

ÉVOLUTION DU ZOOPLANKTON DU LÉMAN

CHANGES IN THE ZOOPLANKTON OF LAKE GENEVA

Campagne 2003

PAR

Gérard BALVAY, Leslie LAINE et Orlane ANNEVILLE

STATION D'HYDROBIOLOGIE LACUSTRE (INRA-UMR/CARRETEL), BP 511, FR - 74203 THONON-LES-BAINS Cedex

RÉSUMÉ

*L'étude du zooplancton n'a pas pu être effectuée complètement en 2003, l'abondance du phytoplancton ayant rendu impossible l'examen des échantillons en novembre et décembre. Le biovolume sédimenté du zooplancton pourrait avoir augmenté en 2003. L'abondance de la population de *Cyclops vicinus* reste faible, les Bosminidés sont en très forte régression et les Daphniidés sont peu abondants au printemps. Le fonctionnement saisonnier du réseau trophique en 2003 est encore perturbé par les importants développements d'algues filamenteuses et de diatomées coloniales, difficilement ingérables par le zooplancton herbivore; la simultanéité entre le développement des daphnies, l'augmentation de la transparence et le minimum printanier du nanophytoplancton, n'apparaît nettement et brièvement que le 12 mai 2003.*

ABSTRACT

*It was not possible to carry out an exhaustive study of the zooplankton in 2003, because the abundance of phytoplankton made it impossible to examine the samples in November and December. The settled biovolume of the zooplankton may have increased in 2003. The abundance of the population of *Cyclops vicinus* remained low, the bosminids decreased very markedly, and the daphnids were in short supply in the spring. In 2003, the seasonal pattern of the trophic network was still upset by major developments of filamentous algae and colonial diatoms, which are difficult for the zooplankton to ingest; the simultaneous occurrence of daphnid development, increased transparency and the springtime minimum of nanophytoplankton, was clearly visible only briefly on 12 May 2003.*

1. INTRODUCTION

Le zooplancton d'eau douce est composé principalement des rotifères et des microcrustacés, auxquels il convient d'adjoindre les protozoaires (protozooplancton), non étudiés dans ce document, et durant la saison chaude les larves nageuses (larves véligères) de la moule zébrée d'eau douce *Dreissena polymorpha*. Grâce à la diversité des tailles de ces organismes et de leur mode d'alimentation, le zooplancton joue un rôle fondamental dans le fonctionnement du réseau trophique lacustre et les transferts d'énergie, 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.

L'étude du zooplancton à la station centrale SHL2 en 2003 a bénéficié des mêmes procédures que les années précédentes. Parmi les 20 prélèvements biologiques effectués, le biovolume sédimenté n'a pu être effectué que sur 16 d'entre eux et les dénombrements du zooplancton sur 17, en raison de l'abondance du phytoplancton et surtout des algues filamenteuses ayant modifié les caractéristiques de filtration du filet à zooplancton, rendant la détermination volumétrique du zooplancton sédimenté et les dénombrements très difficiles, voire impossibles, et surtout très peu fiables (BALVAY, 2002).

Il en résulte dans ce document que les différentes valeurs (moyennes annuelles, abondances maximales, etc...) doivent être considérées comme des valeurs approchées en raison de l'impossibilité de traiter les échantillons de novembre et décembre 2003.

2. MÉTHODOLOGIE

Le zooplancton (microcrustacés et grands rotifères) est recueilli au centre du Grand Lac (station SHL2) avec un filet à vide de maille de 0.20 mm lors de traits verticaux effectués depuis 50 mètres de profondeur jusqu'en surface.

Chaque échantillon de zooplancton, fixé au formol à 5 %, est mis à décanter durant 24 heures dans des entonnoirs cylindro-coniques gradués, à l'abri des vibrations, afin de mesurer le biovolume sédimenté.

L'éventuel volume de phytoplancton déposé au-dessus du zooplancton n'est pas pris en compte.

Les microcrustacés sont identifiés et décomptés en fonction de leurs stades de développement au microscope standard sur lame de comptage à partir d'un sous-échantillon. En raison de leur grande taille et de leur faible abondance par rapport aux autres crustacés planctoniques, les cladocères prédateurs (*Bythotrephes*, *Leptodora*) sont dénombrés dans l'intégralité du prélèvement.

3. STRUCTURE ET DYNAMIQUE DE LA BIOCÉNOSE ZOOPLANCTONIQUE

La liste des organismes rencontrés en 2003 dans le domaine pélagique est présentée dans l'annexe 1. A cette liste sont ajoutées les espèces littorales observées lors de prélèvements occasionnels.

3.1 Microcrustacés

Le zooplancton pélagique ne représente qu'une fraction des microcrustacés présents dans le Léman, la faune littorale étant nettement plus diversifiée en raison de la localisation préférentielle dans cette zone des Chydoridés et de diverses espèces de Daphniidés (BALVAY, 1999).

Comme durant les années précédentes (sauf en 1997), les Calanoïdes (*Eudiaptomus gracilis*) constituent le groupe le plus important du zooplancton avec 59 % du peuplement, devant les Cyclopoïdes (26 %) et les Branchiopodes Cladocères (15 %) (figure 1).

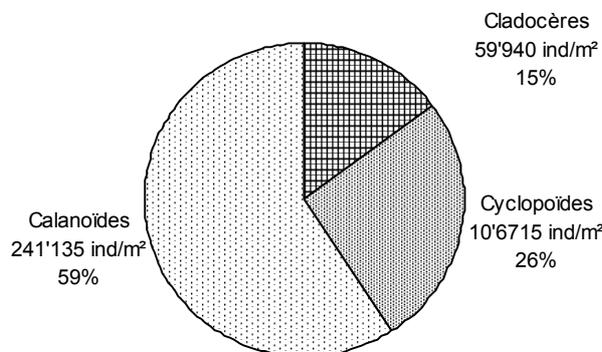


Figure 1 : Composition moyenne annuelle du zooplancton en 2003 (Léman, SHL2)

Figure 1 : Mean annual composition of zooplankton in 2003 (Lake Geneva, SHL2)

L'abondance moyenne annuelle des microcrustacés avait diminué en 2002 en relation avec une diminution générale des Calanoïdes et des Cyclopoïdes, les Branchiopodes progressant un peu. En 2003, le peuplement zooplanctonique montre une légère progression due aux Calanoïdes et aux Cyclopoïdes, malgré la régression des Branchiopodes (tableau 1).

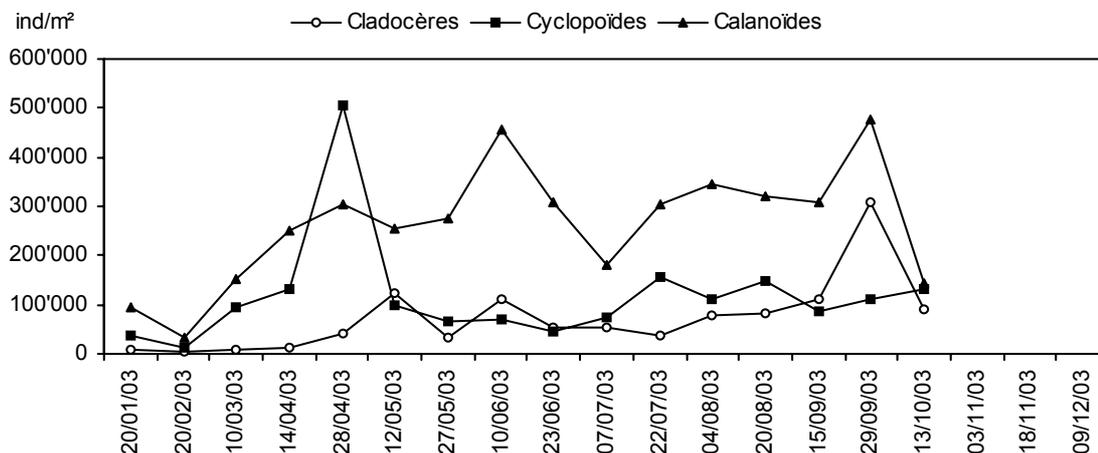


Figure 2 : Evolution du peuplement crustacéen (courbes cumulées) (Léman, SHL2)

Figure 2 : Changes in the abundance of Crustacea (cumulative curves) (Lake Geneva, SHL2)

Tableau 1: Evolution de l'abondance des groupes de microcrustacés (Léman, SHL2)

Table 1: Long-term changes in the abundance of some microcrustacean groups (lake Geneva, SHL2)

ind/m ²	1997	1998	1999	* 2000	** 2001	2002	* 2003
Moyenne (ind/m ²)							
Microcrustacés	390'100	410'000	414'300	* 609'500		374'800	* 407'800
Branchiopodes	79'800	84'300	149'000	67'700		81'300	* 59'900
Cyclopoïdes	164'800	132'200	116'800	199'300		81'200	* 106'700
Calanoïdes	145'500	193'500	148'500	342'500		212'200	* 241'100
Maximum (ind/m ²) - (date)							
Microcrustacés	2'554'900 (21/05)	1'024'100 (06/05)	1'083'400 (10/05)	1'813'100 (23/05)		957'000 (15/05)	895'500 (29/09)
Branchiopodes	799'000 (21/05)	509'700 (06/05)	657'100 (10/05)	314'000 (23/05)		437'200 (29/05)	306'400 (29/09)
Cyclopoïdes	1'002'200 (21/05)	348'300 (20/04)	391'800 (26/04)	1'270'100 (09/05)		183'600 (17/04)	503'700 (28/04)
Calanoïdes	753'800 (21/05)	413'600 (02/11)	600'100 (13/12)	680'600 (23/05)		456'400 (12/06)	477'200 (29/09)

* année incomplète ** année avec données non disponibles

Il faut remarquer l'apparition tardive des pics d'abondance maximale des Branchiopodes et des Calanoïdes en automne, et qui pourrait être due aux fortes températures estivales. Ce facteur thermique, très élevé en été, aurait nui au développement des daphnies, celles-ci ne se développant qu'en septembre à la suite du refroidissement des eaux (figure 2)

L'abondance des organismes zooplanctoniques montre un peuplement accru les 28 avril (851'400 ind/m², essor des Cyclopoïdes), 10 juin (637'700 ind/m², Calanoïdes dominants) et 29 septembre (859'400 ind/m², Cladocères dominants).

L'essor des Cyclopoïdes et des Calanoïdes au printemps va de pair avec l'augmentation des concentrations en NH₄⁺ dans les strates superficielles observée par LAZZAROTTO et al. (2004).

3.1.1 Branchiopodes (Cladocères)

Ce groupe renferme des organismes herbivores, Daphniidés et Bosminidés ainsi que des prédateurs de grande taille (*Leptodora kindtii* et *Bythotrephes longimanus*).

Les daphnies représentent la composante principale des Branchiopodes (53'500 ind/m²). Les Bosminidés montrent une très importante régression par rapport aux années antérieures, présentant toujours des variations annuelles extrêmement importantes (tableau 2 et figure 3). Le développement des Bosminidés paraît présenter un cycle d'abondance pluri-annuel.

Le pic de printemps des daphnies en 2003 (116'600 ind/m² le 15 mai) est comparable à celui de 2002, mais c'est en septembre que se situe l'abondance maximale de ces cladocères, deux fois plus importante et plus tardive qu'en 2002 (19 août).

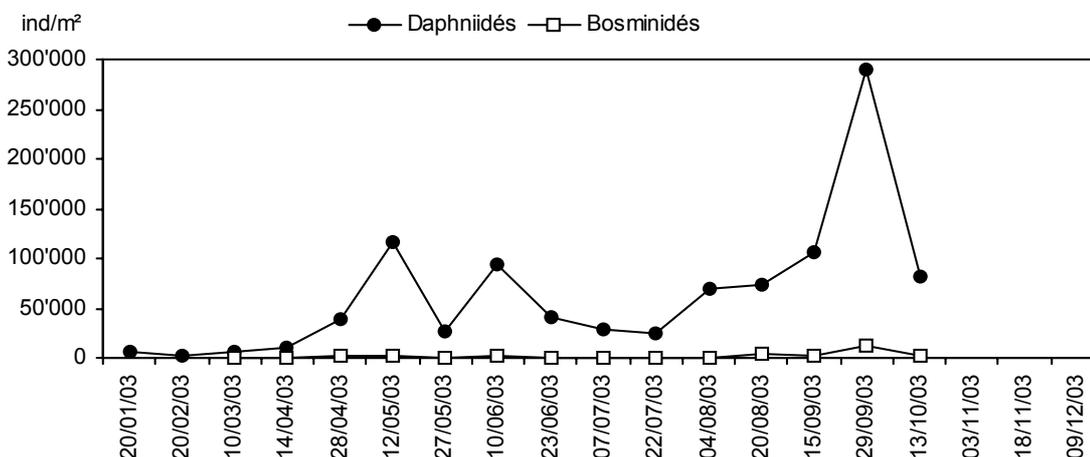


Figure 3 : Evolution de l'abondance des Branchiopodes herbivores (Léman, SHL2)

Figure 3 : Changes in the abundance of herbivorous Branchiopoda (Lake Geneva, SHL2)

Tableau 2 : Evolution de l'abondance des Branchiopodes herbivores (Léman, SHL2)

Table 2 : Long-term changes in the abundance of herbivorous Branchiopoda (Lake Geneva, SHL2)

	1997	1998	1999	* 2000	** 2001	2002	* 2003
Herbivores (ind/m²)							
Moyenne	77'000	80'800	142'900	* 62'000		76'500	55'100
Maximum (date)	797'900 (21/05)	507'300 (06/05)	656'400 (10/05)	307'600 (23/05)		426'000 (29/05)	301'800 (29/09)
Daphnies (ind/m²)							
Moyenne	50'700	75'200	81'000	61'800		34'600	53'500
Maximum (date)	474'600 (21/05)	483'500 (06/05)	304'400 (18/10)	307'100 (23/05)		142'400 (19/08)	290'000 (29/09)
Bosmines (ind/m²)							
Moyenne	26'300	5'600	64'600	200		41'900	1'600
Maximum (date)	323'300 (21/05)	23'800 (06/05)	538'000 (10/05)	1'900 (12/10)		330'500 (29/05)	11'700 (29/09)

* année incomplète ** année avec données non disponibles

La population réduite des Branchiopodes herbivores n'a pas pu limiter l'abondance printanière du phytoplancton mais les daphnies se sont avérées efficaces en fin d'été en contrôlant l'abondance du microphytoplancton.

La réduction progressive d'abondance des daphnies entre 1996 et 2003 confortait les observations de GERDEAUX (2003) sur la diminution de la participation de ces branchiopodes dans le régime alimentaire du corégone du Léman. Cependant en 2003, malgré une augmentation d'abondance des daphnies, celles-ci ne participent pratiquement pas à l'alimentation des corégones, sauf en septembre-octobre où elles se substituent à *Bythotrephes* (GERDEAUX 2004)

Toujours moins abondants que les cladocères herbivores, les Cladocères prédateurs *Leptodora kindtii* et *Bythotrephes longimanus* présentent en moyenne annuelle des effectifs comparables à ceux des années antérieures (tableau 3).

Leptodora kindtii est une espèce saisonnière à *preferendum* estival, qui apparaît dès avril 2003 ; elle développe une très importante population de juin à août (maximum : 21'700 ind/m² le 7 juillet) puis régresse progressivement jusqu'à disparaître à l'approche de l'hiver (figure 4).

Bythotrephes longimanus est pratiquement présent tout au long de l'année; c'est une espèce pérenne à développement marqué en période de stratification thermique. Son abondance maximale atteint 5'300 ind/m² le 10 juin. Cette espèce est cependant moins abondante et présente des fluctuations saisonnières moins importantes que *L. kindtii* (figure 4). Le développement saisonnier important de ces deux prédateurs limite l'abondance des daphnies durant la saison estivale.

Tableau 3 : Evolution de l'abondance des Branchiopodes carnivores (Léman, SHL2)

Table 3 : Seasonal changes in the abundance of carnivorous Branchiopoda (Lake Geneva, SHL2)

	1997	1998	1999	* 2000	** 2001	2002	* 2003
Bythotrephes (ind/m²)							
Moyenne	1'000	1'100	800	* 900		970	940
Maximum (date)	5'100 (25/06)	5'600 (02/06)	6'100 (16/06)	4'100 (13/06)		7'000 (29/05)	* 5'300 (10/06)
Leptodora (ind/m²)							
Moyenne	1'800	2'400	2'600	* 4'800		3'900	* 3'900
Maximum (date)	12'200 (19/08)	26'900 (20/07)	17'300 (23/08)	31'900 (08/08)		24'100 (08/07)	21'700 (07/07)

* année incomplète ** année avec données non disponibles

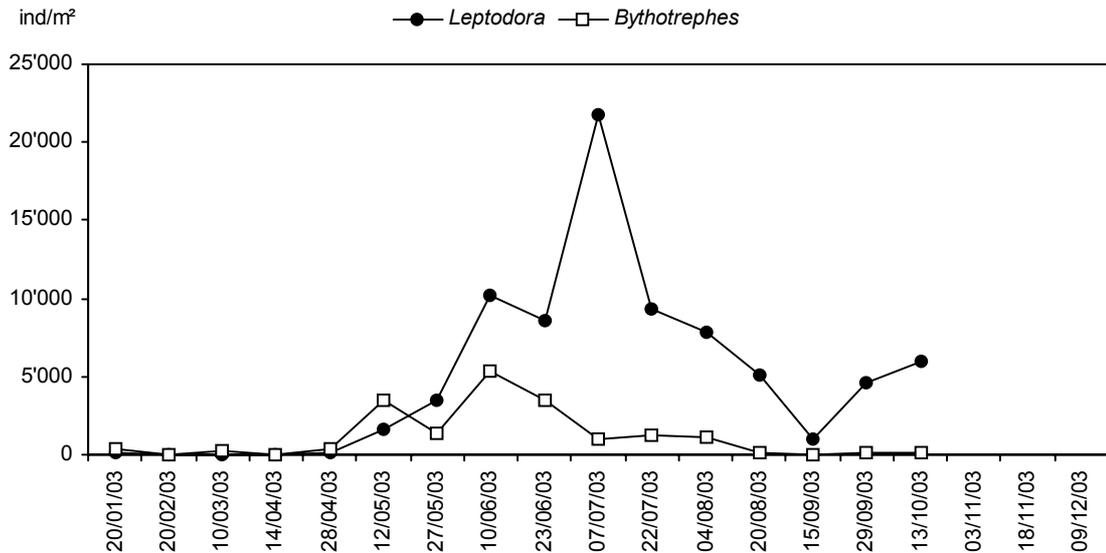


Figure 4 : Evolution saisonnière des branchiopodes prédateurs (Léman, SHL2)

Figure 4 : Seasonal changes in predatory Branchiopoda (Lake Geneva, SHL2)

Les crustacés prédateurs de grande taille, surtout *Bythotrephes*, constituent une part importante de l'alimentation des corégones mais leur importance relative dans les estomacs de ces poissons ne reflète pas toujours leur abondance dans les prélèvements effectués avec un filet à zooplancton. Plusieurs causes peuvent être invoquées : migration des crustacés au delà de 50 m de profondeur, zone non explorée par le filet, évitement du filet par ces organismes excellents nageurs.

Le rôle de *Leptodora* dans l'alimentation des corégones a nettement diminué de 1999 à 2003, sauf en septembre-octobre de cette dernière année. *Bythotrephes* constitue la fraction très nettement dominante du régime alimentaire des corégones de 1999 à 2002. La participation de *Bythotrephes* est encore plus importante dans les contenus stomacaux en 2003 alors que ce crustacé est peu fréquent dans les échantillons de zooplancton à partir de juillet (GERDEAUX, 2004). La capture préférentielle de ce grand branchiopode par les poissons résulte soit d'un choix actif, soit d'un recouvrement des localisations spatiales des prédateurs et de leurs proies à certaines périodes comme on peut le voir par exemple de janvier à août 2003.

3.1.2 Calanoïdes

Eudiaptomus gracilis est une composante permanente du zooplancton crustacéen, avec deux pics d'abondance, au printemps (457'600 ind/m²) et en fin d'automne (477'200 ind/m²) consécutifs à des phases de reproduction intense (figure 5). Cette population qui avait fortement progressé en 2000 et décliné en 2002, améliore légèrement ses effectifs en 2003, retrouvant des effectifs supérieurs à ceux observés avant 2000 (tableau 4). A la différence des daphnies, on ne peut cependant pas parler d'une dérive de l'abondance maximale en septembre car cette dernière est finalement du même ordre de grandeur que celle enregistrée le 10 juin à la fin du printemps.

Tableau 4 : Evolution de l'abondance des Calanoïdes (Léman, SHL2)

Table 4 : Seasonal changes in the abundance of Calanoid cepopoda (Lake Geneva, SHL2)

Calanoïdes (ind/m ²)	1997	1998	1999	* 2000	** 2001	2002	* 2003
Moyenne	145'500	193'500	148'500	* 342'500		212'200	241'100
Maximum (date)	753'800 (21/05)	413'600 (02/11)	600'100 (13/12)	680'600 (23/05)		456'400 (12/06)	477'200 (29/09)

* année incomplète ** année avec données non disponibles

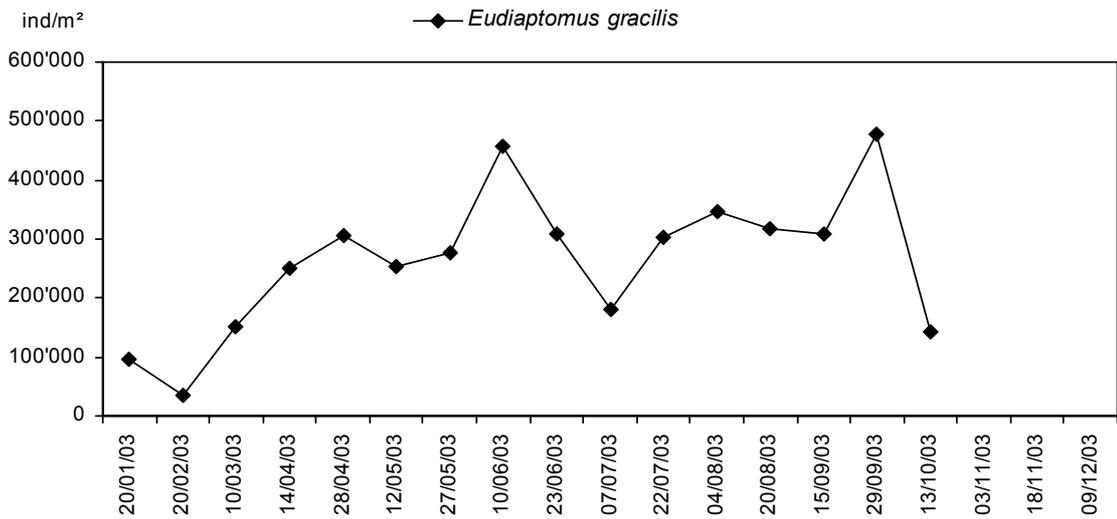


Figure 5 : Evolution saisonnière d'*Eudiaptomus gracilis* en 2003 (Léman, SHL2)

Figure 5 : Seasonal changes in the abundance of *Eudiaptomus gracilis* in 2003 (Lake Geneva, SHL2)

3.1.3 Cyclopoïdes

Les Cyclopoïdes sont essentiellement représentés par le genre *Cyclops*. L'ensemble *C. prealpinus* + *Cyclops* spp. est dominant par rapport à *C. vicinus* (figure 6). Les autres espèces n'ont été observées qu'en zone littorale. L'important essor de *C. prealpinus* au printemps est consécutif à une intense période de reproduction, alors qu'à cette période la levée de la diapause des copépodites IV de *C. vicinus* leur permet de coloniser le domaine pélagique.

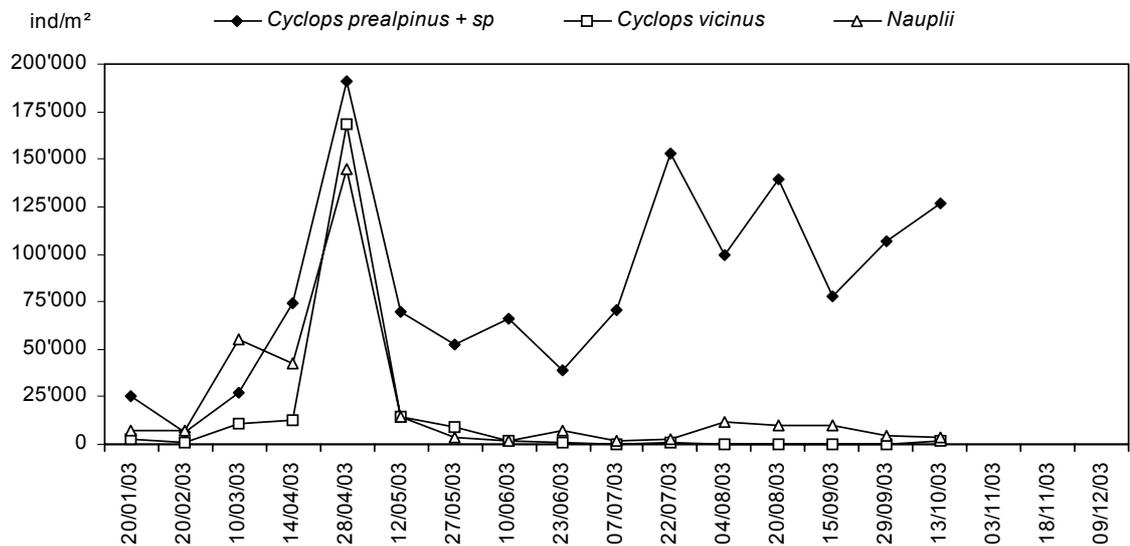


Figure 6 : Evolution saisonnière des Cyclopoïdes en 2003 (Léman, SHL2)

Figure 6 : Seasonal changes in the abundance of Cyclopoïda in 2003 (Lake Geneva, SHL2)

En 2003, la population des *nauplii* représente 21'200 ind/m². Ces individus n'ont pas été rattachés à une espèce particulière; il semblerait logique de les rattacher préférentiellement à l'ensemble (*Cyclops prealpinus* + *Cyclops* spp.) en raison de la rareté de *C. vicinus* dans les prélèvements. Cependant un tel rattachement n'a toutefois pas été effectué.

Les Cyclopoïdes sont en augmentation par rapport à l'année précédente, tant en moyenne annuelle qu'en abondance maximale (tableau 5).

Tableau 5 : Evolution de l'abondance des Cyclopoïdes (Léman, SHL2)

Table 5 : Seasonal changes in the abundance of Cyclopoïda (Lake Geneva, SHL2)

(ind/m ²)	1997	1998	1999	* 2000	** 2001	2002	* 2003
Cyclopoïdes							
Moyenne	164'800	132'200	116'800	* 199'300		81'200	106'700
Maximum	1'002'200	348'300	391'800	1'270'100		183'600	503'700
(date)	(21/05)	(20/04)	(26/04)	(09/05)		(17/04)	(28/04)
<i>Cyclops vicinus</i>							
Moyenne	96'400	14'600	10'500	120'600		8'800	12'000
Maximum	952'500	103'000	102'900	1'088'000		71'500	168'000
(date)	(21/05)	(06/05)	(26/04)	(09/05)		(17/04)	(28/04)
<i>C. prealpinus + sp.</i>							
Moyenne	19'300	79'300	72'900	36'500		55'700	73'600
Maximum	76'700	290'700	219'400	64'400		117'400	191'200
(date)	(23/04)	(02/11)	(26/04)	(09/05)		(29/05)	(28/04)
Autres Cyclopoïdes							
Moyenne	9'800	300	80	600		40	0
Maximum	171'400	1'600	430	7'400		500	0
(date)	(28/10)	(29/09)	(25/05)	(23/08)		(05/03)	
<i>Nauplii</i>							
Moyenne	39'200	38'000	33'300	41'700		16'700	21'200
Maximum	294'700	154'000	132'300	178'200		74'800	144'400
(date)	(09/04)	(20/04)	(24/03)	(10/04)		(05/03)	(28/04)

* année incomplète ** année avec données non disponibles

3.2 Aperçu sur quelques rotifères

Quelques taxons de rotifères ont été dénombrés dans les prélèvements de zooplancton où ils sont en général plus abondants que dans le filet à phytoplancton (BALVAY et al., 2001). Ce sont des espèces coloniales (*Conochilus unicornis*) ou des individus de grande taille, pérennes (*Asplanchna priodonta*, *Kellicottia longispina*) ou saisonniers (*Notholca caudata*).

Tableau 6 : Evolution de l'abondance des Rotifères (Léman, SHL2)

Table 6 : Seasonal changes in the abundance of Rotifera (Lake Geneva, SHL2)

ind/m ²		1996	1997	1998	1999	* 2000	** 2001	2002	* 2003
<i>Asplanchna priodonta</i>	Moy	31'800	9'600	27'400	17'400	15'900		15'700	25'200
	Max.	291'900	84'300	170'500	304'200	52'000		82'500	114'300
	date	06/05	21/05	20/04	02/08	17/07		30/04	12/05
<i>Kellicottia longispina</i>	Moy.	42'200	600	75'500	30'100	17'200		35'200	75'900
	Max.	382'600	5'200	369'600	187'900	145'800		322'500	651'100
	date	19/08	15/01	20/05	19/07	25/07		12/06	10/06
<i>Conochilus unicornis</i>	Moy.	500	0	18'400	600	120'700		89'900	149'400
	Max.	6'400		185'100	7'100	1'101'400		1'041'600	1'945'600
	date	18/03		04/08	05/10	12/10		10/09	07/07
<i>Notholca caudata</i>	Moy.	300	5'700	2'500	80	25		4'500	1'320
	Max.	2'600	27'400	20'900	1'100	430		50'000	17'900
	date	06/05	08/12	02/06	26/04	10/04		18/03	28/04

* année incomplète ** année avec données non disponibles

L'abondance moyenne en 2003 varie fortement selon les espèces (tableau 6), avec une succession des pics saisonniers de *N. caudata*, espèce sténotherme d'eau froide (KOSTE, 1978) avec 18'000 ind/m² le 28 avril, *A. priodonta* (114'300 ind/m² le 12 mai), *K. longispina* (651'100 ind/m² le 10 juin) et *C. unicornis* (1'945'600 ind/m² le 7 juillet) (figure 7).

L'évolution interannuelle de l'abondance et des maxima des différentes espèces est également très variable, vraisemblablement en rapport avec les ressources nutritives de ces rotifères, la prédation exercée à leur rencontre par les crustacés carnivores et les alevins de poissons. Seule une analyse ultérieure pourrait permettre d'explicitier ces variations.

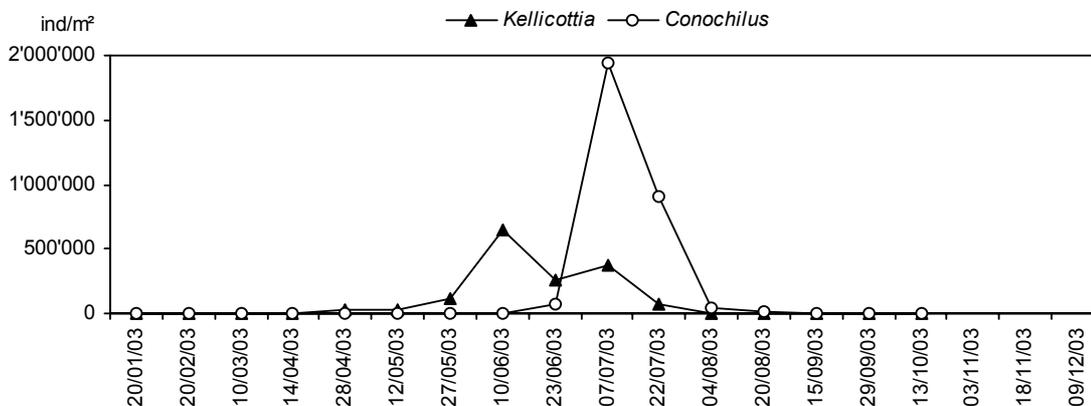


Figure 7 : Evolution saisonnière de quelques rotifères (Léman, SHL2)

Figure 7 : Seasonal changes in some Rotifera (Lake Geneva, SHL2)

3.3 Autres groupes planctoniques

Les larves véligères de la moule zébrée d'eau douce *Dreissena polymorpha* sont observées généralement de juin à octobre dans les prélèvements. A l'exception de l'année 2000, leur abondance est du même ordre de grandeur que les années précédentes (tableau 7) ; la colonisation maximale du domaine pélagique par cette espèce a été observée en juillet 2003 (figure 8).

Tableau 7 : Evolution de l'abondance des larves planctoniques de *Dreissena polymorpha* (Léman, SHL2)

Table 7 : Seasonal changes in the abundance of the planktonic larvae of the zebra mussel *Dreissena polymorpha* (Lake Geneva, SHL2)

<i>Dreissena</i> (ind/m ²)	1997	1998	1999	* 2000	** 2001	2002	* 2003
Moyenne annuelle	3'900	2'900	1'600	19'200		2'600	1'600
Maximum	59'700	22'400	22'000	225'100		19'700	16'100
(date)	(04/08)	(04/08)	(02/08)	(17/07)		(19/08)	(22/07)

* année incomplète ** année avec données non disponibles

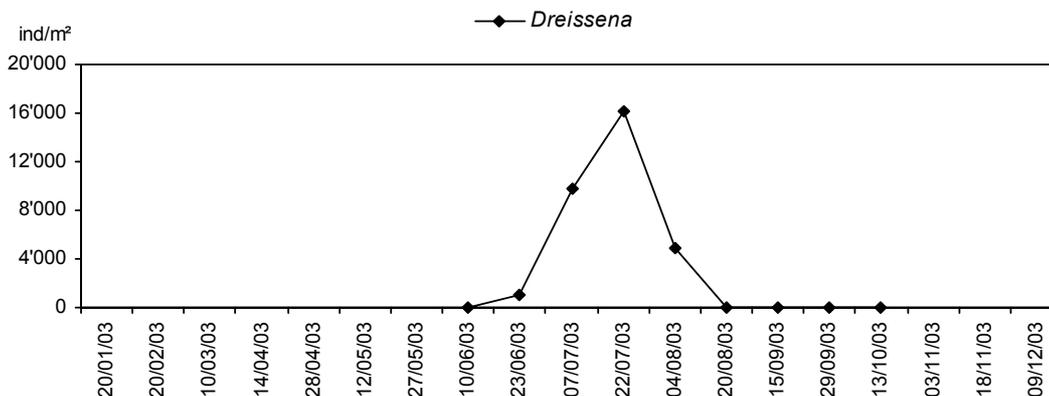


Figure 8 : Evolution saisonnière de *Dreissena polymorpha* en 2003 (Léman, SHL2)

Figure 8 : Seasonal changes in the abundance of the zebra mussel in 2003 (Lake Geneva, SHL2)

4. BIOVOLUME SÉDIMENTÉ

4.1 Variations saisonnières

Le cycle d'abondance du biovolume sédimenté du zooplancton en 2003 montre toujours des variations saisonnières importantes, de 7.3 ml/m² (20 février) à 322 ml/m² (7 juillet) (figure 9). Deux phases d'abondance apparaissent, en été (322 ml/m² le 7 juillet) et en automne (239 ml/m² le 29 septembre).

Le biovolume sédimenté ne présente pas de maximum printanier net bien que les dénombrements indiquent une abondance saisonnière maximale du zooplancton le 28 avril 2003 qui est composé de stades de petite taille (50 % de *nauplii* et copépodites 1 à 3). Il faut également noter que le zooplancton composé majoritairement de Cyclopoïdes, les Daphnies étant peu nombreuses, n'a pas eu de répercussion sur la transparence des eaux à cette date.

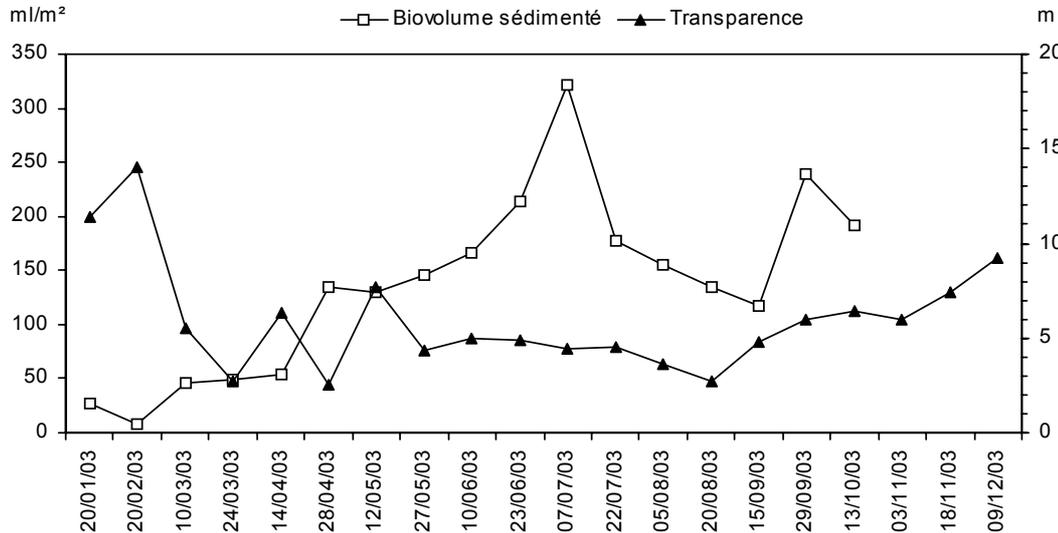


Figure 9 : Evolution du biovolume sédimenté et de la transparence des eaux en 2003 (Léman, SHL2)

Figure 9 : Changes in the settled biovolume and Secchi disk transparency values during 2003 (Lake Geneva, SHL2)

Classiquement, l'accroissement de la population des grands branchiopodes herbivores (daphnies) entraîne une consommation accrue du phytoplancton et par conséquent une augmentation importante de la transparence des eaux. La phase des eaux claires qui s'amorçait le 14 avril, a été interrompue le 28 avril en raison de l'abondance du nanophytoplancton (DRUART et al., 2004). Ce n'est que le 12 mai que la transparence augmente nettement, avec la diminution de la biomasse phytoplanctonique mesurée (DRUART et al., 2004) en relation avec un accroissement, toutefois limité, des daphnies (figure 3).

4.2 Evolution à long terme

Le maximum absolu du biovolume sédimenté a été observé en 1981 lorsque le Léman était à la fin de sa phase d'eutrophie maximale (figure 10). A partir de 1982, une tendance globale à la diminution est apparue, interrompue de temps à autre par des phases d'accroissement passager de ce biovolume. En 1997, le biovolume sédimenté moyen est de 115 ml/m², en diminution par rapport à celui de 1996 (137 ml/m²) ; il passe à 132 ml/m² en 1998 et revient à 118 ml/m² en 1999. En 2000, le biovolume approché (calculé en l'absence des valeurs de novembre et décembre) est proche de 139 ml/m², surestimé en l'absence des faibles valeurs de la fin de l'année. En 2002, le biovolume sédimenté moyen (91.6 ml/m²) était en nette diminution, mais semble remonter légèrement en 2003. La valeur pour 2003 (moyenne de janvier à octobre : 119.4 ml/m² en 2003 au lieu de 96.7 ml/m² en 2002 durant la même période) est approchée, et certainement surestimée dans la mesure où il a été impossible de quantifier le biovolume sédimenté en novembre et décembre.

4.3 Relation phosphore total - zooplancton

Nous avons tenté de continuer la relation entre l'abondance du biovolume sédimenté du zooplancton et les variations de la teneur moyenne annuelle des eaux en phosphore total (µgP/L) (figure 10). Rappelons que les variations simultanées de ces deux paramètres ont montré un parallélisme important jusqu'en 1995 ($r = 0.76$; $N = 39$) (BALVAY, 2000). La tendance au maintien du biovolume sédimenté qui avait été observée de 1996 à 2000 en dépit de la diminution des teneurs en P total, a cessé en 2002, l'évolution du biovolume sédimenté retrouvant en 2002 la tendance générale observée jusqu'en 1995 avec des variations parallèles des teneurs en phosphore et du zooplancton sédimenté. En 2003, on constate une augmentation du biovolume sédimenté malgré la baisse de la teneur en P total ; on peut cependant envisager la présence d'un artéfact lié à l'absence des mesures du biovolume en novembre et décembre. La nouvelle corrélation établie de 1959 à 2003 ($r = 0.77$; $N = 45$) est restée pratiquement identique à la précédente.

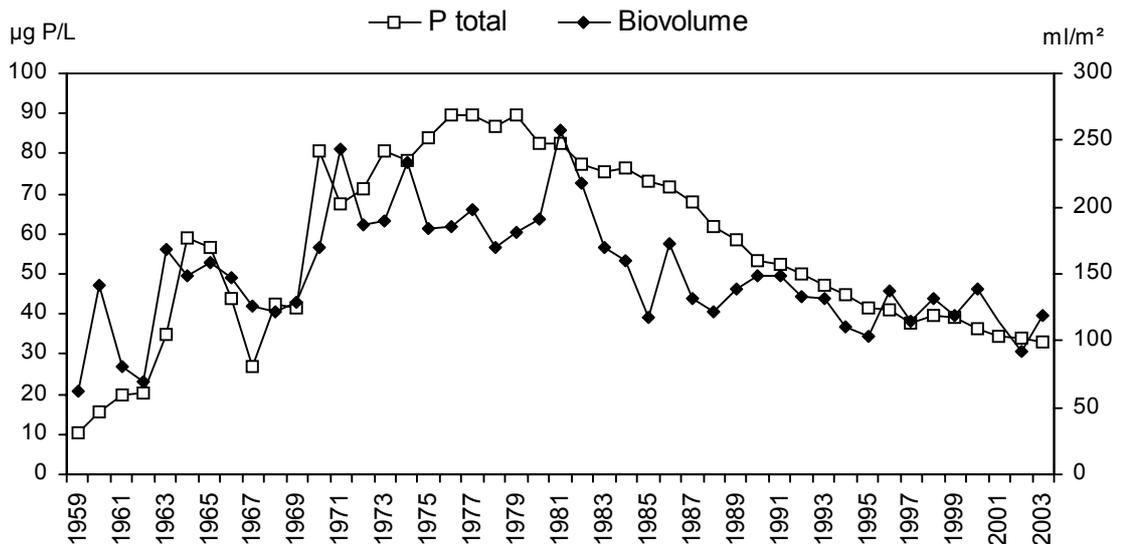


Figure 10 : Evolution des moyennes annuelles en P total et de l'abondance du zooplancton sédimenté (Léman, SHL2)

Figure 10 : Changes in the annual means of total P and the abundance of the settled zooplankton (Lake Geneva, SHL2)

5. COMPARAISON DES ANNÉES 2002-2003

2002	2003
Diminution du zooplancton sédimenté.	Augmentation probable, mais non vérifiable, du biovolume sédimenté.
Deux périodes d'abondance saisonnière des daphnies, au printemps et en été.	Augmentation de l'abondance maximale et dérive des daphnies en septembre (effet des températures estivales trop élevées ?).
Diminution de l'abondance des Branchiopodes et des Cyclopoïdes par rapport aux années précédentes.	Poursuite de la diminution des Branchiopodes, mais augmentation des Cyclopoïdes.
Population réduite des Branchiopodes au printemps, d'où la moindre concentration en NH ₄ observée par LAZZAROTTO et al. (2003) dans les strates superficielles à cette époque.	Dès la mi-avril, essor printanier des Cyclopoïdes et des Calanoïdes et augmentation contemporaine des teneurs en azote ammoniacal (LAZZAROTTO et al., 2004).
Chute drastique de l'abondance de <i>Cyclops vicinus</i> .	Malgré une nette augmentation du maximum saisonnier, les effectifs de <i>C. vicinus</i> restent très faibles.
Essor des Bosminidés après leur déclin observé en 2000, globalement plus nombreux que les Daphniidés durant le premier semestre.	Très importante régression des Bosminidés dont la population peu abondante se limite au printemps et surtout à la fin de l'été.
Dominance des Calanoïdes dont les effectifs, en diminution par rapport à 2000, retrouvent des abondances comparables à celles antérieures à l'année 2000.	Cycle saisonnier et abondance d' <i>Eudiaptomus gracilis</i> comparables à ceux de 2002.
Excellente simultanité entre l'apparition de la phase des eaux claires, le développement printanier des branchiopodes herbivores et l'abondance réduite du nanophytoplancton.	La simultanité entre le développement des daphnies, l'augmentation de la transparence et l'abondance minimale printanière du nanophytoplancton, n'apparaît nettement que le 12 mai 2003.

6. CONCLUSIONS

Depuis plusieurs années, le fonctionnement du réseau trophique a été souvent perturbé par les importants développements d'algues filamenteuses et de diatomées coloniales, difficilement ingérables par le zooplancton herbivore, phénomène qui est encore apparu en 2003, en particulier durant le dernier trimestre.

Dans ses grandes lignes, l'année 2003 est comparable à 2002, sauf en ce qui concerne une possible augmentation du biovolume sédimenté du zooplancton, la très forte régression des Bosminidés, la faible corrélation des différents facteurs intervenant lors de la phase des eaux claires.

BIBLIOGRAPHIE

- BALVAY, G. (1999) : Que sont devenus les rotifères et les entomostracés du Léman depuis l'époque de F.-A. Forel ? In : BERTOLA, C., GOUMAND, C. et RUBIN, J.F. Découvrir le Léman 100 ans après François-Alphonse Forel, Slatkine (éd.), Genève, 253-263.
- BALVAY, G. (2000) : Evolution du zooplancton du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 1999, 79-90.
- BALVAY, G. (2002) : Bref aperçu sur le zooplancton du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2001, 85-88.
- BALVAY, G., DRUART, J.C., LAZZAROTTO, J. et GUICHARD, V. (2001) : Suivi de la qualité des eaux du lac d'Annecy 2000. Rapport SILA (éd.) et INRA-Thonon n/ 201-2001, Fascicule 1, 89 p + annexes, fascicule 2, 130 p.
- DRUART, J.C., LÉBOULANGER, C. et ROLLAND, A. (2004) : Evolution du phytoplancton du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2003, 69-79.
- GERDEAUX, D. (2003) : Régime alimentaire des corégones du Léman en milieu pélagique. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2002, 99-105.
- GERDEAUX, D. (2004) : Régime alimentaire des corégones du Léman en milieu pélagique. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2003, 93-98.
- KOSTE, W., (1978) : Rotatoria. Die Rädertiere Mitteleuropas. Gebrüder Borntraeger (Ed.), Berlin. Tome 1, 673 pp., Tome 2, 472 pp.
- LAZZAROTTO, J., RAPIN, F. et CORVI, C. (2004) : Evolution physico-chimique et recherche de métaux et de quelques micropolluants dans les eaux du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2003, 31-58.

ANNEXE 1

**LISTE DES ORGANISMES RENCONTRÉS DANS LE LÉMAN (SHL2 et en zone littorale) EN 2003
LIST OF THE ZOOPLANKTON OBSERVED IN LAKE GENEVA (SHL2 and in the littoral zone) IN 2003**

<p>ROTIFÈRES</p> <p>Brachionidae <i>Keratella cochlearis</i> <i>K. cochlearis</i> var. <i>hispidus</i> <i>Keratella quadrata</i> <i>Keratella tecta</i> <i>Notholca caudata</i> <i>Kellicottia longispina</i></p> <p>Trichocercidae <i>Trichocerca rousseleti</i></p> <p>Gastropodidae <i>Ascomorpha ovalis</i></p> <p>Synchaetidae <i>Synchaeta lakowitziana</i> <i>Synchaeta oblonga</i> <i>Polyarthra dolichoptera</i> <i>Polyarthra vulgaris</i> <i>Ploesoma truncatum</i></p> <p>Asplanchnidae <i>Asplanchna priodonta</i></p> <p>Testudinellidae <i>Pompholyx sulcata</i></p> <p>Conochilidae <i>Conochilus unicornis</i></p> <p>Filiniidae <i>Filinia terminalis</i></p> <p>Collothecidae <i>Collotheca pelagica</i> <i>Collotheca</i> sp.</p> <p>Euchlanidae <i>Euchlanis dilatata</i> *</p> <p>Lecanidae <i>Lecane</i> sp. *</p> <p>MOLLUSQUES <i>Dreissena polymorpha</i></p> <p>CALANOÏDES <i>Eudiatomus gracilis</i></p>	<p>BRANCHIOPODES (ex CLADOCÈRES)</p> <p>Sididae <i>Sida cristallina</i> *</p> <p>Daphniidae <i>Daphnia galeata</i> <i>Daphnia hyalina</i> <i>D. hyalina</i> var. <i>pellucida</i> <i>D. hybridus</i> <i>Daphnia longispina</i> <i>Ceriodaphnia pulchella</i> * <i>Ceriodaphnia quadrangula</i> *</p> <p>Bosminidae <i>Bosmina longirostris</i> <i>Eubosmina longispina</i> <i>Eubosmina mixta</i></p> <p>Chydoridae <i>Alona rectangular</i> * <i>Alona quadrangularis</i> * <i>Acroperus harpae</i> * <i>Chydorus sphaericus</i> * <i>Eurycerus lamellatus</i> * <i>Pleuroxus denticulatus</i> *</p> <p>Polyphemidae <i>Polyphemus pediculus</i> * <i>Bythotrephes longimanus</i></p> <p>Macrothricidae <i>Macrothrix laticornis</i> * <i>Iliocryptus sordidus</i> *</p> <p>Leptodoridae <i>Leptodora kindtii</i></p> <p>CYCLOPOÏDES <i>Acanthocyclops viridis</i> <i>Cyclops prealpinus</i> <i>Cyclops vicinus</i> <i>Eucyclops serrulatus</i> * <i>Macrocyclops albidus</i> *</p> <p>* espèces recueillies uniquement en zone littorale</p>
--	---