

Le zooplancton du lac de Joux, ressource pour le corégone

Autor(en): **Chevalley, Pierre-Alain / Lods-Crozet, Brigitte**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles**

Band (Jahr): **97 (2018)**

PDF erstellt am: **10.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-813307>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Le zooplancton du lac de Joux, ressource pour le corégone

Pierre-Alain CHEVALLEY & Brigitte LODS-CROZET*

CHEVALLEY P.-A. & LODS-CROZET B., 2018. Le zooplancton du lac de Joux, ressource pour le corégone.

Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles 97: 33-46.

Résumé

Le suivi des communautés zooplanctoniques a été mis en place pour évaluer la qualité et la quantité de nourriture à disposition pour la palée (*Coregonus palaea*) du lac de Joux. Pendant les cinq ans de suivi (2013-17), le zooplancton est dominé par les microcrustacés et principalement les cladocères herbivores. Les abondances augmentent dès juin et le pic estival signale un schéma classique avec des valeurs élevées en période de production du phytoplancton. Les grands cladocères carnivores (*Bythotrephes longimanus* et *Leptodora kindti*) sont très peu abondants. Les rotifères sont le deuxième groupe taxonomique et sont principalement présents au début du printemps et en automne. À l'échelle interannuelle, les abondances et les biovolumes sont du même ordre de grandeur que ceux rencontrés dans le Léman et les lacs du Bourget et d'Annecy. L'année 2017 se révèle la plus productive de la série 2013-17 et ceci pourrait être lié aux conditions météorologiques clémentes du printemps et été. La dynamique interannuelle des cladocères est difficile à mettre en lien avec la prédation des corégones. En effet, en 2014, année de très faible rendement de pêche, les abondances de cladocères herbivores sont élevées, mais le sont encore plus en 2017, lors de la reprise d'un meilleur rendement des corégones. À noter également que les abondances significatives du zooplancton et la forte abondance et dominance de la cyanobactérie *Planktothrix rubescens* par rapport aux autres algues phytoplanctoniques, témoignent de l'importance de *P. rubescens* comme ressource alimentaire pour le zooplancton.

Mots-clés: microcrustacés, rotifères, évolution, canton de Vaud, *Coregonus palaea*, cyanobactéries, gestion de la pêche, Jura.

CHEVALLEY P.-A. & LODS-CROZET B., 2018. Zooplankton in Lake Joux, resource for the whitefish. *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles* 97: 33-46.

Abstract

A zooplanktonic monitoring was initiated between 2013 and 2017 to assess the food quality and quantity for the whitefish population in Lake Joux. The zooplankton community is dominated by microcrustaceans and especially herbivorous cladocerans. Abundances started to increase in June and the summer maximum followed a classical trend with high values during main phytoplanktonic production. Large carnivorous cladocerans densities are very low. The rotifera community is the second predominant taxonomical group with higher abundances in spring and autumn. The annual mean crustacean densities and biovolumes have been remaining within the range of variability observed in lakes Geneva, Bourget and Annecy. Good climatic conditions prevailing in spring and summer 2017 could explain its high productivity. Inter-annual dynamics of the cladocerans are difficult to link with the whitefish predation. During 2014, year of very low fish yield, the herbivorous cladoceran densities were high as in 2017, year in a better whitefish yield. Also note that significant zooplanktonic densities and the predominance of the cyanobacteria *Planktothrix rubescens* in the phytoplanktonic community highlight the high contribution of this species in the zooplankton diet.

Keywords: microcrustaceans, rotifera, evolution dynamics, canton of Vaud, *Coregonus palaea*, cyanobacteria, fish management, Jura mountain.

Direction générale de l'environnement (DGE), Division Protection des eaux, Boveresses 155, CH-1066 Epalinges.

*Correspondance: brigitte.lods-crozet@vd.ch



INTRODUCTION

Le zooplancton d'eau douce est principalement composé des rotifères et des microcrustacés, et durant la saison chaude de larves nageuses (larves véligères) de la moule zébrée (*Dreissena polymorpha*). Par la diversité des tailles et des modes d'alimentation de ces organismes, le zooplancton joue un rôle fondamental dans le fonctionnement des écosystèmes lacustres. Il nous renseigne sur l'organisation du réseau trophique et les transferts d'énergie et de matière, par prédation sur les bactéries, les protozoaires et le phytoplancton, surtout lorsque ce dernier est facilement ingérable et comme source de nourriture pour les poissons (BALVAY *et al.* 2004).

Les premières et rares observations qualitatives de zooplancton dans le lac de Joux datent de la fin du XIX^e siècle (PITARD 1897), puis des années 1953-57 avec des données semi-quantitatives (BOSSET 1961). Elles fournissent un état de référence sur le zooplancton avant la phase d'eutrophisation : teneurs moyennes en phosphore total ne dépassant pas 10 µg P/L (BOSSET 1961). Les données zooplanctoniques récoltées en 1978-79 (BOSSET 1981) et 1981-82 (LANG & LANG 1986), correspondent à la période la plus eutrophe du lac (phosphore total > 35 µg P/L et très faibles teneurs en oxygène dissous dans les couches profondes). La biodiversité du zooplancton chute et une prolifération de cyanobactéries se met en place avec l'apparition massive d'une espèce formant des filaments et potentiellement toxique (microcystines). Il s'agit de *Planktothrix rubescens*, observé en 1972 (BOSSET 1981). Depuis le milieu des années 1990, le lac est dans une phase de réoligotrophisation (Ptot : 16 µg P/L en 2017), avec une décroissance lente et fluctuante de *Planktothrix rubescens* qui reste l'espèce phytoplanctonique dominante dans le lac (LODS-CROZET *et al.* 2006 ; SESA 2009, 2012).

Depuis cette période, aucune nouvelle donnée n'a été acquise sur le zooplancton du lac. Ce constat a ainsi questionné depuis les années 2010 les milieux de la pêche, à savoir la biomasse zooplanctonique, en particulier les microcrustacés comme ressource alimentaire majeure pour le corégone ou palée (*Coregonus palaea*). De plus, il est admis que les cyanobactéries ont des effets négatifs sur la biomasse et la composition de la communauté zooplanctonique à cause de leur taille/morphologie et de leur toxicité potentielle (SOTTON *et al.* 2014). Cependant, des recherches récentes ont montré une capacité des microcrustacés à se nourrir de cyanobactéries (OBERHAUS *et al.* 2007, SOTTON *et al.* 2014).

Fort de ces constats, la Direction générale de l'environnement (DGE) a mis en place un suivi du zooplancton en 2013 au moment où le rendement de la pêche professionnelle était très faible depuis 2012 et au minimum en 2014 (NUSSLÉ *et al.* 2014, NUSSLÉ & RUBIN 2017) pour évaluer l'implication du compartiment zooplanctonique (biomasse et composition) en tant que ressource nutritive pour le corégone.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le prélèvement est réalisé au niveau du point le plus profond du lac de Joux (coordonnées 511760/166070) à raison de 10 échantillons mensuels (bi-mensuel en été) et pendant les périodes hors gel, excepté en 2013 (8 échantillons). Les microcrustacés, les rotifères de taille > 200 µm et les larves de diptères chaoboridés sont recueillis à l'aide d'un filet à vide de maille de 200 µm (Type Apstein No. 438 030, longueur 100 cm, diamètre 40 cm) lors de traits verticaux réalisés depuis 20 mètres de profondeur jusqu'en surface.

Les échantillons sont fixés au formol 5 %, puis sont mis à décanter durant 24 heures dans des entonnoirs cylindro-coniques gradués, à l'abri des vibrations, afin de mesurer le biovolume sédimenté. Le volume du phytoplancton déposé au-dessus du zooplancton n'est pas pris en compte.

Les microcrustacés sont dénombrés par espèce et stade de développement dans les échantillons. Le dénombrement est réalisé au microscope standard sur lame de comptage à partir d'un sous-échantillon.

Pour chaque catégorie taxonomique, le nombre d'individus a été ramené à l'unité de surface selon la formule suivante :

$$\text{Abondance} = N_{\text{ind.ss.ech}} \times \frac{V_{\text{ech.total}}}{V_{\text{ss.ech}}} \times \frac{H_{\text{filtrée}}}{V_{\text{filtré}}}$$

où : $N_{\text{ind.ss.ech}}$ est le nombre d'individus dénombrés dans le sous-échantillon, $V_{\text{ech.total}}$ est le volume de l'échantillon total ajusté (en mL), $V_{\text{ss.ech}}$ est le volume du sous-échantillon (en mL), $H_{\text{filtrée}}$ est la hauteur de colonne d'eau filtrée, ou profondeur du prélèvement (20 m) et $V_{\text{filtré}}$ le volume filtré par le filet (2,512 m³).

Les grands cladocères et les chaoboridés sont dénombrés à l'unité sur la totalité de l'échantillon. Par leur taille, les individus précités sont facilement identifiables à l'œil nu.

Du fait de la maille du filet pas adapté à l'échantillonnage de l'ensemble des peuplements de rotifères, seuls les rotifères de grande taille (> 200 µm) sont pris en compte et déterminés au niveau du genre. Les microcrustacés sont déterminés à l'espèce lorsque les individus sont à un stade développement adulte (annexe 1).

La détermination spécifique est basée sur AMOROS 1984, DUSSART 1967, 1969, POURRIOT & FRANCEZ, 1986, SCOURFIELD & HARDING, 1966 et STREBLE & KRAUTER, 2012. Les copépodes cyclopoïdes ne sont pas déterminés à l'espèce.

RÉSULTATS

1. Biovolume sédimenté

Pendant la période 2013-17, le biovolume maximum de zooplancton est observé en juin-juillet avec un seul pic estival compris entre 84 et 247 ml/m² (max. le 2 juillet 2015) et les minima sont de l'ordre de 20 ml/m² en avril et fin d'été (figure 1). Le pic de biovolume zooplanctonique correspond à la période de transparence maximale des eaux, marquant ainsi une phase des eaux claires. La phase des eaux claires est toutefois moins marquée en 2014. La transparence devient faible en octobre 2013 suite à un bloom de cyanobactéries (*Planktothrix rubescens*). En 2014, la situation inverse se produit avec un retour automnal des organismes zooplanctoniques. 2015 et 2017 sont marqués par une très bonne transparence, une forte abondance de zooplancton et une absence de *Planktothrix* durant la période estivale. En 2016, le biovolume zooplanctonique est le plus bas de la série. Une corrélation négative nette est observée entre la biomasse de *Planktothrix rubescens* et le biovolume zooplanctonique (coefficient de corrélation de rang de Spearman $R_s = -0.356$, $p < 0.05$).

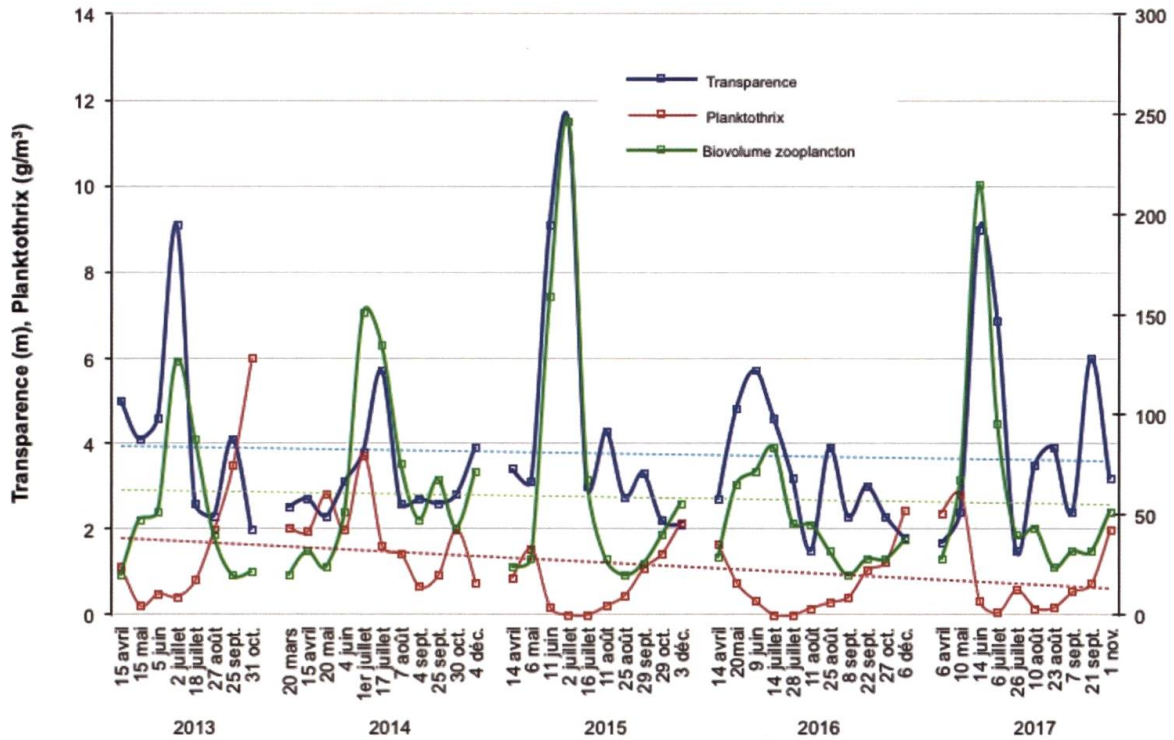


Figure 1. Évolution saisonnière du biovolume zooplanctonique, de *Planktothrix* et de la transparence des eaux mesurée au disque de Secchi normalisé (noir et blanc, diamètre 25 cm).

2. Répartition taxonomique du zooplancton

Sur les cinq années suivies, le zooplancton est dominé par les microcrustacés qui oscillent entre 243'000 et 640'000 individus/m² (figure 2, tableau 1) et représentent entre 81 et 90 % des peuplements. Les rotifères sont le deuxième groupe taxonomique et sont principalement présents au début du printemps et en automne (tableau 1, annexe I). Parmi les microcrustacés, les cladocères herbivores sont dominants, excepté en 2016 où ce sont les copépodes cyclopoïdes et calanoïdes (herbivores/prédateurs).

2.1. Microcrustacés cladocères

La dynamique saisonnière des cladocères présente un schéma de pic estival similaire à celui observé dans les lacs périalpins avec des valeurs élevées en période de production du phytoplancton. Le pic de la phase des eaux claires est dominé par les cladocères herbivores du genre *Daphnia* (figure 3). Un second pic des Daphniidae (*Ceriodaphnia pulchella* et *Daphnia* sp.) est observé en septembre et décembre 2014 puis décembre 2015 et 2016. Les Bosminidae sont dominants en juin et septembre alors qu'ils sont très peu observés à la fin de l'automne excepté en 2014). L'année 2017 se singularise avec des effectifs deux fois supérieurs à ceux des années précédentes. Les Daphniidae de petite taille (*Ceriodaphnia pulchella* et Bosminidae) sont de 2 à 4 fois plus abondants que les années antérieures (figure 3).

Les populations estivales des grands cladocères prédateurs sont très peu abondantes. Elles sont toutefois bien représentées en 2014 et 2015 avec une population de *Leptodora kindti* (max. 725 ind./m² sur 20 m en août 2014) qui se maintient jusqu'à fin octobre grâce à un automne très doux (annexe I). L'année 2014 est marquée par une observation de *Bythotrephes longimanus* (8 ind./m² en juillet), qui n'a pas été retrouvé depuis.

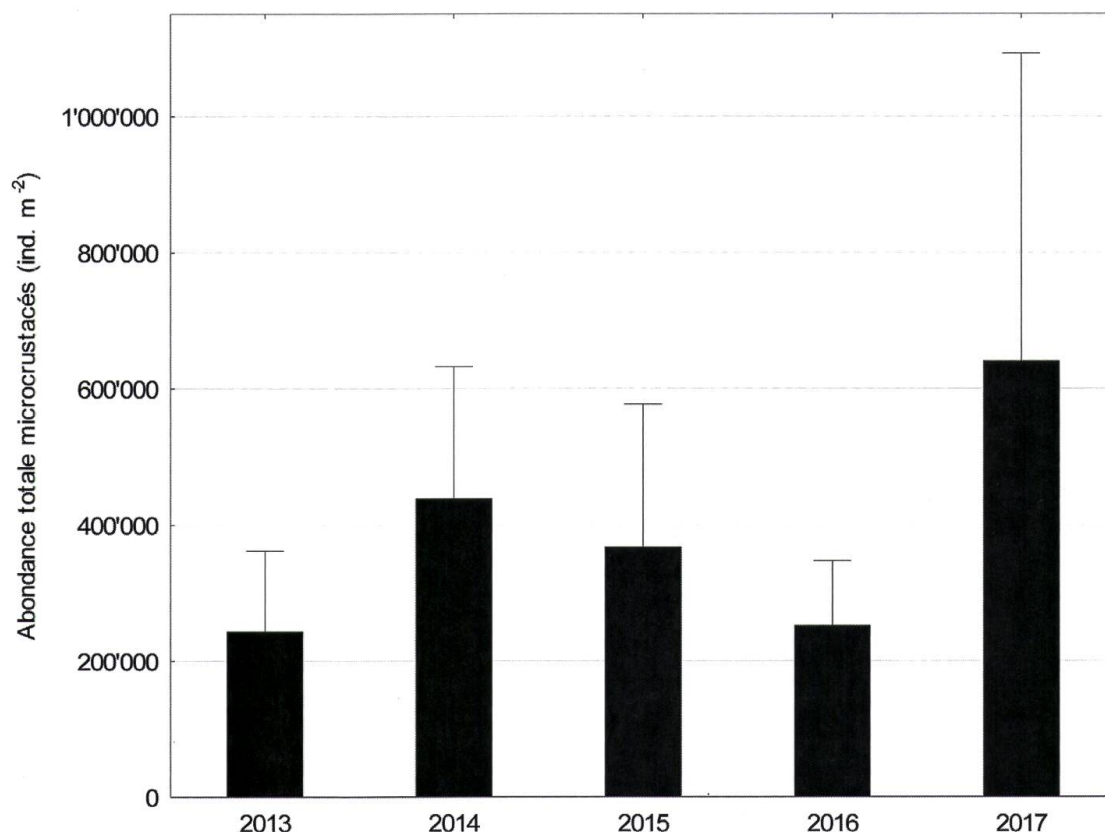


Figure 2. Évolution interannuelle de l'abondance (moyenne annuelle \pm LC : limites de confiance) des microcrustacés.

2.2. Microcrustacés copépodes

Les copépodes sont dominés par les cyclopoïdes (genre *Cyclops* prédominants à 95 %) et représentent entre 50 et 76 % des peuplements. Ils sont présents pendant toute la période d'échantillonnage (mars-décembre). Des pics saisonniers sont enregistrés principalement en juin (max. de plus de 800'000 ind./m² en 2017) sauf pour l'année 2014 (pic de plus de 550'000 ind./m² en août) et (figure 3, annexe 1).

Les calanoïdes représentés par une seule espèce (*Eudiaptomus gracilis*) ne semblent pas présenter une saisonnalité marquée pour les cinq années d'observation.

Des larves de copépodes nauplii sont observables souvent jusqu'en juillet puis en fin d'année (effectifs moyens compris entre 1115 et 7750 ind./m²).

2.3. Rotifères

Les rotifères sont abondants durant la période printanière et sont quasi absents lors du pic estival zooplanctonique, phénomène probablement à associer à leur consommation par les microcrustacés cladocères. En fin d'hiver, les rotifères peuvent présenter plus de 50 % de la communauté zooplanctonique (figure 3).

Ils sont dominés par les genres *Asplanchna* et *Brachionus* (annexe 1) qui contribuent à 95 % des effectifs totaux. Ils semblent avoir des effectifs plus élevés lorsque l'abondance des Cladocères est faible. *Brachionus* a une tendance plus printanière qu'*Asplanchna* qui domine plutôt en fin d'été et automne. Les deux autres taxons ne sont observés que de façon marginale.

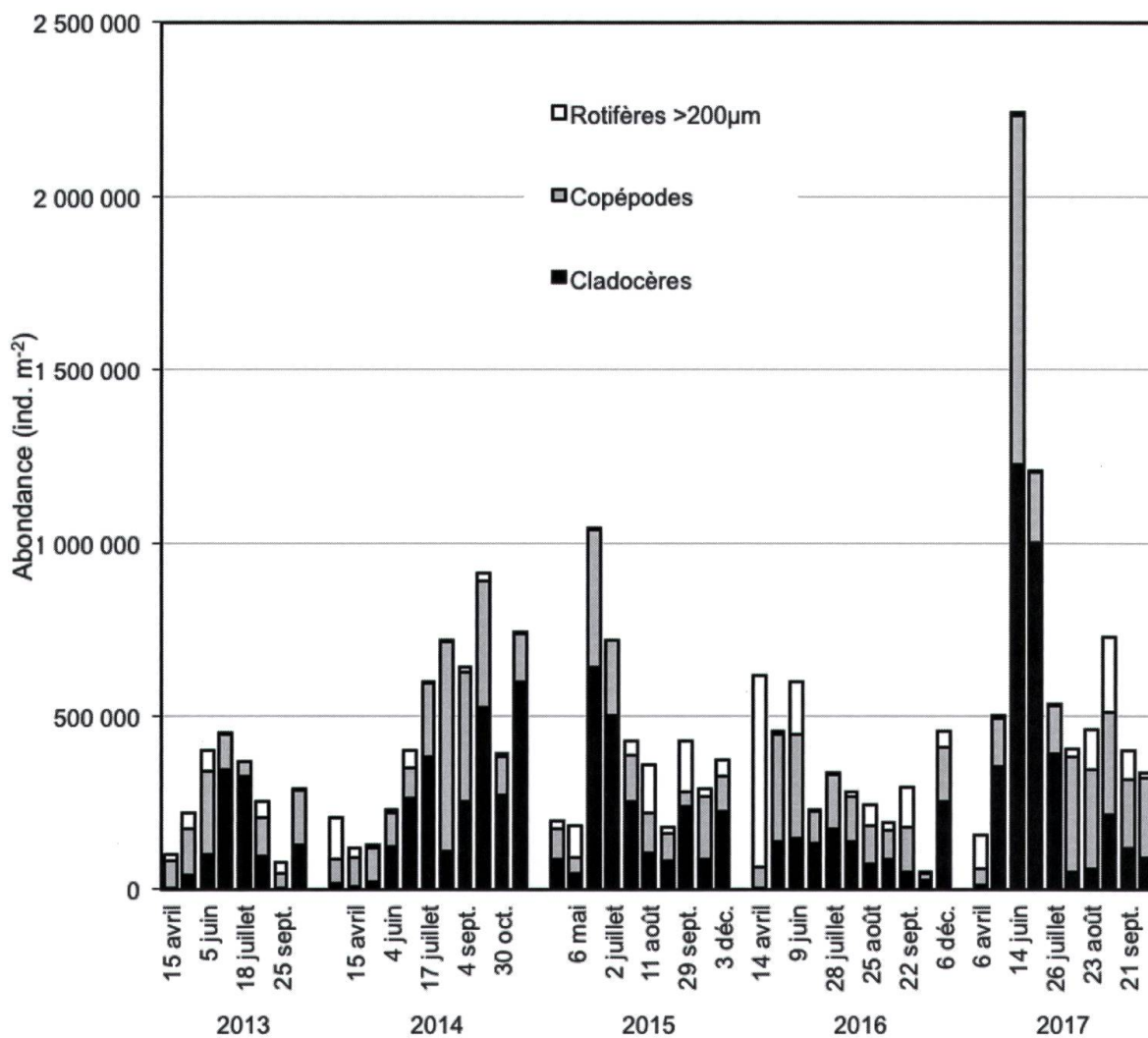


Figure 3. Évolution saisonnière de l'abondance du zooplancton (nb d'individus au m² sur 20 m) entre 2013 et 2017.

Tableau 1. Évolution interannuelle de l'abondance moyenne et déviation standard (\pm LC: limites de confiance) et du biovolume des différentes catégories de zooplancton.

Abondance	Unités	an	Nb échant	Moyenne	Min	Max	- LC	+ LC
Cladocères	ind./m ²	2013	8	132333	5732	346255	88983	273914
Rotifères	ind./m ²	2013	8	27187	0	61505	16044	49386
Copépodes	ind./m ²	2013	8	111094	38217	236465	43154	132841
Biovolume	mL/m ²	2013	8	52.0	19.9	127.4	25.1	77.3
Tot zooplancton	ind./m ²	2013	8	270614	76911	449739	89696	276108
Tot microcrustacés	ind./m ²	2013	8	243427	43949	448268	93954	289215
% microcrustacés	%	2013	8	85.0	57.1	100.0	9.6	29.5

Abondance	Unités	an	Nb échant	Moyenne	Min	Max	- LC	+ LC
Cladocères	ind./m ²	2014	11	234136	9076	600717	141930	356478
Rotifères	ind./m ²	2014	11	25080	2389	120860	24156	60671
Copépodes	ind./m ²	2014	11	204176	69268	605494	120566	302819
Biovolume	mL/m ²	2014	11	65.5	19.9	151.3	29.9	75.1
Tot zooplancton	ind./m ²	2014	11	463392	118949	913758	192117	482530
Tot microcrustacés	ind./m ²	2014	11	438312	88376	889873	201675	506538
% microcrustacés	%	2014	11	89.8	42.2	99.6	12.0	30.2
Cladocères	ind./m ²	2015	10	227725	47771	641354	136597	362548
Rotifères	ind./m ²	2015	10	53384	0	145303	36712	97439
Copépodes	ind./m ²	2015	10	139571	42596	397691	72963	193655
Biovolume	mL/m ²	2015	10	69.4	19.9	247	51.5	136.8
Tot zooplancton	ind./m ²	2015	10	420680	181529	1043822	186979	496268
Tot microcrustacés	ind./m ²	2015	10	367296	90764	1039045	201667	535252
% microcrustacés	%	2015	10	82.4	49.4	100	11.8	31.4
Cladocères	ind./m ²	2016	11	112294	5971	254045	49795	125069
Rotifères	ind./m ²	2016	11	88350	398	551752	112819	283363
Copépodes	ind./m ²	2016	11	139726	19188	311704	63792	160223
Biovolume	mL/m ²	2016	11	44.2	19.9	83.6	14.5	36.5
Tot zooplancton	ind./m ²	2016	11	340370	47954	617436	122187	306890
Tot microcrustacés	ind./m ²	2016	11	252020	47556	447850	98927	248470
% microcrustacés	%	2016	11	81.1	10.6	99.2	18.5	46.4
Cladocères	ind./m ²	2017	10	352643	14713	1224788	291442	773528
Rotifères	ind./m ²	2017	10	56917	3503	216561	48440	128566
Copépodes	ind./m ²	2017	10	287756	46815	1006281	183316	486547
Biovolume	mL/m ²	2017	10	62.9	23.9	215.0	39.7	105.3
Tot zooplancton	ind./m ²	2017	10	697316	158503	2242569	420725	1116664
Tot microcrustacés	ind./m ²	2017	10	640400	61529	2231069	434430	1153038
% microcrustacés	%	2017	10	85.2	38.8	100	13.6	36

2.4. Autres groupes planctoniques

Les diptères chaoboridae (*Chaoborus flavicans*) sont fréquents et abondants principalement pendant la période estivale (plus de 10'000 individus au m² en juillet 2015) (annexe 1).

Les larves planctoniques véligères de la moule zébrée (*Dreissena polymorpha*), présente dans le lac depuis 2003, n'ont été observées qu'en mai et juin 2015.

DISCUSSION

Le suivi du zooplancton du lac de Joux sur cinq années montre que les communautés zooplanctoniques de ce lac sont abondantes et dominées par les microcrustacés. Ces derniers sont considérés comme la nourriture privilégiée des corégones (GERDEAUX *et al.* 2002) et en particulier les cladocères. Les effectifs sont du même ordre de grandeur que ceux rencontrés dans le Léman (moyenne annuelle proche de 400'000 ind. m⁻²) (ANNEVILLE & LAINE, 2017) ou les lacs du Bourget et d'Annecy (JACQUET *et al.* 2012). En revanche, les grands cladocères carnivores (*Bythotrephes longimanus* et *Leptodora kindti*) contribuant fortement au bol alimentaire des corégones en été dans le Léman (pics estivaux de *L. kindti* observés sur le Léman sont de l'ordre de 20'000 individus au m² sur une colonne d'eau de 50 m) (ANNEVILLE & HAMELET, 2017), sont très peu abondants dans le lac de Joux.

L'année 2017 se révèle la plus productive de la série 2013-17 et pourrait être liée aux conditions météorologiques clémentes du printemps et de l'été (Météo suisse, bulletin climatique 2017). La dynamique interannuelle des cladocères est difficile à mettre en lien avec la prédation des corégones. En effet, en 2014, année de très faible rendement de pêche, les abondances de cladocères herbivores sont élevées, mais le sont encore plus en 2017, lors de la reprise d'un meilleur rendement des corégones (NUSSLÉ & RUBIN 2017). Il semble selon NUSSLÉ *et al.* (2014) que la taille moyenne des poissons, qui est déclinante depuis une trentaine d'années en raison du cumul de l'effet sélectif de la pêche, du ré-empoisement périodique, de l'augmentation de la température et de la diminution du taux de phosphore (LODS-CROZET *et al.* 2006), influence la magnitude et la succession des cycles de rendement de la pêche.

Les faibles biomasses de cladocères de l'automne 2013 ainsi que les fortes biomasses de fin 2014 pourraient être mises en relation avec la présence/absence de bloom automnal de *Planktothrix rubescens*. Des résultats similaires ont pu être mis en évidence également dans le lac du Bourget (JACQUET *et al.* 2012).

On pourrait avancer l'hypothèse que les abondances significatives de zooplancton et la forte abondance/dominance de la cyanobactérie *P. rubescens* par rapport aux autres algues phytoplanctoniques, témoignent que *P. rubescens* représente une ressource alimentaire pour le zooplancton. Au cours de ces cinq dernières années, il a rarement dépassé 2 g/m³ pendant une longue période, hormis en automne 2013. Cette valeur semble être un seuil de limitation de consommation de cette cyanobactérie par les cladocères comme relaté par OBERHAUS *et al.* (2007).

Ce suivi temporel de cinq ans du compartiment zooplanctonique a permis de montrer que la dominance d'une espèce du compartiment phytoplanctonique (*P. rubescens*) a un impact significatif sur la dynamique saisonnière et inter-annuelle du zooplancton. Il met aussi en évidence un potentiel effet de la ressource alimentaire zooplanctonique pour les poissons planctonophages comme le corégone.

BIBLIOGRAPHIE

- AMOROS C., 1984. Introduction pratique à la systématique des organismes des eaux continentales françaises: Crustacés Cladocères. *Extrait du bulletin mensuel de la Société Linnéenne de Lyon* 3-4: 72-145.
- ANNEVILLE O. & HAMELET V., 2017. Régime alimentaire des corégones du Léman en milieu pélagique. *Rapp. Comm. Int. Prot. Eaux Léman contre pollut., campagne 2016*: 119-124.
- ANNEVILLE O. & LAINE L., 2017. Zooplancton du Léman. *Rapp. Comm. Int. Prot. Eaux Léman contre pollut. (CIPEL), Campagne 2003*, 111-118.
- BALVAY G., LAINE L. & ANNEVILLE O., 2004. Évolution du zooplancton du Léman. *Rapp. Comm. Int. Prot. Eaux Léman contre pollut. (CIPEL), Campagne 2003*, 81-92.
- BOSSET E., 1961. Le Lac de Joux. Étude hydrologique du bassin. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences de l'Université de Lausanne, Suisse.
- DUSSART B., 1967. Les copépodes des eaux continentales d'Europe Occidentale, Tome I: Calanoïdes et Harpacticoides. Éditions N. Boubée & Cie, 500 p.
- DUSSART B., 1969. Les copépodes des eaux continentales d'Europe Occidentale, Tome II: Cyclopoïdes et Biologie. Éditions N. Boubée & Cie, 292p.
- GERDEAUX D., BERGERET S., FORTIN J. & BARONNET T., 2002. Diet and seasonal patterns of food intake by *Coregonus lavaretus* in Lake Annecy, comparison with the diet of the other species of the fish community. *Archiv für Hydrobiologie* 57: 199-207.
- JACQUET S., ANNEVILLE O. & DOMAIZON I., 2012. Évolution des paramètres clés indicateurs de la qualité des eaux et du fonctionnement écologique des grands lacs péri-alpins (Léman, Annecy, Bourget). Étude comparative de restauration post-eutrophisation. *Archives des Sciences* 65: 225-242.
- LANG C., LANG B., 1986. Coregonid fish: key predators in eutrophic lake? *Arch. Hydrobiol. Beih., Ergebn. Limnol.* 22: 363-372.
- LDS-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.
- MÉTÉO SUISSE, 2017. Bulletin climatique année 2017. https://www.meteosuisse.admin.ch/content/dam/meteoswiss/fr/service-und-publikationen/publikationen/doc/bulletin_climato_annee_2017-def_f.pdf
- 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 de Sciences naturelles* 94 (1) : 51-72.
- NUSSLÉ S., & RUBIN J.-F., 2017. Palées du lac de Joux. Monitoring de décembre 2016. Direction générale de l'environnement. Rapport interne non publié.
- OBERHAUS L., GELINAS M., PINEL-ALLOUL B., GHADOUANI A. & HUMBERT J.-F., 2007. Grazing of two toxic *Planktothrix* species by *Daphnia pulicaria*: potential for bloom control and transfer of microcystins. *Journal of Plankton Research* 29 (10): 827-838.
- POURRIOT R. & FRANCEZ A.-J., 1986. Rotifères. Introduction pratique à la systématique des organismes des eaux continentales françaises. *Bulletin mensuel de la Société linnéenne de Lyon* 5, 37 p.
- SCOURFIELD D.J. & HARDING J.P., 1966. A Key to the British Species of Freshwater CLADOCERA. Freshwater Biological Association, Scientific Publication n° 5, 55 p.
- SESA Laboratoire 2009. Inf°Eaux. - Lac de Joux n° 1, 2 p.
- SESA Laboratoire 2012. Inf°Eaux. - Lac de Joux n° 2, 2 p.
- SOTTON B., GUILLARD J., ANNEVILLE O., MARÉCHAL M., SAVICHTCHEVA O. & DOMAIZON I., 2014. Trophic transfer of microcystins through the lake pelagic food web: Evidence for the role of zooplankton as a vector in fish contamination. *Science of total Environment* 466-467: 152-163.
- STREBLE H. & KRAUTER D., 2012. Das Leben im Wassertropfen: Mikroflora und Mikrofauna des Süßwassers. Ein Bestimmungsbuch. Kosmos, 429 p.

ANNEXE

Annexe 1. Abondance du zooplancton (nombre individus/m²) dans le lac de Joux entre 2013 et 2017.

Groupe taxonomique	Genre/espèce	2013							
		15.4	15.5	5.6	2.7	18.7	27.8	25.9	31.10
Cladocères									
Daphniidae	<i>Ceriodaphnia pulchella</i> Sars, 1862	0	4'777	13'734	84'793	95'809	17'914	2'866	85'987
	<i>Daphnia gr. longispina</i>	2'756	29'857	62'102	322'452	118'662	72'850	2'389	15'764
	<i>Daphnia cucullata</i> Sars, 1862	0	0	2'986	0	5'274	0	0	0
	<i>Daphnia</i> sp.	0	0	0	7'166	0	0	0	0
Bosminidae	<i>Bosmina longirostris</i> (O.F. Müller, 1776)	0	1'194	1'194	3'583	5'274	0	478	478
	<i>Bosmina (Eubosmina)</i> <i>longispina</i> Leydig, 1860	3'675	3'583	5'374	38'217	83'064	0	0	18'631
	<i>Bosmina</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0
Leptodoridae	<i>Leptodora kindtii</i> (Focke, 1844)	0	0	0	0	8	0	0	0
Polyphemidae	<i>Bythotrephes longimanus</i> Leydig, 1860	0	0	0	0	0	0	0	0
Cladocères juv.		0	2'389	17'914	29'857	21'096	4'777	0	9'554
Copépodes									
Cyclopoïdes		33'991	87'182	178'543	74'057	28'127	68'073	10'510	109'873
Calanoïdes	<i>Eudiaptomus gracilis</i> (Sars, 1863)	38'584	45'382	53'145	24'032	12'306	41'799	27'707	43'471
Larves Nauplii		1'837	0	4'777	3'924	0	0	0	1'433
Rotifères (> 200 µm)									
	<i>Asplanchna</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Keratella</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Brachionus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Kellicottia</i> sp.	0	0	0	0	1'758	0	0	0
Diptères									
Chaoboridae	<i>Chaoborus flavicans</i> (Meigen, 1830)	38'584	45'382	53'145	32'245	12'306	41'799	27'707	43'471
Mollusques									
Larves véligères	<i>Dreissena polymorpha</i> (Pallas, 1771)	0	0	0	0	0	0	0	0

Annexe 1. (suite) Abondance du zooplancton (nombre individus/m²) dans le lac de Joux entre 2013 et 2017.

2014										
20.3	15.4	20.5	4.6	1.7	17.7	7.8	4.9	25.9	30.10	4.12
2'389	1'433	2'866	5'573	37'022	74'045	38'217	161'943	294'984	128'981	81'210
14'809	6'688	167'20	110'669	166v003	229'299	58'519	42'038	118'232	54'936	39'411
0	0	0	0	0	0	0	0	0	16'720	25'080
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	478	0	35'828	48'965	3'583	7'166	22'691	25'080	12'1815
478	0	0	0	0	0	0	0	0	39'411	280'653
0	478	0	0	1'194	0	0	0	0	4'777	8'360
0	0	0	0	0	80	725	159	143	16	0
0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0
1'433	478	1'911	8'758	20'303	28'662	8'360	42'038	89'570	0	44'188
9'076	25'318	80'732	72'452	68'073	163'615	548'169	338'694	334'395	112'261	88'376
59'236	54'936	11'943	22'293	22'691	51'354	57'325	36'306	29'857	13'137	46'576
955	1'433	6'688	796	0	0	0	0	0	0	2'389
0	0	0	2'389	46'576	2'389	1'194	5'732	21'497	8'360	0
0	0	0	0	1'194	0	0	0	1'194	0	0
0	25'318	6'210	7'166	1'194	0	0	0	0	1'194	4'777
0	2'866	955	0	0	0	4'777	7'643	1'194	1'194	0
59'236	0	8	24	0	820	414	358	32	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Annexe 1. (suite) Abondance du zooplancton (nombre individus/m²) dans le lac de Joux entre 2013 et 2017.

Groupe taxonomique	Genre/espèce	2015							
		14.4	6.5	11.6	2.7	16.7	11.8	25.8	29.9
Cladocères									
Daphniidae	<i>Ceriodaphnia pulchella</i> Sars, 1862	0	8'360	52'548	50'955	89'570	31'051	29'459	52'548
	<i>Daphnia</i> gr. <i>longispina</i>	0	0	207'803	320'064	142'118	51'354	17'516	1'592
	<i>Daphnia cucullata</i> Sars, 1862	0	0	1'194	23'885	2'389	4'777	0	2'787
	<i>Daphnia</i> sp.	0	0	0	7'962	1'194	0	0	1'194
Bosminidae	<i>Bosmina longirostris</i> (O.F. Müller, 1776)	19'108	3'583	14'331	0	0	1'194	0	174'761
	<i>Bosmina</i> (<i>Eubosmina</i>) <i>longispina</i> Leydig, 1860	57'325	28'662	351'115	23'885	11'943	14'331	25'478	0
	<i>Bosmina</i> sp.	0	0	0	0	0	0	796	0
Leptodoridae	<i>Leptodora kindtii</i> (Focke, 1844)	0	0	32	151	8	56	0	191
Polyphemidae	<i>Bythotrephes longimanus</i> Leydig, 1860	0	0	0	0	0	0	0	0
Cladocères juv.		10'748	7'166	14'331	76'433	5'971	4'777	8'758	7'166
Copépodes									
Cyclopoïdes		66'879	29'857	375'000	168'790	85'995	88'376	54'140	38'217
Calanoïdes	<i>Eudiaptomus gracilis</i> (Sars, 1863)	17'914	9'554	15'525	49'363	48'965	23'885	23'885	4'379
Larves Nauplii		4'777	3'583	7'166	0	0	0	0	0
Rotifères (> 200 µm)									
	<i>Asplanchna</i> sp.	0	0	1'194	0	35'828	137'341	20'701	143'710
	<i>Keratella</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	398
	<i>Brachionus</i> sp.	21'497	93'153	2'389	0	0	0	0	0
	<i>Kellicottia</i> sp.	0	0	1'194	0	4'777	1'194	796	1'194
Diptères									
Chaoboridae	<i>Chaoborus flavicans</i> (Meigen, 1830)	0	0	0	271	10'748	231	127	0
Mollusques									
Larves véligères	<i>Dreissena polymorpha</i> (Pallas, 1771)	0	2'389	1'194	0	0	0	0	0

Annexe 1. (suite) Abondance du zooplancton (nombre individus/m²) dans le lac de Joux entre 2013 et 2017.

		2016										
29.10	3.12	14.4	20.5	9.6	14.7	28.7	11.8	25.8	8.9	22.9	27.10	6.12
44'188	26'274	0	2'389	8'360	13'649	33'439	14'331	13'137	27'866	42'197	25'239	144'108
10'748	59'713	1'791	7'166	4'777	106'631	100'318	96'736	33'041	17'118	5'971	1'990	48'567
15'924	130'175	0	95'541	47'771	1'706	1'194	1'194	0	0	0	0	3'185
2'389	0	0	0	2'389	0	0	1'194	0	0	0	0	0
7'166	0	0	0	0	0	0	0	19'108	0	0	637	4'777
0	0	2'389	13'137	52'548	10'237	15'525	13'137	4'379	0	0	0	39'013
0	0	0	0	0	0	15'525	1'194	2'787	33'838	398	0	0
541	0	0	0	0	32	80	88	8	16	0	104	64
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7'962	9'554	1'791	17'914	31'051	3'412	8'360	9'554	3'185	9'554	3'583	398	14'331
142'516	60'510	31'051	240'048	262'739	23'885	71'656	62'102	37'022	37'022	46'975	10'987	58'917
32'245	41'799	20'303	26'274	13'137	63'126	78'822	66'879	71'258	45'382	80'414	8'201	95'541
1'592	796	8'360	45'382	22'691	853	4'777	1'194	1'194	0	0	0	796
4'379	398	0	0	38'217	1'706	2'389	13'137	56'131	15'525	113'057	239	8'758
0	1'194	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	0
3'185	31'847	542'197	3'583	103'901	0	0	0	0	796	398	0	37'420
16'322	11'146	9'554	4'777	9'554	0	2'389	0	796	5'573	0	80	1'592
629	0	0	0	0	111	271	295	191	16	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Annexe 1. (suite) Abondance du zooplancton (nombre individus/m²) dans le lac de Joux entre 2013 et 2017.

Groupe taxonomique	Genre/espèce	2017									
		6.4	10.5	14.6	6.7	26.7	10.8	23.8	7.9	21.9	1.11
Cladocères											
Daphniidae	<i>Ceriodaphnia pulchella</i> Sars, 1862	0	3'822	135'129	165'238	161'146	36'479	41'214	52'171	85'032	48'965
	<i>Daphnia</i> gr. <i>longispina</i>	0	20'382	422'638	195'492	21'895	6'080	937	2'953	0	31'051
	<i>Daphnia cucullata</i> Sars, 1862	0	2'548	11'500	0	876	0	0	0	955	4'777
	<i>Daphnia</i> sp.	0	0	0	0	876	0	0	0	0	0
Bosminidae	<i>Bosmina longirostris</i> (O.F. Müller, 1776)	8'694	149'045	330'635	591'132	35'908	5'067	0	61'031	955	0
	<i>Bosmina</i> (<i>Eubosmina</i>) <i>longispina</i> Leydig, 1860	0	66'242	5'750	0	24'522	0	0	0	0	1'194
	<i>Bosmina</i> sp.	669	12'739	94'878	0	132'245	0	591'132	49'218	30'573	0
Leptodoridae	<i>Leptodora kindtii</i> (Focke, 1844)	0	0	0	0	48	104	24	24	0	64
Polyphemidae	<i>Bythotrephes longimanus</i> Leydig, 1860	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cladocères juv.		5'350	98'089	224'257	50'037	15'764	1'013	3'747	52'171	0	7'166
Copépodes											
Cyclopoïdes		28'758	115'924	828'025	75'637	83'201	197'597	128'325	111'233	111'783	199'443
Calanoïdes	<i>Eudiaptomus gracilis</i> (Sars, 1863)	16'720	17'834	169'630	126'837	51'672	136'798	156'426	183'092	87'898	25'080
Larves Nauplii		1'338	7'643	8'625	0	876	0	0	0	0	7'166
Rotifères (> 200 µm)											
	<i>Asplanchna</i> sp.	0	0	2'875	4'655	1'752	20'266	110'528	214'592	80'255	4'777
	<i>Keratella</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Brachionus</i> sp.	96'975	6'369	5'750	0	876	0	2'810	1'969	1'911	0
	<i>Kellicottia</i> sp.	0	0	2'875	0	876	0	937	0	955	7'166
Diptères											
Chaoboridae	<i>Chaoborus flavicans</i> (Meigen, 1830)	0	0	0	16	231	454	56	72	8	0
Mollusques											
Larves véligères	<i>Dreissena polymorpha</i> (Pallas, 1771)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0