

Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 94 (2014-2015)
Heft: 3

Artikel: Végétation aquatique du lac de Joux (Jura, Suisse), diversité et qualité biologique
Autor: Lods-Crozet, Brigitte / Sandoz, Émilie
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-583307>

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: 09.04.2026

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

Végétation aquatique du lac de Joux (Jura, Suisse), diversité et qualité biologique

par

Brigitte LODS-CROZET¹ & Émilie SANDOZ²

Résumé. LODS-CROZET B. & SANDOZ E., 2015. Végétation aquatique du Lac de Joux (Jura, Suisse), diversité et qualité biologique. *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles* 94.3 : 243-260.

Le monitoring des écosystèmes lacustres prend rarement en compte une évaluation de la végétation aquatique. Sur la base d'une méthode européenne de suivi par transects (12 transects), la richesse, la valeur patrimoniale et l'abondance des peuplements d'hydrophytes submergés ont été évaluées et comparées à celles de 1990. Dans la présente étude, 25 espèces ont été recensées parmi lesquelles sept characées, une bryophyte et 17 hydrophytes vasculaires. Onze espèces (dont cinq characées) sont menacées au niveau national. Les peuplements les plus abondants sont dominés par *Chara aspera* et *C. strigosa*. La profondeur maximale de colonisation est de 5.4 m et le taux de recouvrement le plus élevé (45 %) se situe entre 1 et 2 m. L'indice de qualité biologique, basé sur les hydrophytes, décrit le lac de Joux comme étant de qualité médiocre. Les valeurs faibles de l'indice pourraient s'expliquer par un taux de recouvrement bas et une faible profondeur de colonisation par la végétation liés à la faible transparence de l'eau. Cette dernière est elle-même reliée à la prolifération de cyanobactéries, un phénomène récurrent dans ce lac de montagne. Cependant cette méthode standardisée a le grand avantage de permettre un suivi quantitatif de l'évolution des macrophytes. D'autres indicateurs de changements de la qualité des eaux pourraient être suivis à l'avenir comme la richesse et l'abondance des characées ainsi que leur profondeur de colonisation.

Mots clés : hydrophytes, lac, montagne, biodiversité, évolution, indicateur.

Abstract. LODS-CROZET B. & SANDOZ E., 2015. Aquatic vegetation of the Lac de Joux (Jura, Switzerland), diversity and biological quality. *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles* 94.3 : 243-260.

Ecological monitoring of lacustrine ecosystems still rarely requires an assessment of the aquatic vegetation. Based on a European monitoring method using transect sampling method (12 transects), taxonomic richness, threatened and protected species and the abundance of hydrophytes were assessed and compared with those of 1990. In the present study, twenty five species were listed, including seven Characeae, a Bryophyte and seventeen vascular hydrophytes. Eleven species (of which five Characeae) are endangered at the national level. The most abundant is dominated by *Chara aspera* and *C. strigosa*. The maximum colonisation depth is 5.4 m and the higher percentage of surface area (45 %) colonised by hydrophytes is located between 1 and 2 m depth. The biological quality index

¹ Musée cantonal de Zoologie, Palais de Rumine, Place de la Riponne 6, CH-1014 Lausanne
brigitte.lods@vd.ch

² Chemin de Garmaise 3, CH-1251 Gy

based on hydrophytes described the plant community of Lac de Joux as “poor quality.” The low values of the index could be explained by low colonisation depth and low percentage of surface area colonised by the aquatic vegetation in this mountain lake related to low water transparency which is probably induced by blooms of cyanobacteria. However, the major advantage of this lake standardised method is to enable a quantitative monitoring of the macrophytes changes. Other water quality indicators would be worth monitoring in the near future, for example the richness and abundance of Characeae as well as their colonisation depth.

Keywords : hydrophytes, lake, mountain, biodiversity, changes, indicator.

INTRODUCTION

Dans un contexte de restauration de la qualité des eaux des lacs européens, l'amélioration de la qualité chimique (réduction du phosphore dans la colonne d'eau) est manifeste dans la plupart des écosystèmes lacustres (p. ex. Léman, Morat). Cependant, les réponses biologiques manquent ou sont décalées dans le temps au niveau du compartiment phytoplanctonique et macrophytique en particulier, influençant par cascade trophique les autres compartiments biotiques (zooplancton, invertébrés du sédiment, poissons) ou abiotiques (transparence des eaux, oxygénation du fond) et ne permettant pas une restauration complète de la qualité des eaux dans le même laps de temps. Le lac de Joux n'échappe pas à ce constat et cela malgré des efforts conséquents mis en place dès les années 1980 (LODS-CROZET *et al.* 2006). À partir des années 1970 (BOSSET 1981), la cyanobactérie *Planktothrix rubescens* domine régulièrement les communautés phytoplanctoniques, malgré une diminution drastique des concentrations en phosphore dans le lac entre 1985 et 2014 (de 32 à 15 mg/m³). Une partie de l'explication de l'absence de réponse biologique tient au fait que cette cyanobactérie a des stratégies de développement compatibles avec les conditions physico-chimiques de ce lac (capacité de croissance en milieu appauvri en phosphore dans le métalimnion, préférence pour des eaux carbonatées et des couches d'eau obscures et stables). Cette persistance algale occasionne donc toujours une transparence médiocre des eaux et une consommation d'oxygène très élevée en profondeur nécessaire à la minéralisation de la matière organique produite. Un autre élément clé de la lente amélioration de la qualité des eaux est d'ordre géomorphologique car le volume d'eau de l'hypolimnion (couche d'eau située à une profondeur supérieure à 10 m et réservoir d'oxygène) est faible par rapport à celui de l'épilimnion. Ces conditions actuelles ne permettent pas une oxygénation permanente des couches d'eau profondes et ceci malgré une circulation complète des eaux deux fois par an (printemps et automne).

Cet état joue donc un rôle très marqué sur la limite de profondeur de colonisation de la végétation aquatique. De surcroît, côté terre, la mise à sec périodique d'habitats littoraux du fait de l'artificialisation des régimes d'écoulement liée à l'exploitation hydroélectrique depuis le début du XX^e siècle peut exercer soit une pression sur la flore, soit un effet positif sur les characées en boostant la germination des oospores après un assèchement.

Malgré ces constats, des suivis de la végétation aquatique réalisés en 1979 et 1990 (NOETZLIN 1980, LODS-CROZET *et al.* 1995) ainsi que des inventaires ponctuels effectués dans le cadre de l'actualisation de la Liste Rouge Suisse (MOSER *et al.* 2002), ont montré une grande diversité en algues characées et la présence d'espèces de macrophytes à haute valeur patrimoniale.

Le lac de Joux est un écosystème bien suivi par les services de l'environnement du Canton de Vaud et fait l'objet de plusieurs monitorings depuis les années 1980 aussi bien des compartiments eau (physico-chimie, phytoplancton) que sédiments (invertébrés profonds) (LODS-CROZET *et al.* 2006, DGE données non publiées) ainsi que des populations de corégones (NUSSLÉ *et al.* 2014).

Dans ce contexte, le présent article sur la végétation aquatique du lac fait une synthèse d'une étude mandatée par la Direction générale de l'environnement du canton de Vaud (ECOTEC ENVIRONNEMENT 2014) et il a pour objet :

- d'évaluer la valeur patrimoniale des espèces inventoriées, au niveau Suisse et régional (présence dans les autres lacs jurassiens), cette caractérisation régionale étant possible par les données acquises récemment sur 12 lacs du Jura français par le Conservatoire Botanique de Franche-Comté (BAILLY *et al.* 2007),
- de dresser un bilan qualitatif de l'évolution de la végétation aquatique du lac entre 1990 et 2014,
- d'évaluer la qualité écologique du lac de Joux sur la base du peuplement macrophytique en utilisant la méthode développée par SCHAUMBURG *et al.* (2011), qui a l'avantage d'être une méthodologie reproductible et compatible avec la Directive Cadre Européenne sur l'eau (DCE).

SITE ET MÉTHODES

Le lac de Joux (46° 36' N, 6° 15' E) est situé à une altitude de 1004 m au sud-ouest du Jura suisse. Il fait partie d'un long et étroit bassin d'érosion en partie d'origine préglaciaire. Les montagnes environnantes culminent à 1679 m d'altitude au Mont Tendre. Le bassin versant du lac couvre 211 km². Le substrat est constitué principalement de calcaires fissurés du Jurassique et du Crétacé. Cette vallée forme un bassin naturel fermé, sans écoulement superficiel. Les exutoires des lacs de Joux et Brenet sont formés par plusieurs entonnoirs sous-lacustres sur leurs rives nord-ouest qui sont en relation avec un réseau hydrographique souterrain. Ces infiltrations forment la résurgence de l'Orbe près de Vallorbe, à 800 m d'altitude après un parcours souterrain d'environ 3 km (BOSSET 1961).

Ce lac montagnard a pu conserver une grande naturalité de ses rives et 84 % de celles-ci sont naturelles ou proches du naturel.

La Vallée de Joux est caractérisée par un climat semi-continentale sévère. Sur la période 1993-2011, la moyenne annuelle des précipitations atteint 1554 mm, avec un minimum à 986 mm observé en 2010 et un maximum à 2072 mm en 1999. L'année 2014 a bénéficié d'un hiver, printemps et automne doux mais d'un été froid et pluvieux avec des précipitations deux fois plus abondantes en juillet-août par rapport à celles des cinq années précédentes.

La régularisation du niveau du lac au début du XX^e siècle par la Compagnie vaudoise des forces motrices des lacs de Joux, Brenet et de l'Orbe a transformé le lac de Joux en une retenue dont les amplitudes de variations sont fixées entre les cotes 1001.5 et 1005 m. Des caractéristiques supplémentaires sont disponibles dans LODS-CROZET *et al.* (2006).

L'inventaire des macrophytes a été réalisé selon la méthode développée en Allemagne par SCHAUMBURG *et al.* (2011). Cette méthode compatible avec la Directive Cadre Européenne

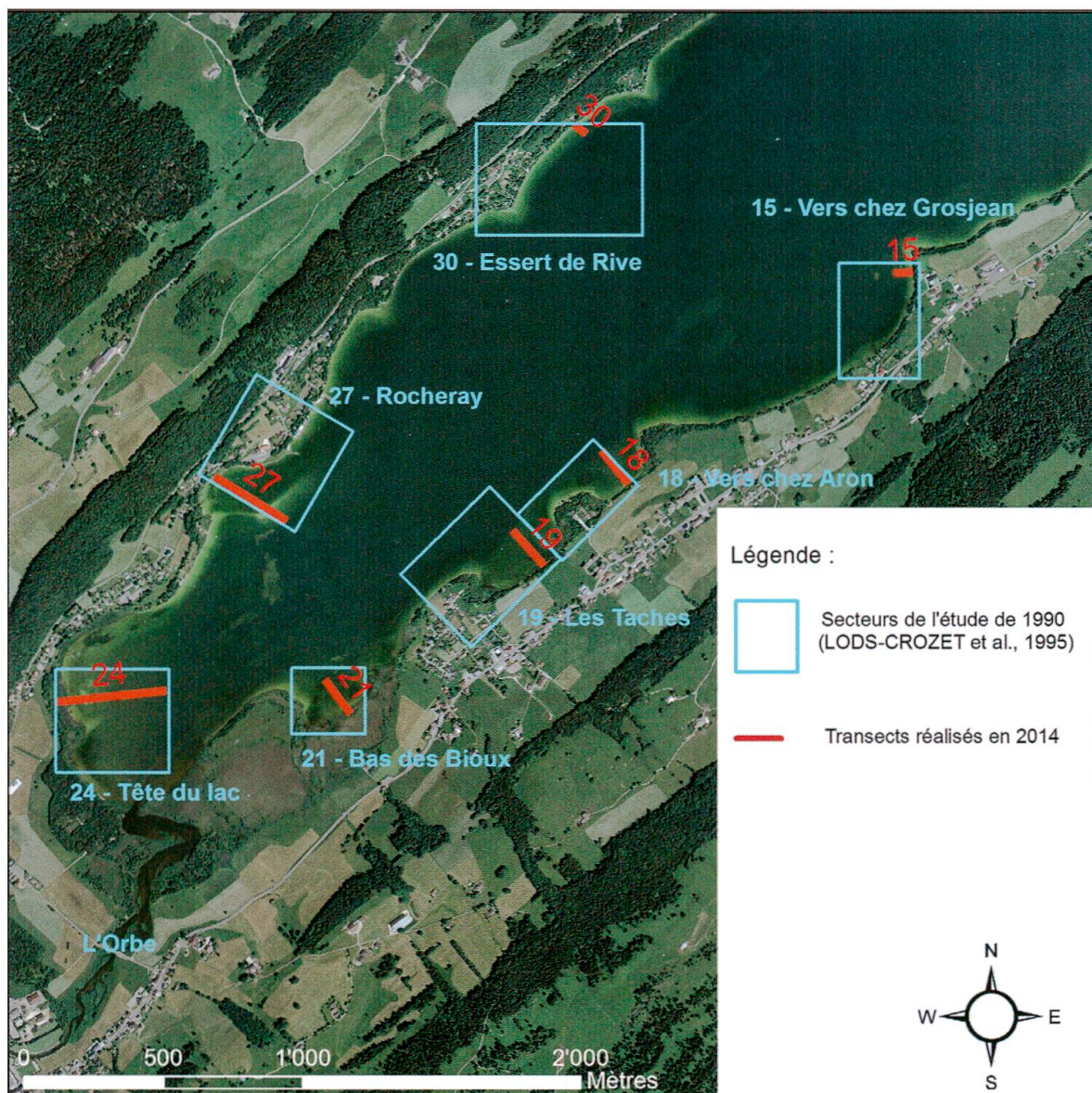


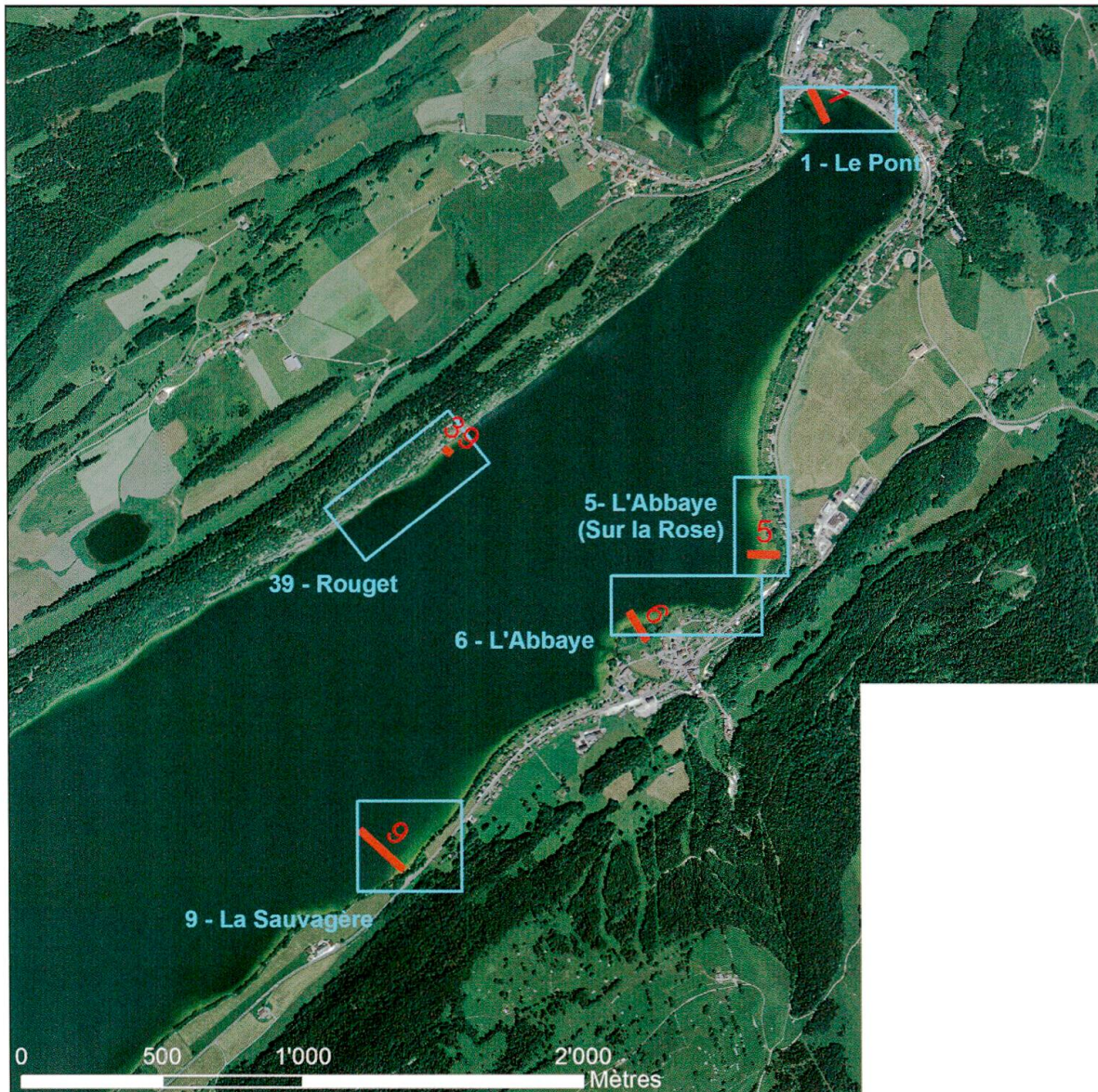
Figure 1. Localisation des transects (partie sud, ci-dessus, et partie nord, à droite) et des zones d'intérêt décrites dans LODS-CROZET *et al.* (1995).

(DCE) consiste à étudier un certain nombre de transects perpendiculaires à la rive, sur lesquels l'ensemble de la végétation macrophytique est inventoriée.

Pour le lac de Joux, dont la superficie est de 9 km², le nombre de transects à réaliser doit être compris entre 6 et 12. Au vu de la diversité des « faciès » littoraux du lac et de la proportion de surface colonisée par les plantes aquatiques (60% de la zone littorale colonisable), 12 transects (d'une largeur de 4-5 m) ont été réalisés (figure 1).

Le plan d'échantillonnage se base sur :

- l'écomorphologie des rives et de la zone littorale,
- la situation des transects en dehors de toute influence anthropique (effluent STEP, infrastructures nautiques) et d'embouchures de cours d'eau,
- la présence de zones d'intérêt majeur, décrites dans LODS-CROZET *et al.* (1995).



Selon les conditions de visibilité et de profondeur maximale de colonisation des macrophytes attendue sur le transect, la végétation est inventoriée le long des transects par observation en plongée ou par prélèvement au râteau depuis la surface et observation à l'aquascope. La végétation est classée par niveaux de profondeur: 0 - 1 m, 1 - 2 m, 2 - 4 m, > 4 m jusqu'à la limite de la végétation.

L'ensemble de la végétation macrophytique (bryophytes, macro-algues, végétation vasculaire submergée, émergente et à feuilles flottantes) présente sur le transect a été relevé. La limite côté terre est définie comme celle en-dessous du niveau moyen des eaux. Les principaux paramètres relevés sont les suivants: la liste des espèces présentes avec taux de recouvrement et indice d'abondance spécifique selon KOHLER (1978) et type morphologique dans le cas des amphiphytes (émergé/submergé), l'estimation du recouvrement moyen de la végétation, le type de substrat présent, la profondeur maximale de colonisation par la végétation aquatique, les caractéristiques des rives.

La méthode d'évaluation de SCHAUMBURG *et al.* (2011) se base uniquement sur les espèces de macrophytes submergés (la flore amphibie n'est retenue qu'au stade submergé – les hélrophytes sont exclus). L'évaluation se fait par la quantification de la déviation de la biocénose étudiée par rapport à la biocénose de référence attendue dans des conditions non dégradées par des facteurs anthropiques, sur la base des paramètres de la composition et de l'abondance taxonomique du peuplement. À chaque taxon correspond un groupe écologique (A, B, ou C), groupe qui peut varier pour une même espèce en fonction du niveau de profondeur et/ou de la région de référence de l'hydrosystème évalué (dans le cas présent; Type AK(s) - lacs carbonatés des Alpes et des Préalpes).

Les espèces du groupe A sont des espèces qui sont dominantes sur les stations de référence.

Les espèces du groupe B sont des taxa avec une large amplitude écologique. Les espèces du groupe C sont des taxa répandus principalement dans des zones dégradées et qui sont donc indicatrices de perturbation. Si un taxon n'apparaît pas dans la liste, il ne compte pas dans l'évaluation. À partir d'un nombre de taxons hors liste supérieur à 25 %, la valeur de l'indice est biaisée et considérée comme non fiable. L'indice est calculé selon la formule suivante :

$$RI = \frac{\sum_{i=1}^{n_A} Q_{Ai} - \sum_{i=1}^{n_C} Q_{Ci}}{\sum_{i=1}^{n_g} Q_{gi}} * 100$$

RI = Indice de référence

QA_i = Quantité de l'i-ième taxon du groupe A

QC_i = Quantité de l'i-ième taxon du groupe C

Qg_i = Quantité de l'i-ième taxon de l'ensemble des groupes

n_A = Nombre de taxons du groupe A

n_C = Nombre de taxons du groupe C

n_g = Nombre de taxons au total des groupes

Dans cette équation, la quantité « Q » (nommée « quantité DCE ») représente l'indice d'abondance de Kohler (1 à 5) porté à la puissance 3 (tableau 1). Ce calcul permet d'obtenir une note de 1 à 5, soit du très bon (1) au mauvais (5) état écologique. L'indice a été calculé :

- pour l'ensemble du lac par niveau de profondeur (permet de mettre en évidence des éventuels déficits/disfonctionnements pour des profondeurs données),
- pour l'ensemble du lac toute profondeur confondue.

D'autres critères ont été utilisés pour caractériser les groupements végétaux, à savoir :

- le degré de recouvrement moyen des macrophytes par transect (%): somme des degrés de recouvrement relevés pour chaque niveau de profondeur colonisée par la végétation/nombre de niveaux de profondeur colonisées,
- abondance totale des macrophytes par transect: somme des indices d'abondance transformés en quantité DCE par transect.

La comparaison avec les données antérieures est évaluée à partir d'études de la végétation aquatique menées en 1990 (LODS-CROZET *et al.* 1995, DRUART 2005, DRUART *et al.* 2003, 2004) et sur la base des observations issues de la base de données nationale d'Info Flora (www.infoflora.ch).

Tableau 1. Transformation des indices de densité en valeur d'abondance selon SCHAUMBURG *et al.* (2011).

| Recouvrement (%) | Indice de densité d'après KOHLER (1978) | Quantité DCE |
|------------------|---|--------------|
| 1 à 10 | 1 très rare | 1 |
| 11 à 25 | 2 rare | 8 |
| 26 à 50 | 3 répandu | 27 |
| 51 à 75 | 4 fréquent | 64 |
| 76 à 100 | 5 très fréquent/en masse | 125 |

RÉSULTATS

Caractéristiques écomorphologiques des transects

Le type de rives le plus représenté est la rive boisée. Les transects réalisés à la tête du lac sont caractérisés par de grandes zones de marais. L'interface eau-terre est caractérisée soit par des formations à hélrophytes de type phragmitaie, phalaridaie et cariçaie à *Carex elata* ou *Carex acutiformis* (la plus fréquente), soit par des grèves caillouteuses peu végétalisées.

La largeur de la beine sur les transects échantillonnés est comprise entre une trentaine de mètres (Rouget, zone de falaise) à plus de 300 m de large (tête du lac) (tableau 2).

Deux substrats prédominent sur les transects réalisés : les galets et un substrat calcaire, blanchâtre et très friable, quasiment dépourvu de matière-organique.

Tableau 2 : Caractéristiques morphologiques des transects.

| Transect | Type de rive | Type de berge | Beine |
|----------------------------|--|---|-----------------------------|
| 1 – Le Pont | Artificielle (mur béton) | Grève, végétation herbacée, quasiment pas d'hélrophytes | Moyennement étendue (138 m) |
| 5 – L'Abbaye (Sur la Rose) | Naturelle (rive boisée et talus herbeux) | Cariçaie étendue | Moyennement étendue (116 m) |
| 6 – L'Abbaye | Naturelle (talus herbeux) | Phalaridaie + cariçaie étendues | Peu étendue (52 m) |
| 9 – La Sauvagère | Naturelle (rive boisée) | Grève (végétation hélrophytique réduite) | Très étendue (219 m) |
| 15 – Vers chez Grosjean | Naturelle (rive boisée) | Grève | Peu étendue (71 m) |
| 18 – Vers chez Aron | Naturelle (rive boisée) | Phragmitaie (réduite) | Moyennement étendue (153 m) |
| 19 – Les Taches | Naturelle (rive boisée) | Phragmitaie (réduite) | Moyennement étendue (168 m) |
| 21 – Bas des Bioux | Naturelle (marais) | Phragmitaie (étendue) | Moyennement étendue (143 m) |
| 24 – Tête du lac | Naturelle (marais + rive boisée) | Phragmitaie (étendue) | Très étendue (> 300 m) |
| 27 – Rocheray | Artificielle (mur en enrochements) | Pas de végétation hélrophytique | Très étendue (301 m) |
| 30 – Essert de Rive | Naturelle (rive boisée) | Grève (végétation hélrophytique réduite) | Peu étendue (56 m) |
| 39 – Rouget | Falaise | Grève (végétation hélrophytique réduite) | Peu étendue (33 m) |

Composition du peuplement et valeurs patrimoniales relevées en 2014

Sur les 25 espèces de macrophytes submergés et à feuilles flottantes recensés (tableau 3), sept espèces sont des characées, une bryophyte et 17 hydrophytes vasculaires, dont 14 submergés, un à feuille flottantes et deux héliophytes observées sous une forme immergée (*Schoenoplectus lacustris* et *Eleocharis acicularis*). Onze espèces, parmi lesquelles cinq characées sont menacées au niveau national (MOSER *et al.* 2002, AUDERSET JOYE & SCHWARZER 2012).

Neuf espèces sont en outre menacées au niveau régional (Jura) selon la Liste Rouge Suisse. Une seule espèce est menacée en Franche-Comté (CBFC 2014): il s'agit de *Potamogeton filiformis*, évalué comme « en danger critique d'extinction ». Cette espèce est signalée « RE » (éteinte) dans le Jura selon la Liste Rouge Suisse des fougères et plantes à

Tableau 3. Liste des espèces de macrophytes immergées du lac de Joux en 2014; LR: liste rouge

| Nom latin | Statut LR CH | Statut LR CH/JU | Statut de priorité CH | Statut LR Franche Comté |
|--|-----------------|--------------------|--------------------------|----------------------------|
| Characées | | | | |
| <i>Chara aspera</i> C. D. Willd. | VU | - | 3 | - |
| <i>Chara contraria</i> A. Braun | LC | - | - | - |
| <i>Chara delicatula</i> C. Agardh | VU | - | 3 | - |
| <i>Chara hispida</i> L. | VU | - | 3 | - |
| <i>Chara strigosa</i> C. D. Willd. | EN | - | 1 | - |
| <i>Nitellopsis obtusa</i> (Desv.) J. Groves | NT | - | 4 | - |
| <i>Tolypella glomerata</i> (Desv. In Lois.) Leohn. | EN | - | 2 | - |
| Bryophytes | | | | |
| <i>Fontinalis antipyretica</i> Hedw. | LC | - | - | - |
| Spermaphytes immergées | | | | |
| <i>Eleocharis acicularis</i> (L.) Roem. & Schult. (forme submergée) | VU | VU | 4 | LC |
| <i>Elodea canadensis</i> Michx. | Ni | Ni | | Ni |
| <i>Groenlandia densa</i> (L.) Fourr. | NT | NT | | LC |
| <i>Hippuris vulgaris</i> L. | NT | NT | | LC |
| <i>Myriophyllum spicatum</i> L. | NT | VU | | LC |
| <i>Potamogeton crispus</i> L. | LC | VU | | LC |
| <i>Potamogeton filiformis</i> Pers. | VU | RE | 4 | CR |
| <i>Potamogeton pectinatus</i> L. | LC | NT | | LC |
| <i>Potamogeton perfoliatus</i> L. | LC | EN | | NT |
| <i>Potamogeton pusillus</i> L. | VU | EN | 4 | DD |
| <i>Potamogeton</i> × <i>nitens</i> Weber | EN | EN | 3 | - |
| <i>Ranunculus circinatus</i> Sibth. | EN | EN | 3 | LC |
| <i>Ranunculus trichophyllus</i> Chaix s.str. | LC | LC | - | LC |
| <i>Schoenoplectus lacustris</i> (L.) Palla (forme submergée) | LC | NT | - | LC |
| <i>Utricularia</i> cf. <i>australis</i> R. Br. | NT | VU | | LC |
| <i>Zannichellia palustris</i> L. | VU | VU | - | LC |
| Spermaphytes à feuilles flottantes | | | | |
| <i>Polygonum amphibium</i> L. | NT | NT | | LC |

fleurs menacées de 2002 mais elle figure dans la révision de la liste des plantes vasculaires du Jura suisse (DRUART *et al.* 2003). *Potamogeton perfoliatus* est jugé potentiellement menacé selon la Liste Rouge de Franche-Comté. À noter que ni les characées, ni *Potamogeton* × *nitens* ne sont évalués dans la Liste Rouge de Franche-Comté. *Potamogeton* × *nitens* n'a été répertorié qu'en une seule station en Franche-Comté. BAILLY *et al.* (2007) mentionnent que « son statut est très précaire et son état de conservation réduit » dans la région.

Chara strigosa présente une priorité très élevée pour la Suisse (priorité 1) (OFEV 2011). *Tolypella glomerata* une priorité élevée (priorité 2). La Suisse possède une responsabilité moyenne pour la conservation de ces deux premières espèces. *Chara aspera*, *Chara delicatula* et *Chara hispida* présentent une priorité moyenne (priorité 3). La Suisse possède une responsabilité faible pour la conservation de ces espèces. Pour toutes ces espèces, il est indiqué qu'« il n'est pas certain qu'il soit nécessaire de prendre des mesures ».

Chez les plantes vasculaires, deux espèces sont classées avec un degré de priorité moyen (priorité 3) : *Potamogeton* × *nitens* et *Ranunculus circinatus*. La Suisse ne possède aucune responsabilité pour la conservation de ces espèces.

Abondance et fréquence relative des espèces

La figure 2 illustre le taux de recouvrement moyen de la végétation aquatique submergée observé sur les transects. Il varie entre 2 et 73 % et est en moyenne de 32 % sur l'ensemble des 12 transects effectués.

Les recouvrements les plus faibles sont observés au Rouget, à la Sauvagère et au Bas des Bioux (< 10%); ceux les plus grands sont observés au Pont et au Rocheray (> 60%). Les autres transects présentent des recouvrements similaires (30 à 40%). La comparaison des abondances totales par transect (figure 3) montre les mêmes tendances que l'analyse des recouvrements.

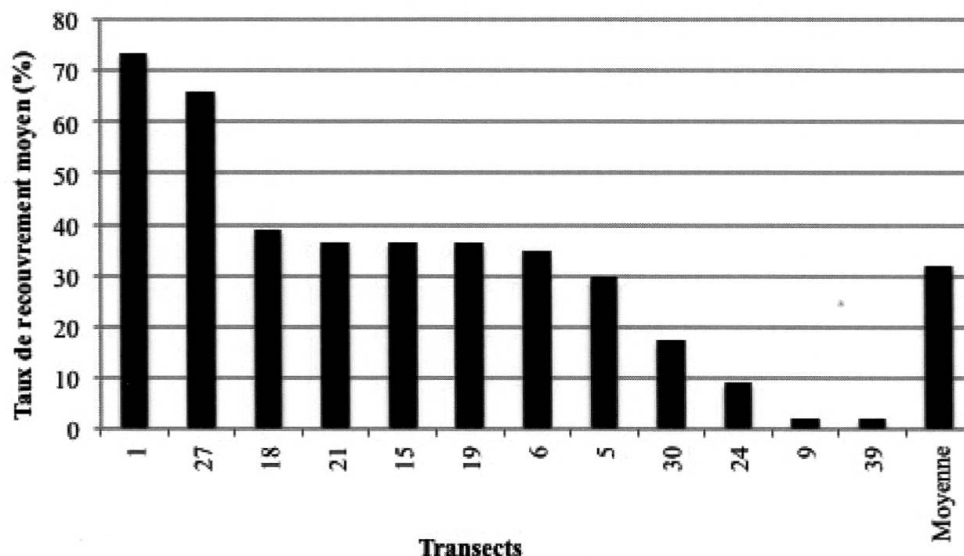


Figure 2. Taux de recouvrement moyen de la végétation aquatique immergée par transect.

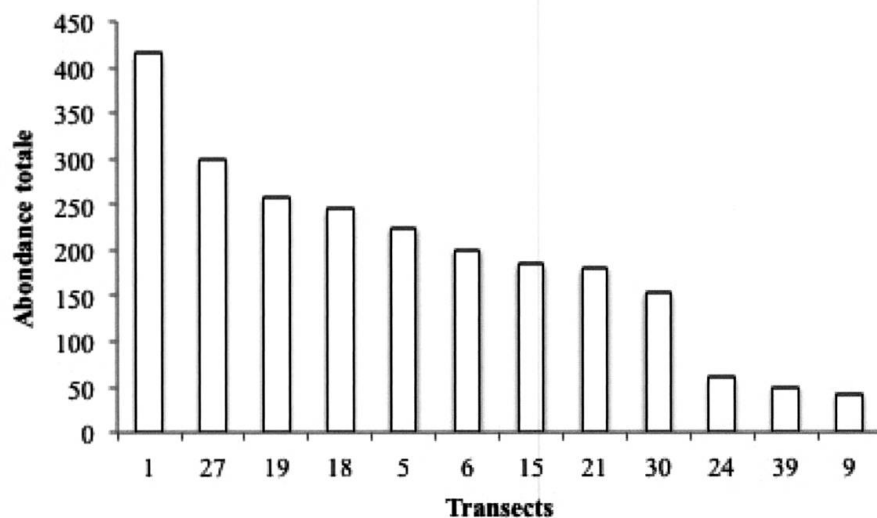


Figure 3. Abondance totale de la végétation aquatique immergée par transect.

Le peuplement est dominé par les characées *Chara aspera* et *Chara strigosa*. Ces deux espèces de characées ayant été trouvées à deux reprises ensemble avec des abondances importantes, leur abondance respective n'a pas pu être distinguée. Une autre espèce est à mentionner comme abondante : *Hippuris vulgaris* dans sa forme submergée, seule plante vasculaire à former des herbiers denses dans le lac. Il faut encore mentionner l'abondance non négligeable d'*Eleocharis acicularis* sous sa forme submergée, qui forme à la tête du lac et sur l'anse contigüe des Bioux des herbiers ras relativement importants entre 0 et 1.5 m de profondeur (20% de recouvrement sur ces deux transects). *Potamogeton pectinatus*, *P. pusillus*, *P. × nitens*, *Fontinalis antipyretica* et *Ranunculus circinatus* forment également localement des herbiers avec des recouvrements significatifs. À noter la très faible abondance générale des autres macrophytes, qui se manifestent la plupart du temps avec des taux de recouvrements de l'ordre de 1-2% à < 1% (indice d'abondance rare à très rare).

Le tableau 4 présente la synthèse des fréquences relatives des macrophytes recensées en 2014 sur les 12 transects effectués, ainsi que celles observées en 1990 (LODS-CROZET *et al.* 1995) sur les 12 secteurs correspondants. Les quatre espèces les plus fréquentes actuellement (présentes dans plus de la moitié des transects) sont *Potamogeton pectinatus*, *Elodea canadensis*, *Hippuris vulgaris* et *Fontinalis antipyretica*. Sept espèces sont rares à l'échelle des 12 transects effectués : *Chara delicatula*, *Tolypella glomerata*, *Myriophyllum spicatum*, *Potamogeton crispus*, *Potamogeton filiformis*, *Polygonum amphibium* et *Schoenoplectus lacustris* sous sa forme submergée (également rare dans sa forme émergente sur nos transects). Toutes ces espèces ont été observées à une ou deux reprises uniquement.

Profondeurs colonisées par les plantes aquatiques immergées

La profondeur maximale de colonisation relevée est de 5.4 m aux Esserts de Rive (atteinte par *Potamogeton perfoliatus*) (figure 4) et la profondeur moyenne de 3.4 m. Sur les transects 24 et 27, la profondeur maximale de colonisation n'a pas été atteinte en bout de transect (hauts fonds), et l'inventaire a été stoppé lorsque plus aucune espèce ne venait s'ajouter au terme des respectivement 300 et 200 m inventoriés.

Le taux de recouvrement moyen le plus important est situé entre 1 et 2 m (45% de recouvrement en moyenne). Les recouvrements atteignent presque 30% entre 2 et 4 m et seulement 20% entre 0 et 1 m (tableau 5); au delà de 4 m de profondeur la colonisation est très faible (1%).

Les richesses spécifiques par niveau de profondeur suivent les mêmes tendances, avec des richesses spécifiques moyennes et maximales dans les niveaux de profondeurs entre 1 et 4 m, une richesse spécifique moyenne inférieure à 1 au delà de 4 m de profondeur et un appauvrissement entre 0 et 1 m qui correspond à la zone de battement des eaux (stress mécanique).

Tableau 4. Fréquence des espèces de macrophytes immergées en 2014 comparée à celle de 1990; n.d. : présence en 1990 mais fréquence non déterminée.

| Espèce | Nombre occurrences 2014 | Fréquence relative 2014 (%) | Nombre occurrences 1990 | Fréquence relative 1990 (%) |
|--|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| <i>Potamogeton pectinatus</i> L. | 10 | 83 | 12 | 100 |
| <i>Elodea canadensis</i> Michx. | 9 | 75 | 9 | 75 |
| <i>Hippuris vulgaris</i> L. | 8 | 67 | 10 | 83 |
| <i>Fontinalis antipyretica</i> Hedw. | 7 | 58 | 0 | 0 |
| <i>Chara aspera</i> C. D. Willd. | 6 | 50 | n.d. | n.d. |
| <i>Groenlandia densa</i> (L.) Fourr. | 6 | 50 | 7 | 58 |
| <i>Potamogeton pusillus</i> L. | 6 | 50 | 12 | 100 |
| <i>Potamogeton x nitens</i> Weber | 6 | 50 | 7 | 58 |
| <i>Ranunculus circinatus</i> Sibth. | 6 | 50 | 11 | 92 |
| <i>Potamogeton perfoliatus</i> L. | 5 | 42 | 10 | 83 |
| <i>Eleocharis acicularis</i> (L.) Roem. & Schult. (forme submergée) | 5 | 42 | n.d. | n.d. |
| <i>Chara contraria</i> A. Braun | 4 | 33 | n.d. | n.d. |
| <i>Chara hispida</i> L. | 4 | 33 | 0 | 0 |
| <i>Chara strigosa</i> C. D. Willd. | 4 | 33 | n.d. | n.d. |
| <i>Utricularia cf. australis</i> R. Br. | 4 | 33 | 1 | 8 |
| <i>Zannichellia palustris</i> L. | 4 | 33 | 8 | 67 |
| <i>Nitellopsis obtusa</i> (Desv.) J. Groves | 3 | 25 | 0 | 0 |
| <i>Ranunculus trichophyllus</i> Chaix s.str. | 3 | 25 | 0 | 0 |
| <i>Chara delicatula</i> C. Agardh | 2 | 17 | 0 | 0 |
| <i>Myriophyllum spicatum</i> L. | 2 | 17 | 0 | 0 |
| <i>Potamogeton crispus</i> L. | 2 | 17 | 2 | 17 |
| <i>Tolypella glomerata</i> (Desv. In Lois.) Leohn. | 1 | 8 | n.d. | n.d. |
| <i>Polygonum amphibium</i> L. | 1 | 8 | 5 | 42 |
| <i>Potamogeton filiformis</i> Pers. | 1 | 8 | 3 | 25 |
| <i>Schoenoplectus lacustris</i> (forme submergée) | 1 | 8 | n.d. | n.d. |
| <i>Potamogeton friesii</i> Rupr. | 0 | 0 | 1 | 8 |
| <i>Potamogeton gramineus</i> L. | 0 | 0 | 5 | 42 |
| <i>Potamogeton lucens</i> L. | 0 | 0 | 1 | 8 |
| <i>Potamogeton x zizii</i> Mert. et K. | 0 | 0 | 1 | 8 |
| <i>Sparganium minimum</i> Wallr. | 0 | 0 | 1 | 8 |
| Characeae | 11 | 92 | 12 | 100 |

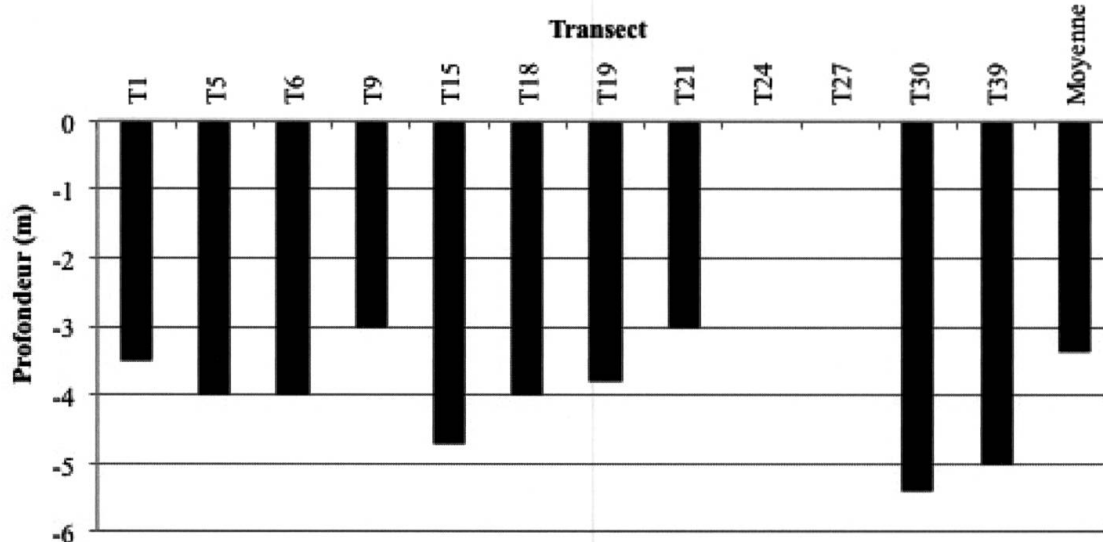


Figure 4. Profondeur maximale de colonisation par les plantes aquatiques relevée sur les transects en juillet 2014.

Plusieurs espèces d'hélophytes y ont été observées en situation immergée (p.ex. *Juncus articulatus*, *Phalaris arundinacea*), attestant d'un niveau moyen des eaux sans doute d'un demi-mètre plus haut que la normale.

Diversité et composition du peuplement d'hélophytes

Un total de 13 espèces d'hélophytes a été observé (tableau 6). Les relevés ont été réalisés à l'interface eau-terre de chaque transect, sur une bande n'excédant pas 10 – 20 mètres de large. Aucune de ces espèces ne présente un statut de menace à l'échelle nationale ou régionale.

Au vu du linéaire de rive prospecté, les résultats de cet inventaire sont naturellement loin de l'exhaustivité et n'illustrent que très partiellement la diversité réelle des hélophytes du lac de Joux. Ceci est confirmé par la comparaison avec la liste des espèces relevées ces dix dernières années selon la base de données Info Flora (25 espèces en tenant compte uniquement des hélophytes « strictes ») (tableau 6).

Tableau 5. Richesse spécifique, abondance, taux de recouvrement et indice de densité des plantes aquatiques immergées par niveau de profondeur.

| Profondeur (m) | Richesse spécifique moyenne | Richesse spécifique max. | Abondance totale | Taux de recouvrement moyen (%) | Indice de densité correspondant selon KOHLER (1978) |
|----------------|-----------------------------|--------------------------|------------------|--------------------------------|---|
| 0 à 1 | 3 | 6 | 511 | 20 | 3 (répandu) |
| 1 à 2 | 5 | 9 | 1074 | 45 | 4 (fréquent) |
| 2 à 4 | 5 | 9 | 697 | 28 | 4 (fréquent) |
| > 4 | 0 | 3 | 32 | 1 | 2 (rare) |

Tableau 6. Liste des espèces d'hélophytes strictes (avec le centre de gravité en-dessous du niveau moyen des eaux) observés ces dix dernières années dans le lac de Joux.

| Espèce | Dernier observateur | Statut LR | | Statut de | LR |
|---|---|-----------|------|-----------|---------|
| | | CH | / JU | priorité | Franche |
| | | CH | | CH | Comté |
| <i>Alisma plantago-aquatica</i> L. | ECOTEC, 2014 | LC | LC | - | LC |
| <i>Carex acuta</i> L. | Hoffer-Massard Françoise, 2008 | LC | LC | - | LC |
| <i>Carex acutiformis</i> Ehrh. | ECOTEC, 2014 | LC | LC | - | LC |
| <i>Carex elata</i> All. | ECOTEC, 2014 | LC | LC | - | LC |
| <i>Carex flava</i> aggr. | Auderset Joye Dominique, Ilg Christiane, 2006 | | | | |
| <i>Carex vesicaria</i> L. | ECOTEC, 2014 | NT | NT | - | LC |
| <i>Eleocharis acicularis</i> (L.) Roem. & Schult. | Gygax Andreas, Sager Lionel, Juillerat Philippe, Hoffer-Massard Françoise, 2013 | VU | VU | 4 | LC |
| <i>Eleocharis austriaca</i> Hayek | Auderset Joye Dominique, Ilg Christiane, 2006 | NT | EN | - | - |
| <i>Eleocharis palustris</i> (L.) Roem. & Schult. | Ciardo Franco, 2009 | LC | LC | - | LC |
| <i>Eleocharis palustris</i> aggr. | ECOTEC, 2014 | | | | |
| <i>Eleocharis quinqueflora</i> (Hartmann) O. Schwarz | Jutzeler Rubin Sandrine, 2009 | LC | VU | - | DD |
| <i>Equisetum fluviatile</i> L. | Ciardo Franco, 2011 | LC | LC | - | LC |
| <i>Equisetum palustre</i> L. | ECOTEC, 2014 | LC | LC | - | LC |
| <i>Iris pseudacorus</i> L. | ECOTEC, 2014 | LC | LC | - | LC |
| <i>Juncus articulatus</i> L. | ECOTEC, 2014 | LC | LC | - | LC |
| <i>Juncus effusus</i> L. | Auderset Joye Dominique, Ilg Christiane, 2006 | LC | LC | - | LC |
| <i>Lysimachia vulgaris</i> L. | ECOTEC, 2014 | LC | LC | - | LC |
| <i>Mentha aquatica</i> L. | Auderset Joye Dominique, Ilg Christiane, 2006 | LC | LC | - | LC |
| <i>Myosotis scorpioides</i> L. | ECOTEC, 2014 | LC | LC | - | LC |
| <i>Phalaris arundinacea</i> L. | ECOTEC, 2014 | LC | LC | - | LC |
| <i>Phragmites australis</i> (Cav.) Steud. | ECOTEC, 2014 | LC | LC | - | LC |
| <i>Schoenoplectus lacustris</i> (L.) Palla | ECOTEC, 2014 | LC | NT | - | LC |
| <i>Sparganium erectum</i> L. s.l. | Ciardo Franco, 2011 | | | | |
| <i>Veronica anagallis-aquatica</i> L. | Ciardo Franco, 2011 | LC | NT | - | LC |
| <i>Veronica beccabunga</i> L. | Sager Lionel, Juillerat Philippe, 2013 | LC | LC | - | LC |

Indice de qualité biologique

La méthode de SCHAUMBURG *et al.* (2011) classe les espèces en 3 catégories selon qu'elles indiquent des conditions non dégradées (classe A), des conditions dégradées (classe C), non indicatrices (ubiquistes, classe B).

Dans le cas présent, les espèces du groupe A, indicatrices de condition non dégradées, sont représentées par *Chara aspera*, *Chara hispida*, *Chara strigosa* et *Potamogeton filiformis* pour tous les niveaux de profondeurs; *Tolypella glomerata* pour les profondeurs comprises entre 1 et > 4 m; *Chara contraria*, *Chara delicatula* et *Utricularia cf. australis* pour les niveaux de profondeurs entre 2 et > 4 m. Les espèces du groupe C, indicatrices de conditions dégradées, sont représentées par *Groenlandia densa*, *Elodea canadensis*, *Hippuris vulgaris*, *Potamogeton crispus*, *Ranunculus circinatus* et *Ranunculus trichophyllus* pour toutes les profondeurs; *Potamogeton pectinatus* pour les profondeurs situées entre 0 et 4 m; *Potamogeton pusillus* et *Zannichellia palustris* pour les profondeurs comprises entre 0 et 2 m.

L'indice de qualité global, tout niveau de profondeur confondu et sans correction due à la profondeur de colonisation moyenne < 5 m, est de 0.25, soit une qualité biologique médiocre.

Le calcul de l'indice par niveau de profondeur montre que la profondeur comprise entre 2 et 4 m présente la meilleure qualité biologique (tableau 7).

La zone de profondeur > 4 m n'abrite pas une abondance de végétation suffisante pour calculer l'indice (abondance totale de 32 alors que l'abondance minimum pour le calcul de l'indice doit être de 55).

L'indice est corrélé avec l'abondance des characées (hormis *Nitellopsis obtusa*, groupe B pour les profondeurs entre 0 et 4 m, *Chara contraria* et *Chara delicatula*, groupe B pour les profondeurs entre 0 et 2 m), et négativement corrélé avec l'abondance d'espèces telles que *Potamogeton pectinatus*, *P. pusillus*, *Zannichellia palustris*, *Hippuris vulgaris*, *Ranunculus circinatus* et *R. trichophyllus* (espèces du groupe C).

Bilan de l'évolution de la diversité macrophytique depuis 1990

La comparaison des observations réalisées depuis moins de 12 ans (données externes et données ECOTEC ENVIRONNEMENT 2014) avec les données de l'étude de 1990 (LODS-CROZET *et al.* 1995) (tableau 6) permet de dresser le constat suivant :

Tableau 7. Indice de qualité biologique du lac de Joux basé sur l'indicateur macrophytes (calculé selon les abondances spécifiques des plantes immergées relevées sur tous les transects à différentes profondeurs.

| | Σ taxons A | Σ taxons C | Σ tous taxons Q | Calcul indice | | |
|-----------|-------------------|-------------------|------------------------|--|-------------|----------|
| | | | | $\Sigma A - \Sigma C / \Sigma Q * 100$ | Indice (RI) | Qualité |
| Total lac | 1219 | 646 | 2314 | 24.76 | 0.25 | médiocre |
| 0 - 1 m | 270 | 220 | 511 | 9.78 | 0.10 | médiocre |
| 1 - 2 m | 467 | 439 | 1074 | 2.61 | 0.03 | mauvaise |
| 2 - 4 m | 473 | 114 | 697 | 51.51 | 0.52 | bonne |
| > 4 m | 8 | 0 | 32 | n.d. (abond. tot. < 55) | n.d. | n.d. |

Six espèces ne sont pas retrouvées: *Chara vulgaris* (hydrophyte), *Nuphar lutea*, *Sparganium natans* et *Lemna* sp. (taxons à feuilles flottantes), *Butomus umbellatus* et *Ranunculus lingua* (hélrophytes). À noter que deux hydrophytes n'ont été observées que dans des localités restreintes et à une ou deux reprises au cours de ces 12 dernières années: *Potamogeton* × *angustifolius* (2013, fragment, Le Pont, L. Sager comm. pers., 2015) et *Potamogeton gramineus* (2003 (DRUART, 2005); 2013, L. Sager comm. pers.).

Neuf espèces d'hydrophytes sont nouvelles: *Chara hispida* (première mention en 2006), *Chara delicatula* (première mention en 2006), *Callitriche* sp. (première mention en 2011), *Ceratophyllum demersum* (observée en une seule localité en 2003, au Revers), *Elodea nuttallii* (première mention en 2006), *Myriophyllum spicatum* (première mention en 2006), *Nitellopsis obtusa* (première mention en 2006), *Potamogeton nodosus* (observé en une seule station à l'Abbaye en 2009), *Ranunculus trichophyllus* s.str. (première mention en 2006, mention de *Ranunculus* sp. dans l'étude de 1995 en sus de *R. circinatus* et *R. aquatilis*); deux espèces ont été distinguées et leur présence confirmée: *Potamogeton berchtoldii* (observé en 2006 et 2013) et *P. pusillus* (observé en 2013 et 2014). Ces deux espèces étaient mentionnées comme *P. gr. pusillus* dans l'étude de 1995.

DISCUSSION

Valeur patrimoniale des formations végétales aquatiques du lac de Joux

Les enjeux de conservation des plantes aquatiques sur le lac de Joux concernent les characées, les potamots à grandes feuilles (*Potamogeton lucens*, *P. × nitens*, *P. perfoliatus*, *P. gramineus*), et *Potamogeton filiformis*. Concernant la répartition régionale de *Chara stri-gosa*, BAILLY *et al.* (2007) indiquent qu'elle est encore relativement répandue dans les lacs jurassiens mais que les groupements tendent à régresser, notamment au profit de *Chara contraria*. *Chara delicatula* semble également présenter un intérêt régional assez élevé d'après BAILLY *et al.* (2007). Elle est présente côté français dans les lacs de Bellefontaine et de Saint-Point. Aucune mention n'est faite de la présence de *Tolypella glomerata* dans les lacs jurassiens français.

La formation à *Potamogeton filiformis*, d'une grande valeur patrimoniale au niveau régional a été répertoriée uniquement dans le lac des Rousses parmi les 12 lacs jurassiens étudiés par BAILLY *et al.* (2007). Dans le Jura suisse, elle n'est pas présente ailleurs que sur le lac de Joux. *Potamogeton × nitens* présente aussi un fort intérêt de conservation au niveau régional et national est signalé comme disparu de Franche-Comté. Il a cependant été retrouvé récemment par dragage sur le lac de Saint-Point (BAILLY *et al.* 2007). Sa répartition en Suisse est très limitée mais l'espèce est relativement fréquente dans le lac de Joux (inventoriée dans 50% des transects en 2014).

La présente étude n'a pas permis de détecter la présence de *Potamogeton gramineus*, ni de *P. × angustifolius*. Ces deux espèces possèdent une haute valeur patrimoniale à la fois régionale et nationale (en danger en Suisse). Le nombre de stations occupées par *Potamogeton gramineus* sur le lac de Joux serait à confirmer (les stations mentionnées par DRUART n'ayant pas été prospectées spécifiquement). *Potamogeton gramineus* est en régression dans les lacs du Jura français suite à l'eutrophisation des eaux et son habitat est

rare en Franche-Comté (BAILLY *et al.* 2007). *Potamogeton* × *angustifolius* est en danger d'extinction en Franche-Comté. L'état de conservation des stations sur les lacs du Jura français, directement liée à la qualité des eaux, est excellent sur le lac des Rousses et bon sur les lacs de Remoray et Saint-Point (BAILLY *et al.* 2007).

Évolution du peuplement de végétation aquatique depuis l'inventaire de 1990

Les conditions pluviométriques particulières de l'été 2014 sont à prendre en considération pour l'évaluation de l'évolution des peuplements (précipitations deux fois plus abondantes en juillet-août par rapport à celles des cinq années précédentes); elles ont pu jouer un rôle dans un moindre développement des espèces submergées par manque d'ensoleillement. La profondeur maximale de colonisation des macrophytes en juillet est légèrement supérieure à celle mentionnée dans l'étude de 1990: 4.5 m en 1990 contre 5.4 m en 2014 (*P. perfoliatus*) et confirme la tendance amorcée en 2007 d'une augmentation de la transparence en lien avec la diminution graduelle mais fluctuante de la cyanobactérie *Planktothrix rubescens* dans la colonne d'eau (DGE, données non publiées).

Les characées dominent toujours le peuplement en 2014, à l'identique de 1990. *Chara hispida* et *Nitellopsis obtusa*, deux espèces non mentionnées en 1990, ont été observées pour la première fois en 2006 (AUDERSET JOYE & SCHWARZER 2012) et ré-observées lors de la présente étude. À noter que *N. obtusa* a également été signalée pour la première fois en 2007 en Franche-Comté dans le lac de Saint-Point (BAILLY *et al.* 2007). Toutes les espèces de Characées observées en 1990 sont encore présentes en 2014, sauf *Chara globularis* (mais relevée en 2010) et *Chara vulgaris* (pas observée depuis 1990).

P. perfoliatus, nettement moins fréquent et abondant qu'en 1990, ne forme jamais de véritables herbiers, tout comme *P. × nitens*. C'est cependant l'espèce qui, comme dans le lac des Rousses colonise les zones les plus profondes (BAILLY *et al.* 2007). *P. lucens* non retrouvé lors de cette étude ne fait l'objet que de deux mentions dans la BDD d'Info Flora (2006, 2013). BAILLY *et al.* (2007) indiquent que la magno-potamaie à Potamot luisant (*Potametum lucentis*) a disparu de plusieurs lacs en Franche-Comté (lac des Rousses notamment), et que sa régression semble parallèle à celle de la magno-potamaie à Potamot perfolié (*Potametum pectinato-perfoliati*). Les auteurs rapportent que la formation à *P. perfoliatus* formait, dans toute une série de lacs jurassiens, une ceinture interne de macrophytes d'eau profonde bien développée, et que celle-ci a complètement disparu de plusieurs lacs (en particulier les lacs de Malpas et Saint-Point). La cause évoquée est un bilan énergétique défavorable dû à un manque de transparence des eaux, ce qui pourrait être également le cas sur le lac de Joux.

Qualité du lac de Joux en 2014 en comparaison avec d'autres lacs suisses

L'inventaire par transects a permis de recenser en 2014 une part satisfaisante de la richesse potentielle des macrophytes submergés et à feuilles flottantes du lac de Joux (71%). Elle ne permet par contre pas un inventaire suffisamment exhaustif des hélophytes pour qu'un diagnostic de l'état écologique de ce compartiment soit réalisé, ni pour suivre l'évolution des espèces à enjeux de conservation. À savoir que sur le lac de Constance, la méthode

des transects a également donné satisfaction et a permis de confirmer la présence de pratiquement toutes les espèces submergées recensées lors du précédent relevé (1993). Cette méthode suffit pour assurer un suivi routinier des macrophytes conformément à la Directive Cadre Européenne sur l'eau (IGKB 2010).

L'indice de qualité biologique obtenu sur le lac de Joux (0.25, qualité médiocre) est inférieur à l'indice obtenu sur le Léman en 2009 (0.38, qualité moyenne) (AQUAPLUS 2010) et à celui réalisé de 2006 à 2010 sur le lac de Constance (bonne qualité) (IGKB 2010) ainsi que celui d'un petit lac des Préalpes vaudoises (0.50, qualité moyenne) (LODS-CROZET & CHEVALLEY 2014). La principale différence entre le lac de Joux et les deux lacs de plaine réside dans les faibles taux de recouvrements au lac de Joux et la plus grande profondeur de colonisation d'espèces sensibles pour le lac des Préalpes. En conséquence, l'abondance locale d'une espèce peut rapidement faire basculer l'indice vers des valeurs plus basses.

La méthode développée par SCHAUMBURG *et al.* (2011) est à notre sens pertinente dans le choix des espèces indicatrices des groupes A et C dans le cas du suivi de la qualité biologique du lac de Joux. Le fait d'utiliser une méthode standardisée présente le grand avantage de permettre un suivi quantitatif de l'évolution des macrophytes.

Recommandations

L'évolution de l'abondance et de la richesse spécifique du peuplement de characées serait un indicateur à suivre pour détecter d'éventuels changements dans la qualité des eaux du lac à l'avenir. L'éventuelle progression des characées à large amplitude trophique (*Chara contraria*, *Chara globularis*, *Nitellosis obtusa*) par rapport aux espèces strictement mésotrophes serait également à surveiller. La profondeur de colonisation maximum des characées et de *Potamogeton perfoliatus* serait également être un bon indicateur vis-à-vis de l'évolution de la transparence des eaux. Le suivi de l'évolution de l'abondance des espèces tolérantes à la trophie (espèces du groupe C) serait aussi à suivre pour évaluer d'éventuelles modifications dans la qualité des eaux du lac à l'avenir.

BIBLIOGRAPHIE

- AQUAPLUS, 2010. Étude de la végétation macrophytique du Léman. Relevés en juillet 2009. Rapport à la Commission internationale pour la protection des eaux du Léman (CIPEL), 30 p. + annexes.
- AUDERSET JOYE D. & SCHWARZER A., 2012. Liste rouge characées. Espèces menacées en Suisse, état 2010. Office fédéral de l'environnement (OFEV), Berne, et Laboratoire d'Écologie et de Biologie Aquatique de l'Université de Genève. L'environnement pratique n° 1213 : 72 p.
- BAILLY G., FERREZ Y., GUYONNEAU J. & SCHAEFER O., 2007. Étude et cartographie de la flore et de la végétation de 10 lacs du massif jurassien. Conservatoire Botanique de Franche-Comté, 132 p. + annexes.
- BOSSET E., 1961. Le lac de Joux. Étude hydrologique du bassin. Recherches mai 1953 – avril 1957. *Thèse de Doctorat*, Université de Lausanne, Suisse.
- BOSSET E., 1981. Évolution de l'état sanitaire du lac de Joux de 1953/57 à 1978/79. *Bulletin ARPEA* 108 : 11-44 et 109 : 41-64.
- CONSERVATOIRE BOTANIQUE DE FRANCHE-COMTÉ (CBFC), 2014. Liste rouge régionale de la flore vasculaire de Franche-Comté. Maison de l'Environnement de Franche-Comté, 16 p.
- DRUART P., BOLLIGER M., BRAHIER A., BRODTBECK T., BURGER G., CEPPI H., DUCKERT-HENRIOD M.-M., GROSSENBACHER E., JUILLERAT P., KEEL A., LATOUR C., MONNERAT C., MULLER-WIRZ E. & VITTOZ P., 2003. Liste des plantes vasculaires du Jura suisse présentées par canton – Mise à jour 2002. S.B.F.C., *Les Nouvelles Archives de la Flore jurassienne* 1 : 140-175.

- DRUART P., 2005. Plantes vasculaires du Jura suisse - Révision 2004 S.B.F.C., *Les Nouvelles Archives de la Flore jurassienne*, 3 : 201-215.
- DRUART P., JUILLERAT P., BRAHIER A., CEPPI H., DUCKERT-HENRIOD M.-M. & JUILLERAT L. (Eds.) 2004. Plantes vasculaires du Jura suisse par canton – Révision 2003. S.B.F.C., *Les Nouvelles Archives de la Flore jurassienne* 2 : 143-158.
- ECOTEC, 2014. Végétation aquatique du lac de Joux. Diversité et qualité biologique. Rapport pour la Direction générale de l'environnement du canton de Vaud, Bureau ECOTEC Environnement S.A., Genève.
- IGKB, 2010. Submerse Makrophyten des Bodensees. Kartierung in den Jahren 2006 bis 2010. Bericht Nr. 58, 101 p. + annexes.
- KOHLER A. 1978. Methoden der Kartierung von Flora und Vegetation von Süßwasserbiotopen. *Landschaft & Stadt* 10 : 73-85.
- LODS-CROZET B., DEMIERRE A., JUGE R., AUDERSET-JOYE D., LACHAVANNE J.-B., 1995. État des rives des lacs de Joux et Brenet, qualification et conservation. *Rapport Laboratoire d'Écologie et Biologie Aquatique*, Université de Genève, 2 volumes.
- LODS-CROZET B., REYMOND O. & STRAWCZYNSKI, A. 2006. Évaluation de la qualité chimique et biologique du lac de Joux (Jura suisse) entre 1985 et 2004. *Bulletin de la Société neuchâteloise des Sciences Naturelles* 129 : 29-47.
- LODS-CROZET B. & CHEVALLEY P.-A. 2014. Suivi écologique du lac Lioson, campagne 2012. Rapport de la Direction générale de l'environnement du Canton de Vaud (DGE), Protection des eaux.
- MOSER, D., GYGAX, A., BÄUMLER B., WYLER N. & PALESE R., 2002. Liste Rouge des fougères et plantes à fleurs menacées de Suisse. Ed. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne et Centre du Réseau Suisse de Floristique, Chambésy; Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève, Chambésy. Série OFEFP «L'environnement pratique». 118 pp.
- NOETZLIN A., 1980. Les macrophytes des lacs de Joux et Brenet. *Diplôme de Biologie*, Université de Genève.
- NUSSLÉ S., BORNAND C., HOFMANN F. & RUBIN J.-F., 2014. Bilan de trois décennies de suivi des palées du lac de Joux (*Coregonus palaea*). *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences Naturelles* 94 : 51-72.
- OFEV, 2011. Liste des espèces prioritaires au niveau national. Espèces prioritaires pour la conservation au niveau national, état 2010. Office fédéral de l'environnement, Berne. L'environnement pratique n° 1103. 132p.
- SCHAUMBURG J., SCHRANZ C., STELZER D. & VOGEL A., 2011. Handlungsanleitung für die ökologische Bewertung von Seen zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie: Makrophyten und Phytobenthos, Stand August 2011.

Manuscrit reçu le 14 juin 2015