 1955, des mollusques gastéropodes (*Valvata piscinalis* et *V. cristata*) et bivalves (*Sphaerium corneum*, *Musculium lacustre*, *Pisidium* sp.) colonisaient le fond du lac jusqu'à 33 m; ils ne sont plus présents actuellement. A cette époque, les concentrations en oxygène dissous en fin de période estivale au niveau du fond ne chutaient pas au-dessous de 2 mg/l et les cyanobactéries ne proliféraient pas dans le lac.

Contrastant avec la structure des communautés benthiques profondes, la faune littorale et sublittorale est en revanche riche en espèces de mollusques, d'éphéméroptères, de plécoptères et de trichoptères (MEPT). Les recensements 2001 et 2003 montrent que le lac de Joux est aussi riche en nombre d'espèces de mollusques que les lacs de Thoune et Brienz (OCHSENBEIN & MATTMANN, 2003), considérés comme oligo-méso et oligotrophe respectivement, et ceci malgré sa taille réduite et son altitude plus élevée. Par contre, la diversité est légèrement moins élevée pour les insectes plécoptères et trichoptères, et la moitié moins d'espèces d'éphéméroptères y ont été observés (LUBINI *et al.*, 2003). De plus, les derniers recensements de Libellules montrent que neuf espèces se reproduisent probablement dans le lac (données CSCF). Deux d'entre elles, *Lestes sponsa* et *Sympetrum danae* sont potentiellement menacées, car leurs populations régressent et *Sympetrum flaveolum* est en danger, car ses populations, qui ont toujours été peu abondantes et localisées, reculent sur l'ensemble du pays (GONSETH & MONNERAT, 2002). A noter encore que les communautés d'oligochètes et chironomidés des sédiments à 5 et 10 m sont également plus diversifiées que dans les plus grandes profondeurs; l'absence de *Potamothrrix hammoniensis* indique que les sédiments sont bien oxygénés.

Le lac de Joux est un écosystème de montagne avec une grande valeur paysagère et biologique. Les milieux riverains et littoraux sont à haute potentialité floristique et faunistique, riches en espèces originales et rares (LODS-CROZET, *et al.* 1995, DELARZE *et al.*, 2004). Les altérations survenues dans

les années quatre-vingts ont atteint principalement les zones pélagiques et benthiques profondes. Les signes d'une restauration effective de la qualité des eaux sont visibles ces dernières années par la réduction graduelle des teneurs en phosphore qui se rapprochent des valeurs limitant la dominance des cyanobactéries dans les lacs. La réponse du phytoplancton va également dans ce sens par une diminution de la biomasse des algues dominantes. Le transfert vers une non-prolifération des cyanobactéries engendrerait à court-terme une meilleure oxygénation des couches profondes en fin d'été et une diminution de la sédimentation organique. A moyen terme, les communautés benthiques profondes devraient se diversifier et l'abondance des oligochètes diminuer.

#### REMERCIEMENTS

Nous remercions Jean-Daniel Meylan, pêcheur professionnel à la Vallée pour la mise à disposition de son bateau et de son temps pour la prise d'échantillons de phytoplancton. Les campagnes d'échantillonnage en plongée de la faune benthique ont été réalisées depuis 2002, grâce à l'appui de Nathalie Ménétrey et Jean-Louis Lods. Nous tenons à remercier aussi le Centre Suisse de Cartographie de la Faune (CSCF) pour la mise à disposition de données faune aquatique et particulièrement Vereina Lubini, Pascal Stucki et André Wagner pour la détermination des mollusques, éphémères, plécoptères et trichoptères du lac de Joux. Les vérifications de détermination de chironomidés ont été confiées à Peter Langton. Les remarques et commentaires de Sandra Knispel, et Philippe Vioget ont permis d'améliorer la clarté du manuscrit.

## BIBLIOGRAPHIE

- ANNEVILLE, O. & PELLETIER, J.-P. 2000. Recovery of Lake Geneva from eutrophication : quantitative response of phytoplankton. *Arch. Hydrobiol.* 148 : 607-624.
- BOSSET, E. 1961. Le lac de Joux. Etude hydrologique du bassin. Recherches mai 1953 – avril 1957. *Thèse de doctorat*, Université de Lausanne.
- BOSSET, E. 1981. Evolution de l'état sanitaire du lac de Joux de 1953/57 à 1978/79. *Bull. ARPEA* 108 : 11-44 et 109 : 41-64.
- DELARZE, R.; DRUART, P.; KOZLOWSKI, G.; MORET, J.-L.; PRUNIER, P. & GMÜR, P. 2004. *Arenaria gothica* et autres plantes rares des rives lacustres de la Vallée de Joux (Vaud, Suisse). Quelques observations récentes et premières données autécologiques. *Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat.* 89 (1) : 1-11.
- DOKULIL, M.T. & JAGSCH, A. 1992. The effects of reduced phosphorus and nitrogen loading on phytoplankton in Mondsee, Austria. *Hydrobiologia* 243/244 : 389-394.
- GONSETH, Y. & MONNERAT, C. 2002. Liste rouge des Libellules menacées de Suisse. *Ed. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne et Centre suisse de cartographie de la faune, Neuchâtel. Série OFEFP : L'environnement pratique*.
- HEER, J. DE 1984. Etude de l'environnement de la Vallée de Joux. Rapport final. *Institut du génie de l'environnement, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne*.
- JACQUET, S.; BRIAND, J.-F.; LEBOULANGER, C.; AVOIS-JACQUET, C.; OBERHAUS, L.; TASSIN, B.; VINÇON-LEITE, B.; PAOLINI, G.; DRUART, J.-C.; ANNEVILLE, O. & HUMBERT, J.-F. 2005. The proliferation of the toxic cyanobacterium *Planktothrix rubescens* following restoration of the largest natural French lake (Lac du Bourget). *Harmful algae* (4) : 651-672.
- JUNGO, E. 1985. Lac de Joux. Assainissement interne. Rapport d'évaluation. *Ingenieurbüro Jungo AG, Zürich*.
- 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. *Université Claude Bernard - Lyon 1, Lyon*.
- LANG, C. & REYMOND, O. 1993. Trends in phytoplanktonic and zoobenthic communities after the decrease of phosphorus concentrations in Lake Joux. *Rev. suisse Zool.* 100 (4) : 907-912.
- LANG, C. & REYMOND, O. 1996. Reversal of eutrophication in four Swiss Lakes : evidence from oligochaete communities. *Hydrobiologia* 334 : 157-161.
- LINDEGAARD, C.; DALL, P.C. & HANSEN, S.B. 1993. Natural and variability in the profundal fauna of Lake Esrom, Denmark. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25 : 576-581.
- LODS-CROZET, B.; DEMIERRE, A.; JUGE, R.; AUDERSET JOYE, D. & LACHAVANNE, J.-B. 1995. Etat des rives des lac de Joux et Brenet. Qualification et Conservation. *Rapport OFEFP, Canton de Vaud et Université de Genève*.
- LUBINI, V.; STUCKI, P. & VINCENTINI, H. 2001. Revision der nationalen Roten Listen - Projektvorschlag 2002-2005, Wasserinsekten und Wassermollusken (MEPT).

- LUBINI, V.; STUCKI, P.; SCHIESS, H.; VINCENTINI, H.; WAGNER, A.; ZAUGG, C. & ZAUGG, B. 2003. Révision des listes rouges nationales. Organismes aquatiques – MEPT (Mollusca, Ephemeroptera, Plecoptera et Trichoptera). *Rapport activité 2002, CSCF Neuchâtel*.
- MILBRINK, G.; TIMM, T. & LUNDBERG, S. 2002. Indicative profundal oligochaete assemblages in selected small Swedish lakes. *Hydrobiologia* 468 : 53-61.
- OCHSENBEIN, U. & MATTMANN, B. 2003. Gewässerbericht 1997-2000. *Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft, Bern*.
- REYMOND, O. 1994. Préparations microscopiques permanentes d'oligochètes : une méthode simple. *Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat.* 83 : 1-3.
- SAETHER, O. A. 1979. Chironomid communities as water quality indicators. *Holarctic Ecology* 2 : 65-74.
- SARTORI, M.; LANDOLT, P. & ZURWERRA, A. 1994. Liste rouge des éphémères menacés de Suisse. In : Listes rouges des espèces menacées de Suisse, *OFEFP, Berne*, 72-74.
- SAS, H. 1989. Lake restoration by reduction of nutrients loading : expectations, experiences, extrapolations. *Academia Verlag Richarz, St. Augustin, Germany*.
- SCHRÖDER, R. 1969. Ein summierender Wassershöpfer. *Arch. Hydrobiol.* 66 (2) : 241-243.
- SCHERRER, B. 1984. Biostatistique. *Gaëtan Morin, Montréal*.
- STEINBERG, C.E. & HARTMANN, H. M. 1988. Planktonic bloom-forming Cyanobacteria and the eutrophication of lakes and rivers. *Freshwater Biology* 20 : 279-287.
- STRAWCZYNSKI, A.; VIOGET, P.; LANG, C. & REYMOND, O. 1995. Amélioration de l'état chimique et biologique du lac de Joux entre 1985 et 1994 : rapport de synthèse. *Rapport SESA et SFFN*.
- TURNER, H., WÜTHRICH, M. & RÜETSCHI, J. 1994. Liste rouge des mollusques menacés de Suisse. In : Listes rouges des espèces menacées de Suisse, *OFEFP, Berne*, 75-79.
- UTERMÖHL, H. 1958. Zur Vervollkommung des quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitt. Int. Verein. Limnol.* 9 : 1-38.
- VERNEAUX, V. & ALEYA, L. 1998. Bathymetric distribution of chironomid communities in ten French lakes : implications on lake classification. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergeb. Limnol.* 142 (2) : 209-228.
- VOLLENWEIDER, R. A. & KEREKES, J. 1982. Eutrophication of Waters. Monitoring, Assessment and Control. Organization for Economic Co-Operation and Development (OECD), *Paris*.
- WALSBY, A.E. & SCHANZ, F. 2002. Light-dependent growth rate determines changes in the population of *Planktothrix rubescens* over the annual cycle in Lake Zürich, Switzerland. *New Phytologist* 154 : 671-687
- ZAR, J. H. 1984. Biostatistical analysis. *Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey*.

	LR	MEPT-2001	SB2-2003
<b>HIRUDINEA</b>			
<i>Glossiphonia complanata</i> (Linnaeus)			*
<i>Helobdella stagnalis</i> (Linnaeus)			*
<i>Erpobdella octoculata</i> (Linnaeus)			*
<b>MOLLUSCA Gastropoda</b>			
<i>Bithynia tentaculata</i> (Linnaeus)		*	*
<i>Valvata cristata</i> Müller	○	*	
<i>Valvata piscinalis</i> (Müller)		*	
<i>Galba truncatula</i> (Müller)		*	
<i>Stagnicola corvus</i> (Gmelin)	○	*	
<i>Radix ovata</i> (Draparnaud)		*	
<i>Radix auricularia</i> (Linnaeus)		*	*
<i>Lymnaea stagnalis</i> (Linnaeus)		*	
<i>Planorbis carinatus</i> Müller	○	*	
<i>Anisus leucostoma</i> (Millet)	○	*	
<i>Bathyomphalus contortus</i> (Linnaeus)	○	*	
<i>Gyraulus albus</i> (Müller)		*	
<i>Gyraulus crista</i> (Linnaeus)	○	*	
<i>Hippeutis complanatus</i> (Linnaeus)	○	*	
<b>MOLLUSCA Bivalvia</b>			
<i>Pisidium casertanum</i> (Poli)		*	
<i>Pisidium hibernicum</i> Westerlund	○	*	
<i>Pisidium milium</i> Held	○	*	
<i>Pisidium nitidum</i> Jenyns		*	
<i>Pisidium obtusale</i> (Lamarck)		*	
<i>Pisidium personatum</i> Malm		*	
<i>Pisidium subtruncatum</i> Malm		*	
<i>Musculium lacustre</i> (Müller)	○	*	
<i>Sphaerium corneum</i> (Linnaeus)		*	
<i>Anodonta cygnea</i> (Linnaeus)		*	
<i>Dreissena polymorpha</i> (Pallas)			*
<b>CRUSTACEA</b>			
<i>Gammarus</i> sp.			*
<b>EPHEMEROPTERA</b>			
<i>Siphlonurus lacustris</i> Eaton	○	*	
<i>Centroptilum luteolum</i> (Müller)	○	*	
<i>Cloeon dipterum</i> (Linnaeus)		*	
<i>Cloeon simile</i> Eaton	○	*	*
<i>Ecdyonurus dispar</i> (Curtis)	○		*
<i>Leptophlebia marginata</i> (Linnaeus)	○	*	*
<i>Ephemera danica</i> Müller		*	
<i>Ephemera vulgata</i> Linnaeus	○	*	*
<i>Caenis horaria</i> (Linnaeus)		*	*

	MEPT-2001	SB2-2003
<b>PLECOPTERA</b>		
<i>Nemoura cinerea</i> (Retzius)	*	*
<i>Nemurella picteti</i> Klapalek	*	
<i>Siphonoperla torrentium</i> (Pictet)	*	
<b>MEGALOPTERA</b>		
<i>Sialis lutaria</i>		*
<b>TRICHOPTERA</b>		
<i>Rhyacophila dorsalis</i> (Curtis)	*	
<i>Oxyethira flavicornis</i> (Pictet)	*	
<i>Cyrnus flavidus</i> McLachlan	*	
<i>Polycentropus flavomaculatus</i> (Pictet)	*	
<i>Tinodes waeneri</i> (Linnaeus)	*	
<i>Agrypnia pagetana</i> Curtis	*	
<i>Agrypnia varia</i> (Fabricius)	*	
<i>Phryganea grandis</i> Linnaeus	*	*
<i>Chaetopteryx villosa</i> (Fabricius)	*	
<i>Halesus radiatus</i> (Curtis)	*	
<i>Limnephilus decipiens</i> (Kolenati)	*	
<i>Limnephilus incisus</i> Curtis	*	
<i>Limnephilus rhombicus</i> (Linnaeus)	*	
<i>Limnephilus subcentralis</i> (Brauer)	*	
<i>Lepidostoma hirtum</i> (Fabricius)	*	
<i>Athripsodes aterrimus</i> (Stephens)	*	*
<i>Athripsodes cinereus</i> (Curtis)	*	*
<i>Mystacides azureus</i> (Linnaeus)	*	
<i>Mystacides longicornis</i> (Linnaeus)	*	
<i>Oecetis ochracea</i> (Curtis)	*	*
<i>Odontocerum albicorne</i> (Scopoli)	*	
<i>Molanna angustata</i> (Curtis)	*	
<b>BRYOZOA</b>		
<i>Cristatella mucedo</i>		*

**Annexe 1** (pages 46 et 47) : Liste des espèces recensées dans le lac de Joux (révision des listes rouges nationales MEPT-2001) et entre 0 et 2 m de profondeur à la station SB2; LR : mollusques et éphéméroptères présents dans la liste rouge suisse.