

**Zeitschrift:** Archives des sciences et compte rendu des séances de la Société  
**Herausgeber:** Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève  
**Band:** 42 (1989)  
**Heft:** 2: Archives des Sciences

**Artikel:** Incidences des variations de l'état trophique sur les caractéristiques de la biocénose planctonique rotatorienne du lac Léman  
**Autor:** Balvay, Gérard / Laurent, Monique  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-740085>

### **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:** 08.03.2026

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

|                    |         |         |             |      |
|--------------------|---------|---------|-------------|------|
| Archs. Sci. Genève | Vol. 42 | Fasc. 2 | pp. 341-365 | 1989 |
|--------------------|---------|---------|-------------|------|

# INCIDENCES DES VARIATIONS DE L'ÉTAT TROPHIQUE SUR LES CARACTÉRISTIQUES DE LA BIOCÉNOSE PLANCTONIQUE ROTATORIENNE DU LAC LÉMAN

PAR

**Gérard BALVAY \* et Monique LAURENT \***

## RÉSUMÉ

L'élévation de l'état trophique du lac Léman jusqu'en 1979 et l'amélioration ultérieure de la qualité des eaux ont entraîné des modifications quantitatives importantes chez la plupart des espèces de rotifères, avec des changements plus ou moins marqués dans les cycles saisonniers. Toutes les espèces de rotifères appartenant à un même groupe d'indicateurs biologiques n'ont pas réagi de façon homogène à ces variations de l'état trophique. La communauté rotatorienne est dominée par les espèces mésotrophes (50% des individus) et eurytopes (35%), avec une abondance accrue des espèces oligo-mésotrophes durant la phase d'amélioration de la qualité des eaux.

## SUMMARY

*Impacts of trophic level changes in Lake Geneva on the characteristics of the planktonic rotifer biocenosis.*

The rising trophic level of Lake Geneva till 1979, and the subsequent improvement of the water quality have induced quantitative changes among most of the rotifer species, together with more or less decided alterations in their seasonal cycle. All the species belonging to a same trophy indicator group did not react in the same way along the trophic level changes. The rotifer community is dominated by the mesotrophy indicator group (50% of total ind.) and eurytopic species (35%), with an obvious increase of the share of oligo-mesotrophic species taking place during the improvement phase in Lake Geneva.

## 1. INTRODUCTION

Le lac Léman a subi depuis la fin des années 50 une eutrophisation accélérée causée par l'augmentation continue des apports d'origine exogène en éléments nutritifs et plus particulièrement en phosphore. La teneur moyenne des eaux en phosphore n'a cessé de croître constamment jusqu'en 1979, atteignant alors 0,089 mg

\* Institut de limnologie INRA, BP 511, 75, avenue de Corzent, 74203 Thonon-les-Bains Cedex (France).

$P_{\text{tot}}$ .l<sup>-1</sup>, dont 0,074 mg P.l<sup>-1</sup> pour les orthophosphates. L'intensification de l'élimination du phosphore dans les eaux résiduaires a entraîné, à partir de 1980, une régression de l'état trophique du lac, avec une diminution progressive des teneurs en  $P_{\text{tot}}$  et en orthophosphates qui en 1987 sont respectivement de 0,067 et 0,058 mg P.l<sup>-1</sup> (Blanc, Corvi & Rapin, 1988), valeurs voisines de celles observées en 1971.

L'eutrophisation croissante du Léman a engendré des modifications qualitatives et quantitatives de la biocénose pélagique: augmentation de l'abondance du phytoplancton et du zooplancton (Balvay 1984, Balvay & Pelletier 1988a), apparition et développement d'espèces nouvelles de rotifères (mésio-eutrophes en général) et régression ou disparition d'espèces oligo-mésotrophes (Balvay & Laurent 1989a, 1989b).

Les rotifères constituent un élément pérenne du zooplancton dont la composition et l'abondance varient constamment au cours des saisons. La biocénose rotatorienne du Léman renferme à la fois des espèces oligotrophes, mésotrophes (oligo-mésotrophes et méso-eutrophes) et eutrophes; cependant, la majorité des espèces appartient au groupe mésotrophe. Dans plusieurs cas et plus spécialement pour les espèces saisonnières, des changements ont été observés dans le déroulement du cycle biologique au cours de l'évolution de l'état trophique du Léman durant ces trente dernières années.

## 2. MÉTHODES

Pendant toute cette étude, les rotifères ont été collectés avec le même type de filet à plancton (vide de maille: 64  $\mu$ m) au cours de traits verticaux dans la couche 0-50 m. Les comptages ont été effectués après sédimentation d'une partie aliquote des échantillons dans des chambres d'Utermöhl. Ce type de prélèvement ne permet pas de prendre en compte la distribution verticale des rotifères, certaines espèces ayant une localisation particulière, comme *Filinia terminalis* qui vit dans l'hypolimnion (Ruttner-Kolisko 1980).

L'étude des rotifères a été scindée en quatre périodes consécutives: les trois premières périodes (1959 à 1966, 1967 à 1973, 1974 à 1980) correspondent à la phase d'eutrophisation croissante du Léman dont l'état trophique maximal a été atteint à la fin de la troisième période (CIPEL 1984). La quatrième période (1981 à 1987) correspond à la phase de stabilisation et même d'amélioration globale de la qualité des eaux (Balvay & Pelletier 1988b).

Les cycles saisonniers des principales espèces de rotifères sont présentés par ordre d'importance décroissante au niveau des genres, et dans chaque genre par ordre d'importance décroissante des espèces.

## 3. RÉSULTATS

La température constitue l'un des principaux facteurs contrôlant le développement des rotifères (Carlin 1943, Edmondson 1946, Nauwerk 1963, May 1983), les espèces pérennes tendant à être eurythermes. Les changements observés dans le déroulement des cycles saisonniers et dans l'importance relative des pics d'abondance dépendent de la tolérance écologique des espèces envers les facteurs agissants tels que la qualité des eaux (Berzins & Pejler 1987, Hofmann 1987, Ruttner-Kolisko 1980), les variations de l'état trophique (Johansson 1983, Karabin 1986), la quantité et la qualité de la nourriture disponible (Comita 1972, May 1980), les modifications des relations inter-spécifiques au niveau de la compétition alimentaire et de la prédation (Herzig 1987, Hewitt & George 1987, Pejler 1983, Stenson 1982, Threlkeld & Choinski 1987).

TABLEAU 1.

Composition spécifique et abondance moyenne inter-annuelle des rotifères du lac Léman.

| Genre               | ind.m <sup>-2</sup> | %       | espèces observées (abondance décroissante)                                                                                                                  |
|---------------------|---------------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Keratella</i>    | 418.100             | 43,0    | <i>cochlearis</i> , <i>quadrata</i> , <i>coch.</i> var. <i>hispida</i> ,<br><i>coch.</i> f. <i>tecta</i> , <i>testudo</i> .                                 |
| <i>Polyarthra</i>   | 208.800             | 21,5    | <i>vulgaris</i> , <i>dolichoptera</i> .                                                                                                                     |
| <i>Synchaeta</i>    | 118.000             | 12,1    | <i>oblonga</i> , <i>pectinata</i> , <i>lakowitziana</i> , <i>monopus</i> .                                                                                  |
| <i>Notholca</i>     | 55.200              | 5,7     | <i>caudata</i> , <i>foliacea</i> , <i>squamula</i> , <i>labis</i> , <i>acuminata</i> .                                                                      |
| <i>Kellicottia</i>  | 35.500              | 3,6     | <i>longispina</i> .                                                                                                                                         |
| <i>Trichocerca</i>  | 31.400              | 3,2     | <i>similis</i> , <i>porcellus</i> , <i>capucina</i> , <i>dixon-nuttalli</i> ,<br><i>rousseleti</i> , <i>pusilla</i> , <i>cylindrica</i> , <i>elongata</i> . |
| <i>Conochilus</i>   | 25.400              | 2,6     | <i>unicornis</i> .                                                                                                                                          |
| <i>Asplanchna</i>   | 22.700              | 2,3     | <i>priodonta</i> .                                                                                                                                          |
| <i>Pompholyx</i>    | 19.700              | 2,0     | <i>sulcata</i> , <i>complanata</i> .                                                                                                                        |
| <i>Ascomorpha</i>   | 15.700              | 1,6     | <i>ovalis</i> , <i>saltans</i> , <i>ecaudis</i> .                                                                                                           |
| <i>Gastropus</i>    | 5.600               | 0,6     | <i>styliifer</i> .                                                                                                                                          |
| <i>Ploesoma</i>     | 5.600               | 0,6     | <i>truncatum</i> , <i>hudsoni</i> , <i>triacanthum</i> , <i>lenticulare</i> .                                                                               |
| <i>Filinia</i>      | 2.500               | 0,3     | <i>terminalis</i> , <i>longiseta</i> .                                                                                                                      |
| <i>Lecane</i>       | < 600               | < 0,1   | <i>lunaris</i> , <i>luna</i> , <i>flexilis</i> .                                                                                                            |
| <i>Euchlanis</i>    | < 600               | < 0,1   | <i>dilatata</i> .                                                                                                                                           |
| <i>Brachionus</i>   | < 600               | < 0,1   | <i>angularis</i> , <i>rubens</i> , <i>calyciflorus</i> .                                                                                                    |
| <i>Collotheca</i>   | < 100               | < 0,01  | <i>pelagica</i> , <i>ornata</i> .                                                                                                                           |
| <i>Anuraeopsis</i>  | < 100               | < 0,01  | <i>fissa</i> .                                                                                                                                              |
| <i>Lepadella</i>    | < 100               | < 0,01  | <i>ovalis</i> , <i>patella</i> .                                                                                                                            |
| <i>Testudinella</i> | < 100               | < 0,01  | <i>patina</i> .                                                                                                                                             |
| <i>Hexarthra</i>    | < 10                | < 0,001 | <i>mira</i> .                                                                                                                                               |
| <i>Trichotria</i>   | < 10                | < 0,001 | <i>tetractis</i> , <i>pocillum</i> .                                                                                                                        |
| <i>Mytilina</i>     | < 10                | < 0,001 | <i>ventralis</i> .                                                                                                                                          |
| <i>Philodina</i>    | < 10                | < 0,001 | sp.                                                                                                                                                         |

Treize genres et dix-neuf espèces de rotifères assurent l'essentiel de la composition du plancton rotatorien lémanique (Balvay & Laurent 1989b); les espèces les plus abondantes sont *Keratella cochlearis* (espèce en général dominante), *Polyarthra* gr. *dolichoptera-vulgaris*, *Synchaeta oblonga*, *Notholca caudata*, *Keratella quadrata* et *Kellicottia longispina* (tableau 1).

Le peuplement augmente durant la phase d'eutrophisation croissante, avec le développement progressif des populations de printemps et d'été pendant les trois premières périodes. L'abondance des rotifères diminue durant la quatrième période, avec une régression de la population printanière (figure 1).

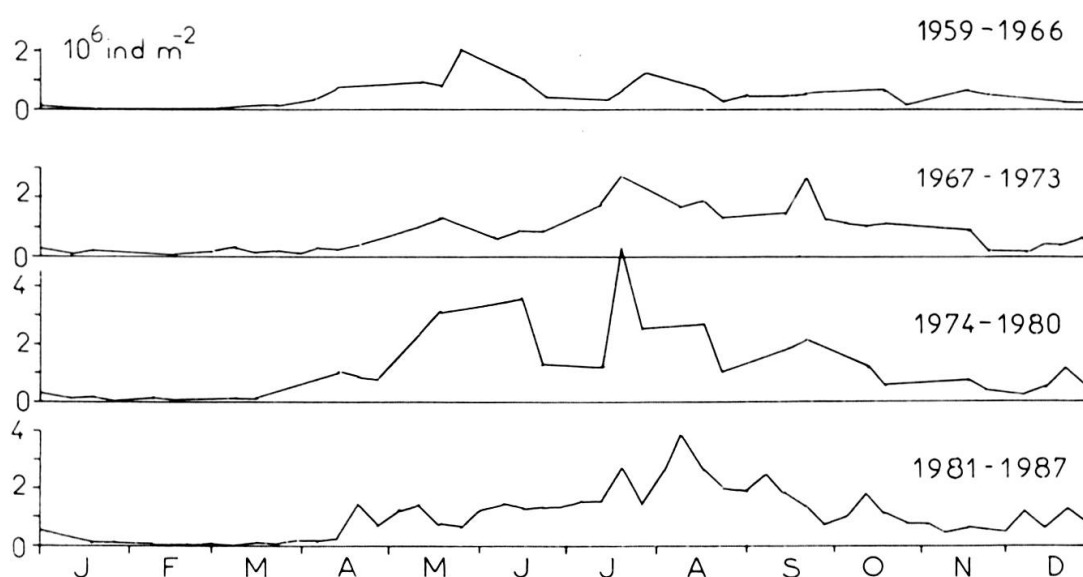


FIGURE 1.

Cycles saisonniers de la totalité des rotifères.

### 3.1. *Keratella*

*Keratella cochlearis* est une espèce eurytope et eurytherme, abondante en toutes saisons sauf en hiver. Elle constitue l'espèce dominante du peuplement rotatorien pendant trois ou quatre années consécutives, puis est remplacée pendant une année par une autre espèce dominante qui est en général *Polyarthra dolichoptera-vulgaris* et occasionnellement *Notholca caudata* (Balvay & Laurent 1989b).

Après avoir marqué une progression numérique importante au cours de la deuxième période, les effectifs de *K. cochlearis* tendent à se stabiliser durant la troisième période et à diminuer légèrement pendant la dernière période. Une évolution similaire des effectifs de cette espèce a été observée dans le lac de Constance (Walz *et al.* 1987).

Durant la phase d'eutrophisation croissante, *K. cochlearis* a développé une abondante population de mai à octobre-novembre, avec plusieurs pics saisonniers

bien marqués (figure 2); cette espèce présente actuellement une réduction de la population printanière, une population maximale en juillet-août et une légère tendance au développement en fin d'automne.

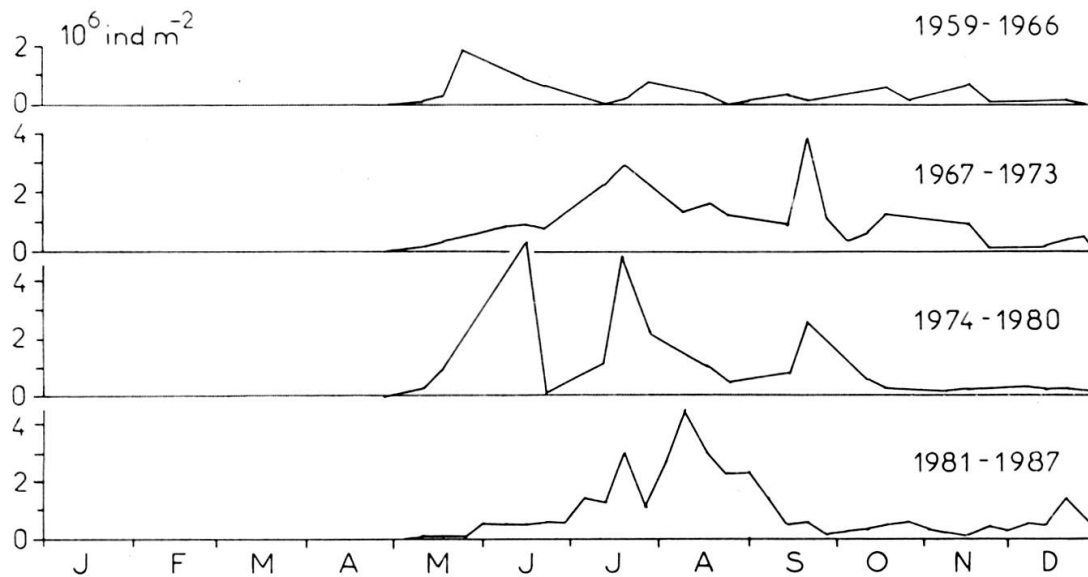


FIGURE 2.

Cycles saisonniers de *Keratella cochlearis*.

*Keratella cochlearis* var. *hispida*: cette variété méso-eutrophe et sténotherme d'eau chaude est abondante surtout à la fin de l'été et au début de l'automne, parfois

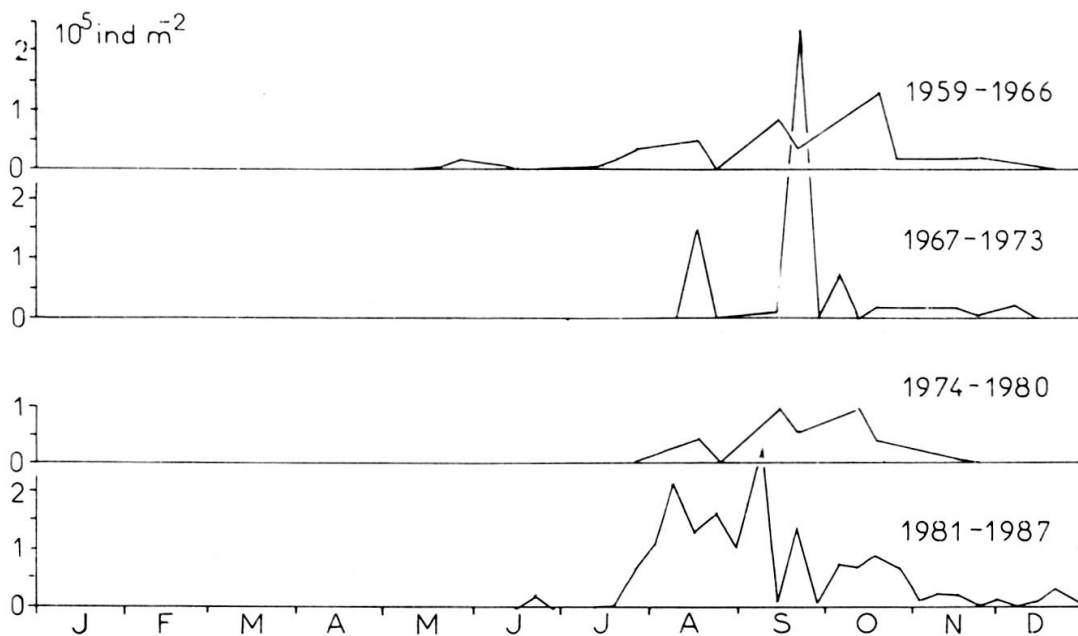


FIGURE 3.

Cycles saisonniers de *K. cochlearis* var. *hispida*.

localement plus importante que l'espèce type. Ses effectifs, en légère diminution durant la phase d'eutrophisation croissante du Léman, augmentent au cours de la quatrième période, avec le développement intense de la population estivale (figure 3). Le maximum de population observé en septembre-octobre pendant la phase d'eutrophisation croissante apparaît un peu plus précocement au cours de la quatrième période (août-septembre).

*Keratella cochlearis* forme *tecta*, sténotherme d'eau chaude, a été signalée pour la première fois dans le Léman en août 1959, au début de la phase d'eutrophisation accélérée. Pejler (1981) considère que cette forme est un excellent indicateur de conditions eutrophes et Karabin (1985) a observé que ses effectifs augmentent avec l'élévation de l'état trophique.

Rare dans le Léman entre 1959 et 1973, cette forme eutrophe s'est fortement développée pendant la période d'eutrophisation maximale du Léman et ses effectifs demeurent stables au cours de la quatrième période. *K. cochlearis tecta* fut localement et passagèrement abondante en octobre 1975 ( $109.000 \text{ ind. m}^{-2}$ ); elle tend actuellement à apparaître pendant une plus longue partie de l'année et à être bien représentée à la fin de l'été (figure 4).

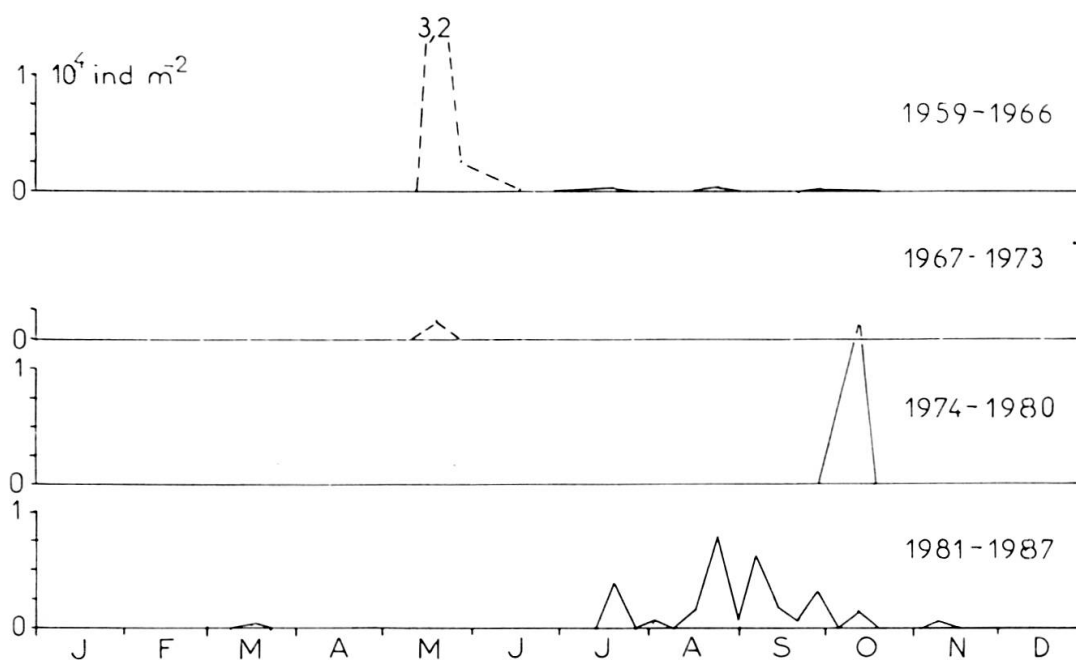


FIGURE 4.

Cycles saisonniers de *K. cochlearis* f. *tecta* (traits pleins) et *Notholca foliacea* (tirets).

*Keratella quadrata*, espèce méso-eutrophe, se développe intensément au cours de la phase d'eutrophisation croissante, confirmant les observations de Karabin (1985). Cette espèce eurytherme est parfois très abondante et localement dominante en mai 1976 ( $3,1 \cdot 10^6 \text{ ind.m}^{-2}$ ). *K. quadrata* a fortement décliné depuis la régression de l'état trophique du Léman; il en a été de même dans le lac de Constance (Walz

*et al.*, 1987) ainsi que dans le lac Trummen après sa restauration (Andersson *et al.* 1975).

Deux pics saisonniers apparaissent, au printemps et en été, leur importance étant en très nette régression en 1981-1987 (figure 5). Les périodes d'abondance maximale sont identiques dans le Léman et dans le lac de Constance (Walz *et al.* 1987).

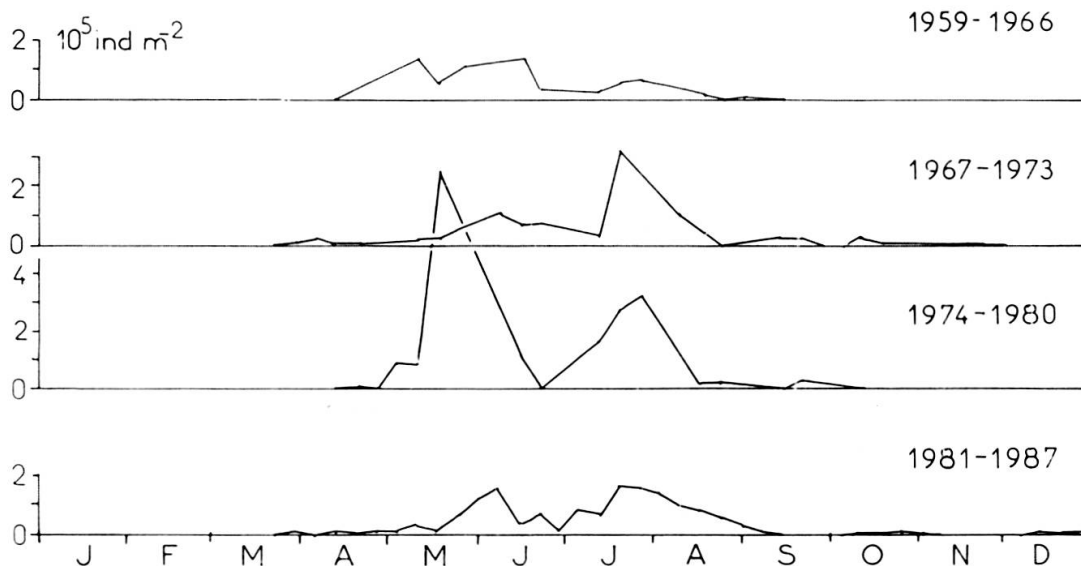


FIGURE 5.

Cycles saisonniers de *Keratella quadrata*.

### 3.2. *Polyarthra*

Ce genre est pérenne dans le Léman et regroupe deux espèces oligo-mésotrophes qui n'ont pas été différenciées dans les comptages. *Polyarthra dolichoptera* est une espèce sténotherme d'eau froide (Nauwerck 1963) à développement printanier et déclin estival (Stenson 1982), tandis que *P. vulgaris* est eurytherme, à développement estivo-automnal.

Certaines années, *Polyarthra* représente l'élément dominant de la population rotatorienne, en particulier de 1978 à 1981 (Balvay & Laurent, 1989b). L'élévation de l'état trophique a entraîné une augmentation régulière des effectifs de *Polyarthra* dont l'abondance se stabilise au cours de la phase de réhabilitation du Léman. Comme dans le lac de Constance, ce genre présente une abondance accrue depuis le printemps jusqu'en automne.

Actuellement, la population estivale est plus abondante alors que celle de printemps régresse quelque peu par rapport à la troisième période (figure 6). Durant la dernière période, phase d'amélioration de la qualité des eaux, le développement automnal de *Polyarthra* est beaucoup plus marqué dans le Léman que dans le lac de Constance.

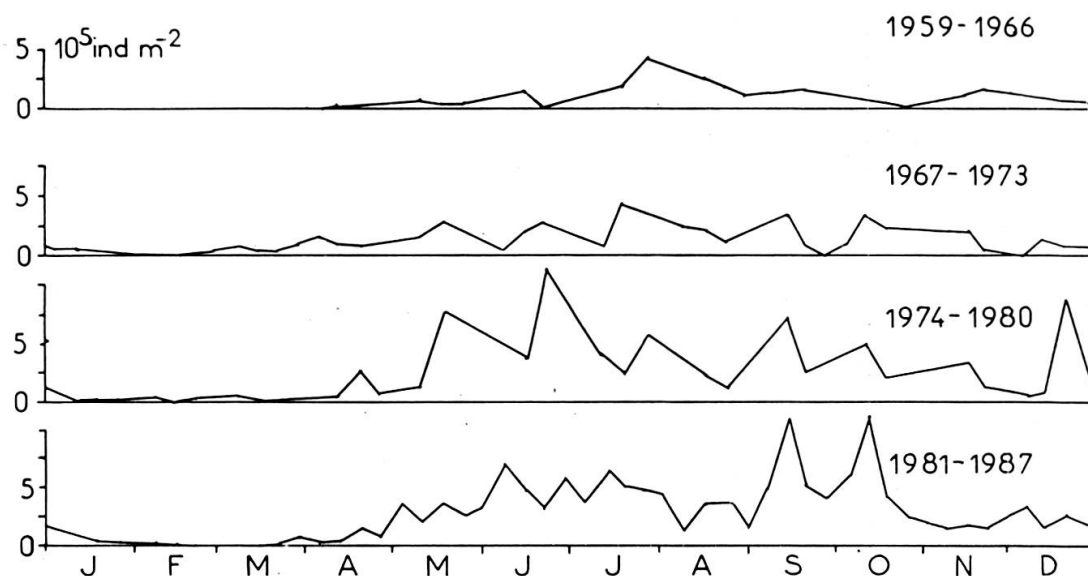


FIGURE 6.

Cycles saisonniers de *Polyarthra* spp.

### 3.3. *Synchaeta*

*Synchaeta oblonga* est une espèce considérée comme oligo-mésotrophe, mais qui peut également coloniser des milieux eutrophes (Pourriot 1965); elle est sténotherme d'eau froide et présente toute l'année dans le Léman. Les effectifs de *S. oblonga* sont en progression constante au cours des quatre périodes alors que Karabin (1985) considère que cette espèce est indifférente aux changements de l'état trophique.

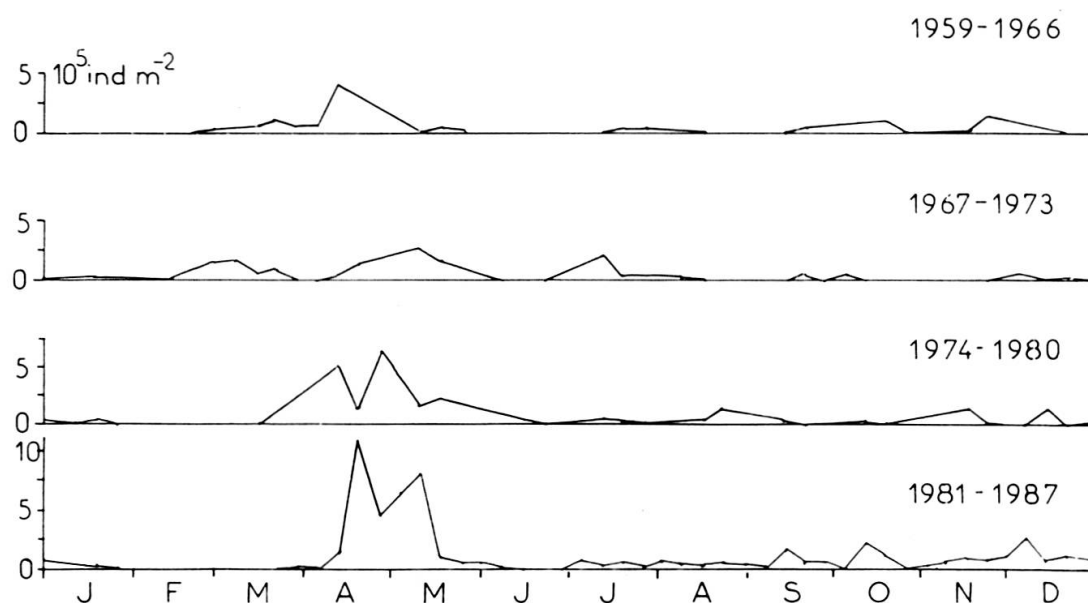


FIGURE 7.

Cycles saisonniers de *Synchaeta oblonga*.

La population est de plus en plus abondante au printemps, pendant la phase de réchauffement des eaux; il n'existe pas de variations quantitatives bien marquées durant les autres saisons (figure 7).

*Synchaeta pectinata*, espèce eutrophe, est présente presque toute l'année dans le Léman et ses effectifs sont restés relativement stables au cours de cette étude. Dans d'autres milieux, le développement de l'eutrophisation a entraîné la disparition de *S. pectinata* (Meshkova & Nikogosyan 1978).

La population printanière subit un très net déclin et tend à apparaître de plus en plus tardivement au cours des quatre périodes étudiées (figure 8); il n'existe pas de dérive temporelle pour la population estivo-automnale, en expansion pendant la période 1974-1980 et qui régresse quelque peu durant la quatrième période.

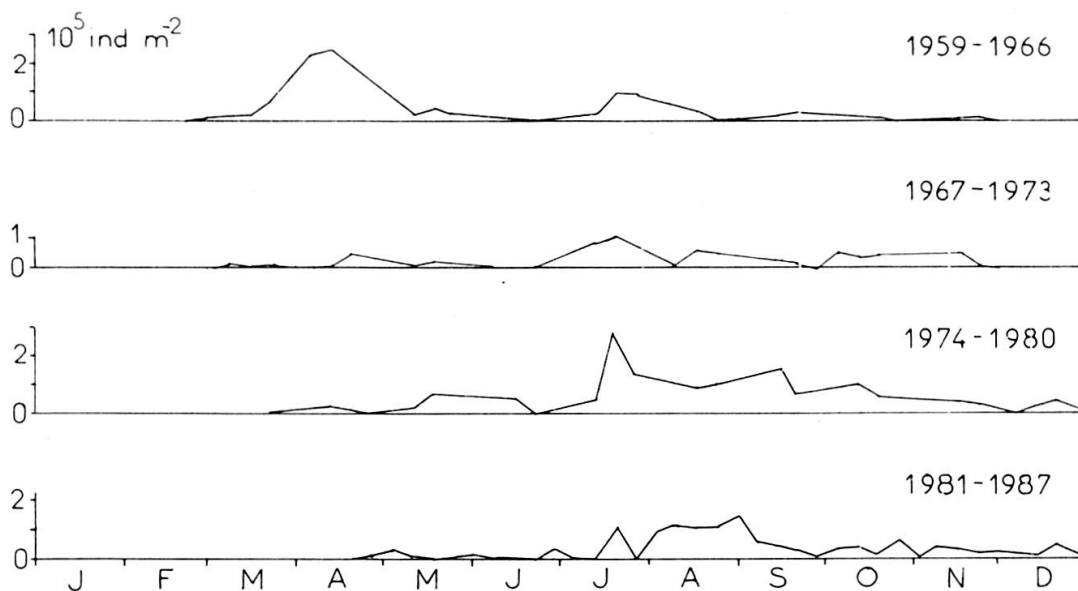


FIGURE 8.

Cycles saisonniers de *Synchaeta pectinata*.

### 3.4. *Notholca*

*Notholca caudata*, espèce oligotrophe, n'a jamais été signalée autrefois dans le Léman (Balvay & Laurent 1989a), mais sa présence dans le lac est cependant plausible avant 1959. *N. caudata* a montré une forte progression numérique durant la première période, remplaçant même *K. cochlearis* comme espèce dominante en 1964.

Cette espèce sténotherme d'eau froide est abondante au printemps, durant la phase de réchauffement des eaux (figure 9) et présente une très importante régression de ses effectifs pendant la quatrième période. Au cours de cette étude, le pic de printemps est de plus en plus précoce.

La présence de *N. caudata* dans le Léman, en élargissant son aire connue de distribution, a remis en cause son statut de relique glaciaire proposé par Pejler (1962b, 1977).

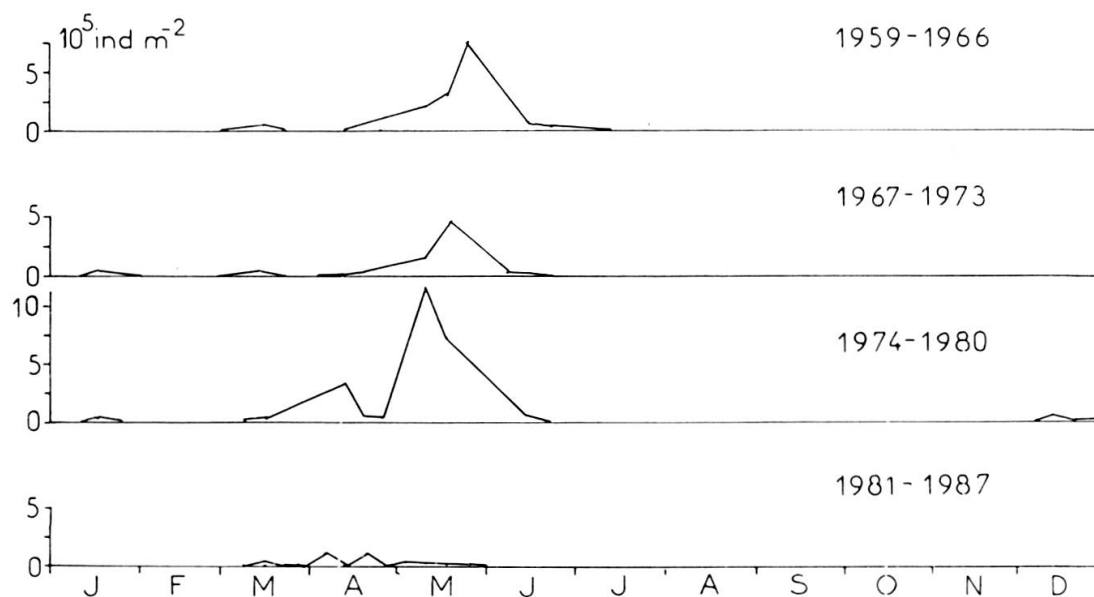


FIGURE 9.

Cycles saisonniers de *Notholca caudata*.

*Notholca foliacea* est une espèce oligo-mésotrophe signalée dans le Léman avant 1959 par différents auteurs. Localement très abondante en mai 1964 (235 000 ind.m<sup>-2</sup>)

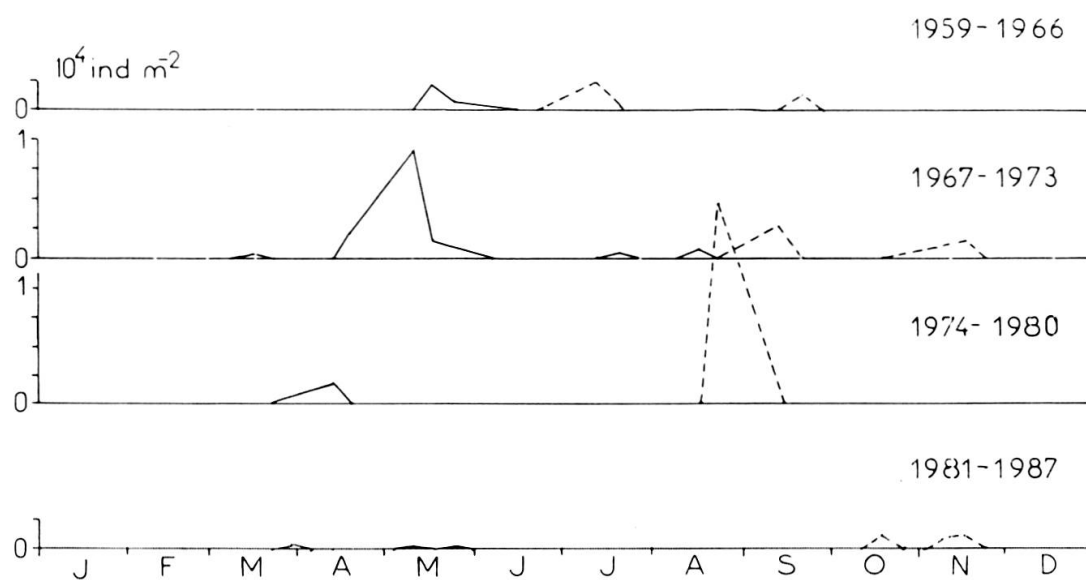


FIGURE 10.

Cycles saisonniers de *Notholca squamula* (traits pleins) et *Ploesoma hudsoni* (tirets).

lorsque le niveau d'eutrophisation du Léman était encore faible, *N. foliacea* est absente dans les prélèvements depuis juin 1967 (figure 4); sa disparition est liée à l'élévation de l'état trophique du lac.

*Notholca squamula* est une espèce sténotherme d'eau froide dont l'abondance a été maximale durant la deuxième période, lors de la phase d'eutrophisation croissante; on assiste à une diminution progressive de cette espèce oligo-mésotrophe depuis 1974 pendant la phase d'eutrophisation maximale et qui se poursuit après 1981. Le pic saisonnier de *N. squamula* est de plus en plus précoce au cours du temps et diminue très fortement après la deuxième période, ne laissant subsister qu'une très faible population au printemps (figure 10).

Deux autres espèces, *Notholca labis* et *N. acuminata* apparaissent exceptionnellement dans les prélèvements printaniers.

### 3.5. *Kellicottia*

*Kellicottia longispina* est une espèce sténotherme d'eau froide (Koch-Althaus 1976, Radwan 1980) pérenne dans le Léman. Selon Pejler (1957) et Dumont (1968), l'abondance de cette espèce oligo-mésotrophe diminue progressivement dans les lacs eutrophes alors que Karabin (1985) la considère comme indifférente aux changements de l'état trophique. La phase de développement de *K. longispina* s'est arrêtée précocement au cours de l'eutrophisation du lac de Constance (Walz *et al.* 1987); cette espèce a fortement régressé dans le lac Gjersjøen au cours du développement de l'eutrophisation (Faafeng & Nilssen 1981) et réapparaît ensuite avec l'amélioration de la qualité des eaux.

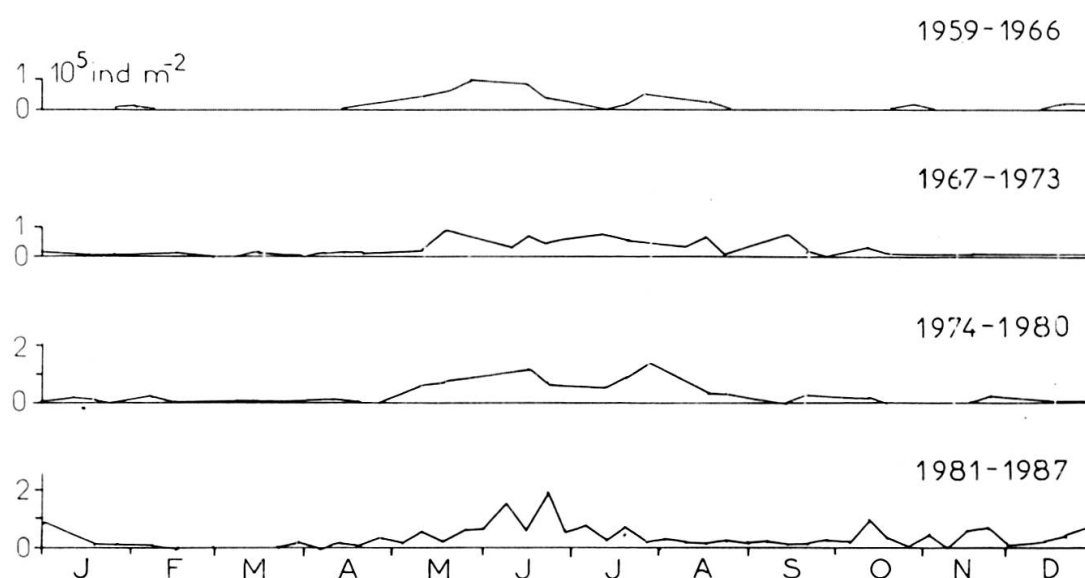


FIGURE 11.

Cycles saisonniers de *Kellicottia longispina*.

Dans le Léman, *K. longispina* est en progression constante au cours de cette étude et on n'observe pas durant la phase d'eutrophisation croissante du lac cette limitation d'abondance mise en évidence dans les lacs de Constance et Gjersjøen. Il en est de même dans le lac Mergozzo où cette espèce a poursuivi son expansion au cours de l'eutrophisation progressive de ce plan d'eau (de Bernardi & Soldavini 1976). Après l'arrêt de l'augmentation de l'eutrophisation, *K. longispina* continue à croître dans le Léman; de même elle s'est développée de nouveau dans le lac Trummen après sa restauration (Andersson *et al.* 1975) tandis que sa densité est restée relativement stable dans le lac de Constance (Walz *et al.* 1987).

*K. longispina*, parfois très peu abondante à la fin de l'hiver, présente pendant les trois premières périodes une population accrue à la fin du printemps et en été (figure 11). Durant la quatrième période (1981-1987), les populations de printemps et d'automne ont tendance à se développer alors que le pic estival diminue fortement.

### 3.6. *Trichocerca*

*Trichocerca similis* est une espèce eutrophe dont la population, relativement constante durant les trois premières périodes, diminue ensuite avec l'amélioration de la qualité des eaux; cette espèce estivo-automnale en nette régression pendant la quatrième période où seule la population estivale conserve un effectif appréciable (figure 12).

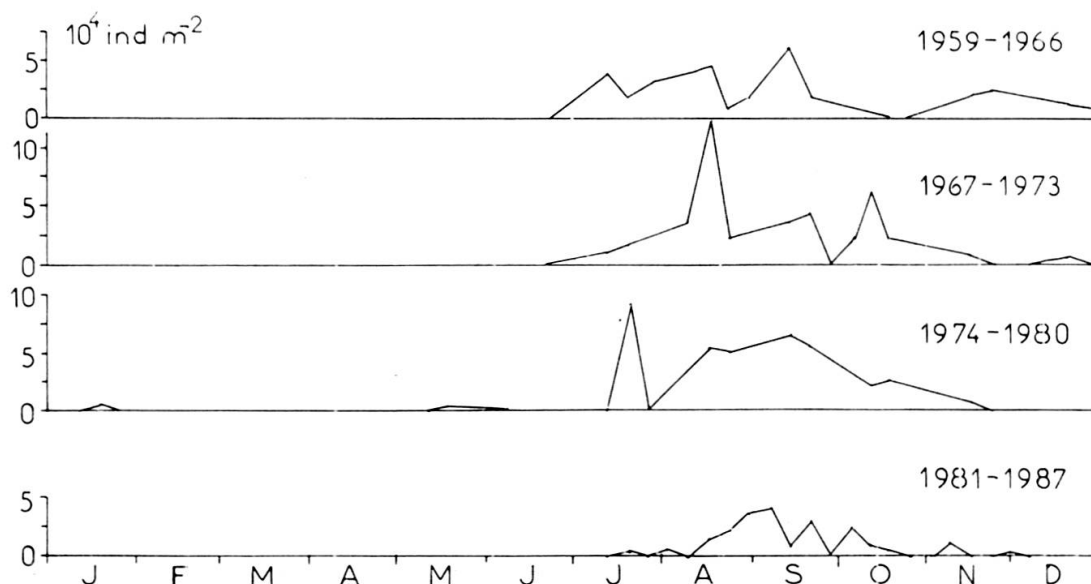


FIGURE 12.

Cycles saisonniers de *Trichocerca similis*.

*Trichocerca porcellus* apparaît dans des eaux chaudes à température décroissante. Les effectifs de cette espèce méso-eutrophe restent relativement constants au cours de la phase d'eutrophisation croissante et tendent à augmenter au cours de la quatrième période, avec des pics d'automne plus importants que précédemment (figure 13).

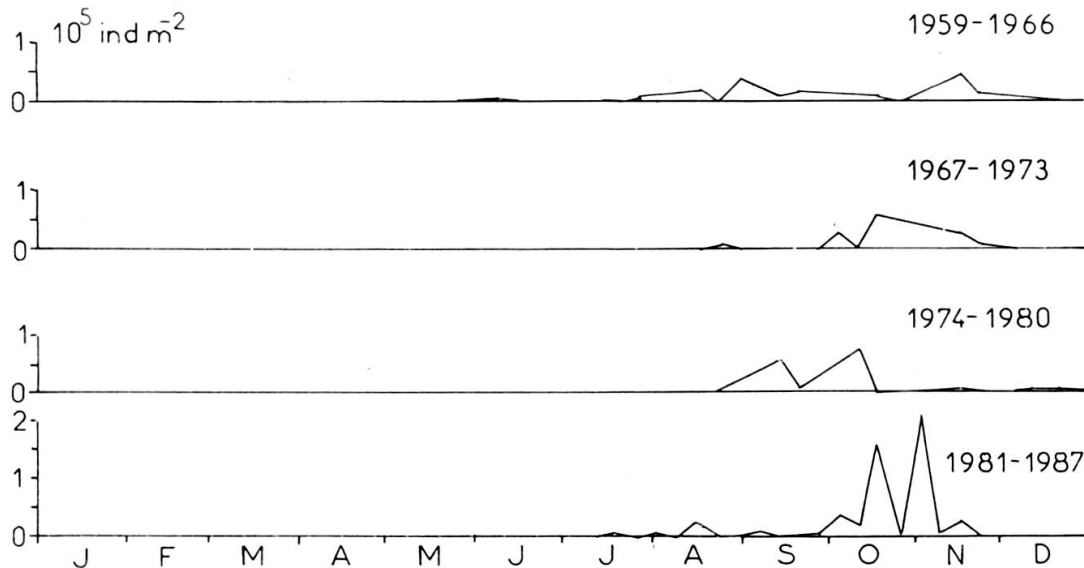


FIGURE 13.

Cycles saisonniers de *Trichocerca porcellus*.

*Trichocerca capucina* est une espèce méso-eutrophe estivale qui se développe surtout en septembre et dont les mâles apparaissent essentiellement d'août à octobre (figure 14).

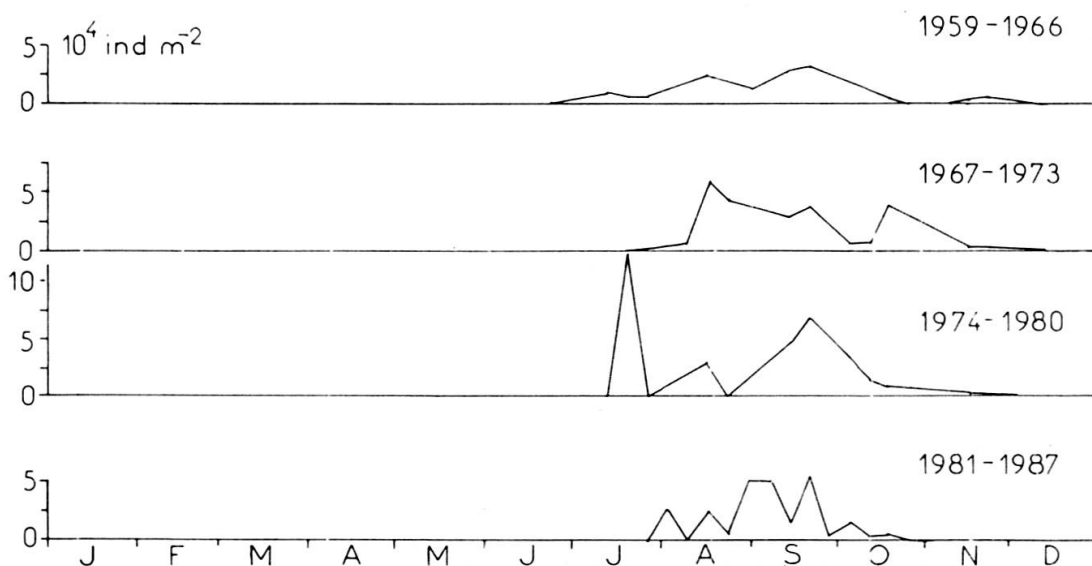


FIGURE 14.

Cycles saisonniers de *Trichocerca capucina*.

En légère progression numérique durant les trois premières périodes, *T. capucina* régresse au cours de la quatrième période et sa durée d'apparition est plus limitée au cours de l'année.

### 3.7. *Conochilus*

*Conochilus unicornis* est en progression continue dans le Léman alors que cette espèce est indifférente aux changements de l'état trophique pour Karabin (1985). Elle peut être localement très abondante et devenir saisonnièrement dominante; en septembre 1983, cette espèce a atteint  $4,96 \cdot 10^6$  ind.m<sup>-2</sup> pour une population totale des rotifères de  $6,13 \cdot 10^6$  ind.m<sup>-2</sup>.

Cette espèce considérée comme oligo-mésotrophe a fortement régressé avec l'eutrophisation croissante du lac Gjersjøen (Faafeng & Nilssen 1981). Elle s'est cependant développée dans certains milieux en cours d'eutrophisation (Walz *et al.* 1987, de Bernardi & Soldavini 1976, Langeland 1974), de même qu'elle a réagi par un fort accroissement numérique à une fertilisation simultanée en N et P dans le lac Hymenjaure (Persson 1978). Dans le Léman, elle semble avoir été limitée passagèrement lors de la phase d'eutrophisation maximale et son abondance accrue au cours de la quatrième période peut être mise en relation avec l'amélioration de la qualité des eaux.

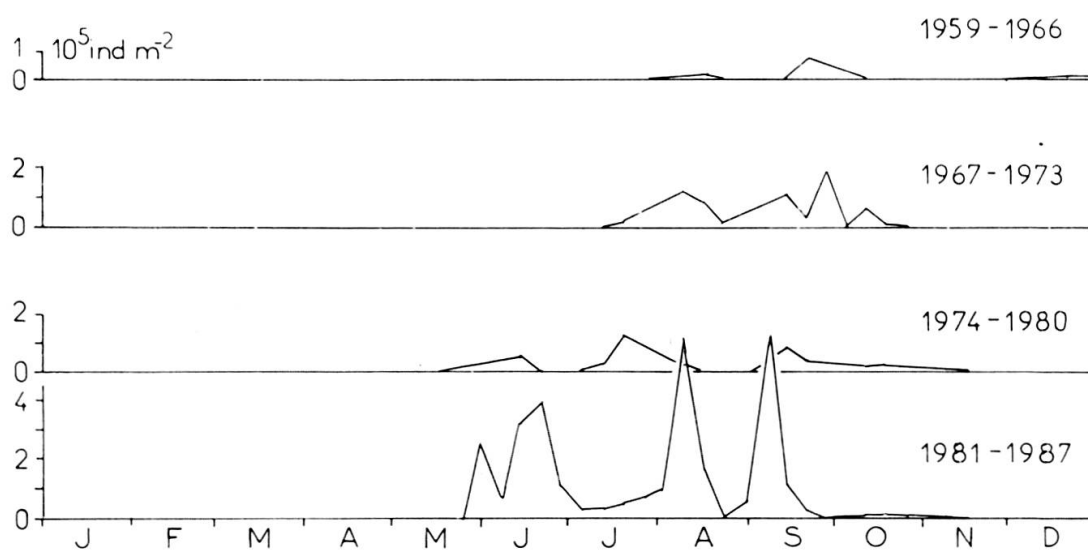


FIGURE 15.

Cycles saisonniers de *Conochilus unicornis*.

Les changements saisonniers d'abondance de *C. unicornis* sont très importants, avec le développement marqué d'une population printanière et d'une population estivale dont les pics d'abondance sont de plus en plus précoces (figure 15). *C. unicornis*

présente également un décalage des pics saisonniers du printemps à la fin de l'hiver dans le lac Mergozzo où cette espèce est nettement hivernale (de Bernardi & Soldavini 1976).

### 3.8. *Asplanchna*

Les variations d'abondance d'*Asplanchna priodonta* dans le Léman conduisent à penser que cette espèce est restée à un niveau de population relativement constant au cours de cette étude (Balvay & Laurent 1989b) alors qu'une nette phase d'augmentation suivie d'une stabilisation sont observées dans le lac de Constance (Walz *et al.* 1987).

*A. priodonta* présente deux périodes d'abondance maximale, au printemps et d'abord en automne (durant les deux premières périodes) puis en été (figure 16). Au cours de ces dernières années, la population printanière est en régression et apparaît plus tardivement alors que la population estivale est toujours abondante et se développe plus précocement durant les deux dernières périodes.

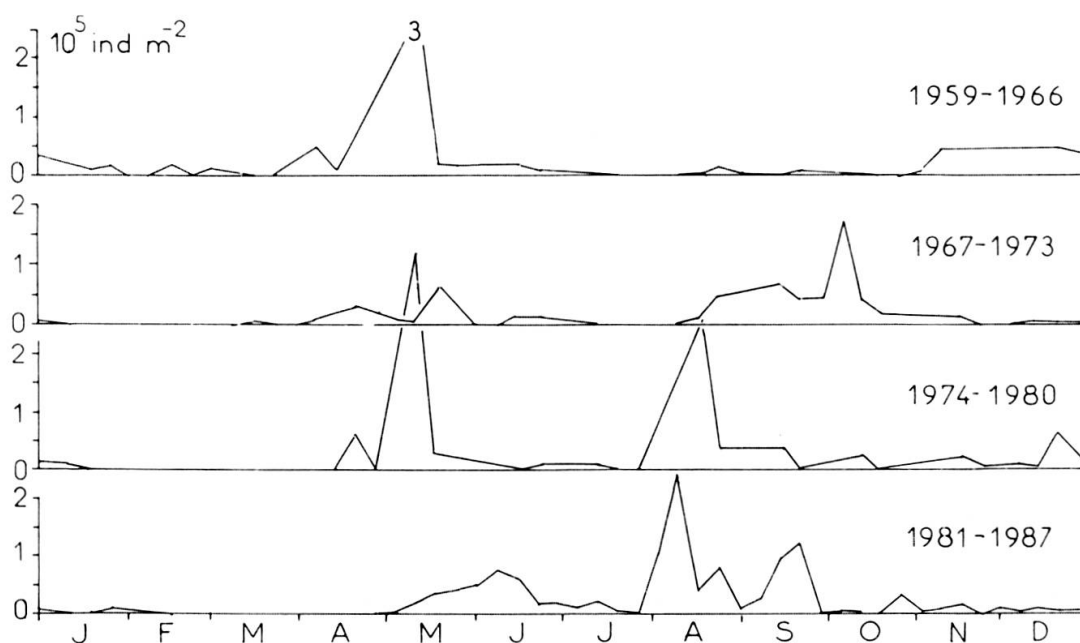


FIGURE 16.

Cycles saisonniers de *Asplanchna priodonta*.

### 3.9. *Pompholyx*

*Pompholyx sulcata*, espèce sténotherme d'eau chaude (Berzins & Pejler 1987), a été régulièrement observée au cours de notre étude et sa présence est vraisemblable dans le Léman avant 1959. *P. sulcata* est une espèce indicatrice d'eutrophie (Pejler

1965, Radwan 1976, Stemberger 1979); elle est en progression constante au cours de la phase d'eutrophisation croissante du Léman, conformément aux observations de Karabin (1985) et a tendance à diminuer pendant la dernière période.

Son abondance fut maximale en été, au cours des trois premières périodes (figure 17); durant la quatrième période, une très faible population apparaît au début du printemps alors que la population estivale subit une forte réduction.

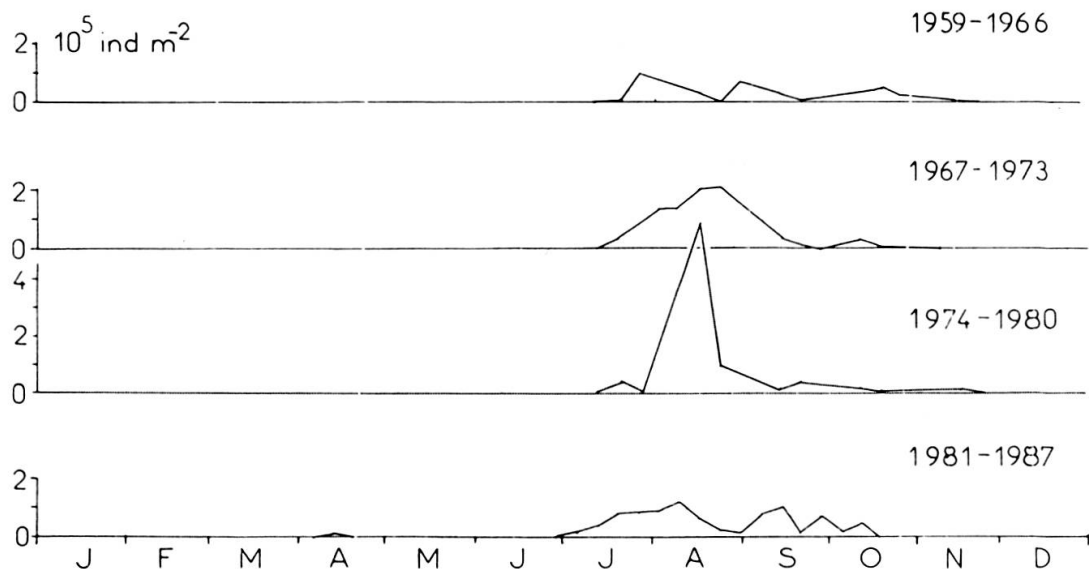


FIGURE 17.

Cycles saisonniers de *Pompholyx sulcata*.

*Pompholyx complanata* est une espèce eutrophe peu fréquente et peu abondante dans le Léman, apparaissant en août-septembre.

### 3.10. *Ascomorpha*

*Ascomorpha ovalis* (figure 18): espèce oligo-mésotrophe, parfois considérée comme oligotrophe (Pejler 1957, 1965) et dont la régression au cours des deux dernières périodes indique qu'elle n'a pas supporté une trop forte élévation de l'état trophique, confirmant ainsi les observations de Karabin (1985). *A. ovalis* a même disparu durant la phase d'eutrophisation croissante du lac de Constance (Walz *et al.* 1987).

Trois phases de développement existent au cours du cycle saisonnier, le pic estival étant plus important que celui de printemps ou d'automne (figure 19). Cette espèce fut localement très abondante en octobre 1967 (442 000 ind.m<sup>-2</sup>). Actuellement, le maximum de la population est généralement atteint à la fin de l'été alors que les effectifs sont très peu nombreux au printemps et en automne.

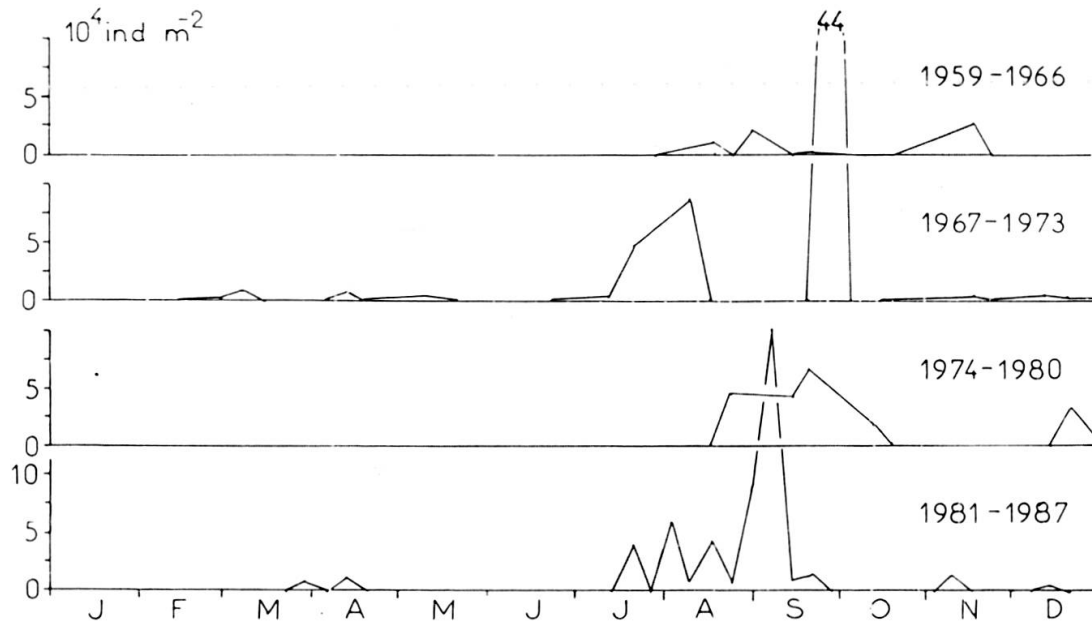


FIGURE 18.

Cycles saisonniers de *Ascomorpha ovalis*.

*Ascomorpha saltans* est une espèce oligo-mésotrophe qui, comme *A. ovalis*, n'a pas supporté une trop forte élévation de l'état trophique et régresse durant les deux dernières périodes. Les pics d'abondance de cette espèce sténotherme d'eau chaude apparaissent de plus en plus précocement au cours des années (figure 19). Il ne subsiste au cours de la quatrième période que la population estivale et une très faible population printanière.

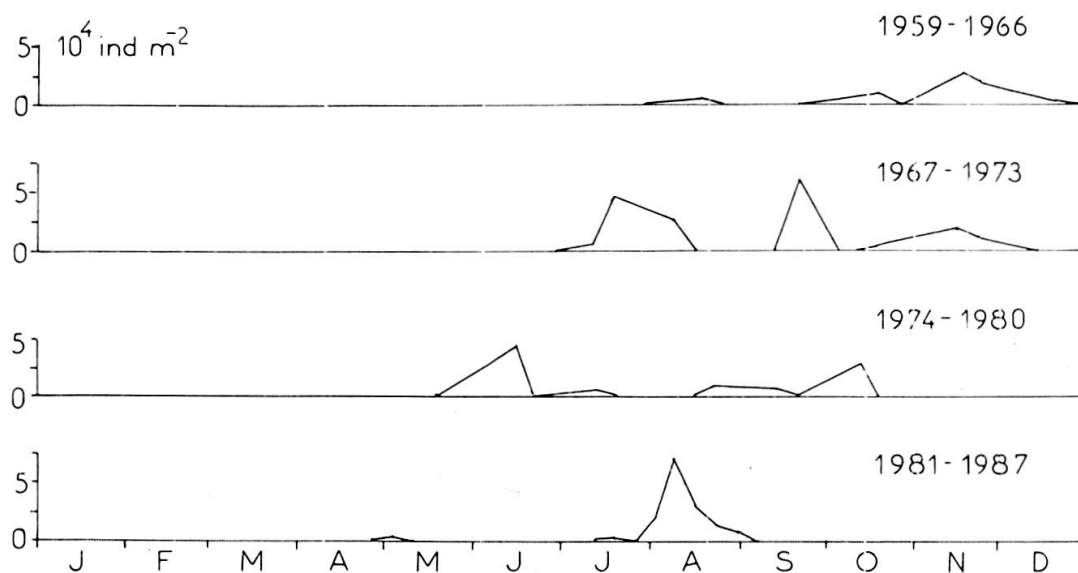


FIGURE 19.

Cycles saisonniers de *Ascomorpha ecaudis*.

*Ascomorpha ecaudis* est une espèce rare dans le lac, signalée uniquement avant 1900 dans le Léman (Balvay & Laurent 1989a); elle a été de nouveau observée en novembre 1977 et retrouvée en septembre 1981. Une abondance passagère de cette espèce oligo-mésotrophe a été observée en octobre et novembre 1985, précédant sa régression en 1986.

### 3.11. *Gastropus*

*Gastropus stylifer* est une espèce oligo-mésotrophe commune dans les lacs oligotrophes (Pejler 1962a, 1965) et qui ne supporte pas une élévation de l'état trophique du milieu (Karabin 1985); elle est en régression continue dans le Léman depuis le début de cette étude.

Sa période d'abondance accrue apparaît de plus en plus tardivement au cours des différentes périodes (figure 20). Seule subsiste actuellement une population un peu plus nombreuse en septembre. On observe une tendance progressive à la séparation de la population printanière (toujours peu abondante) et de celle estivo-automnale (en forte régression).

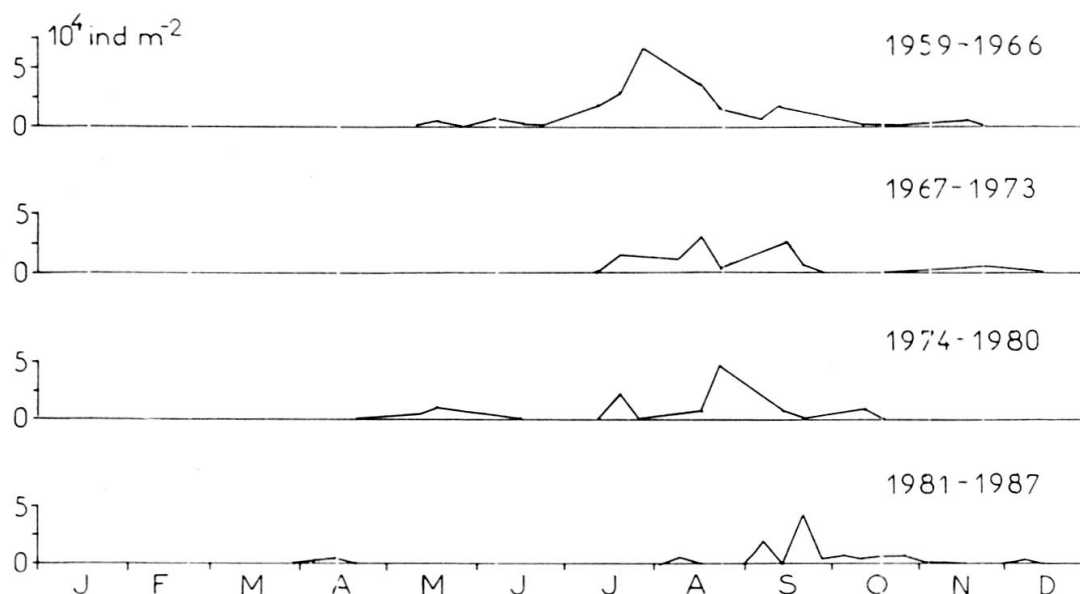


FIGURE 20.

Cycles saisonniers de *Gastropus stylifer*.

### 3.12. *Ploesoma*

*Ploesoma truncatum* est en forte réduction numérique depuis la deuxième période pendant laquelle elle a présenté son abondance maximale. La population estivale est peu nombreuse durant la quatrième période, sans pic saisonnier bien marqué et il ne subsiste qu'une faible population printanière (figure 21). Dans le lac de Cons-

tance, l'augmentation de l'état trophique a même entraîné l'élimination précoce de cette espèce (Walz *et al.* 1987).

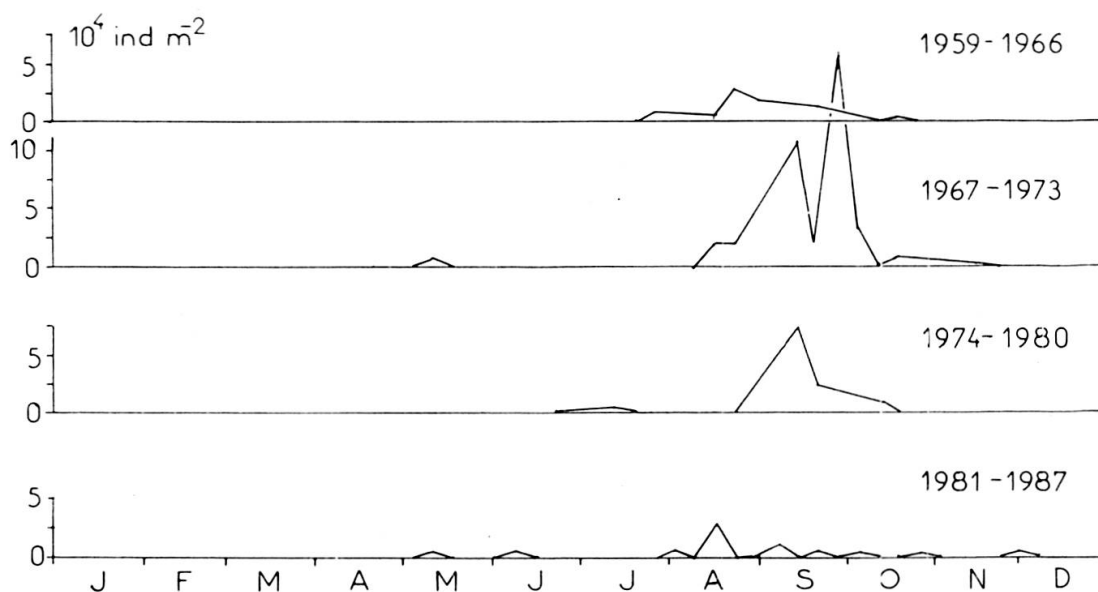


FIGURE 21.

Cycles saisonniers de *Ploesoma truncatum*.

*Ploesoma hudsoni* est une espèce estivale, sténotherme d'eau chaude (Ruttner-Kolisko 1974). Le développement de l'eutrophisation a entraîné sa disparition précoce dans le lac de Constance et sa forte régression dans les lacs Gjersjøen (Faafeng & Nilssen 1981) et Esrom (Jonasson 1977). Bien que considérée comme indicatrice d'oligo-mésotrophie et parfois même d'oligotrophie (Pejler 1957, 1965), cette espèce progresse de façon notable durant les trois premières périodes et diminue considérablement lors de la phase de réhabilitation du Léman. Malgré une abondance locale et temporaire en août 1974 ( $69\,000\text{ ind.m}^{-2}$ ), cette espèce est apparue de moins en moins fréquemment durant la phase d'eutrophisation du Léman et ne semble pas actuellement reconstituer ses effectifs pendant la phase d'amélioration du lac comme cela s'est produit dans le lac Gjersjøen. *P. hudsoni* apparaît de plus en plus tardivement au cours des saisons (figure 10); elle a disparu actuellement en été et seule une faible population automnale subsiste ces dernières années.

Deux autres espèces de *Ploesoma* ont été récoltées dans le Léman, *P. triacanthum* en septembre-octobre 1973 et octobre 1975 et *P. lenticulare* en août 1964.

### 3.13. *Filinia*

*Filinia terminalis* est une espèce hypolimnétique et eurytope (Ruttner-Kolisko 1980), sténotherme d'eau froide (Berzins & Pejler 1987) qui apparaît pratiquement toute l'année dans le Léman avec une abondance maximale au printemps et en été.

Cette espèce oligo-mésotrophe présente un fort développement lors de la troisième période puis régresse durant ces dernières années. *F. terminalis* a atteint localement en juillet 1976 une forte densité ( $229\,000\text{ ind.m}^{-2}$ ); une réduction importante de la population a lieu au début de l'été ainsi qu'une très forte diminution de la population automnale (figure 22). Le maximum de population, primitivement à la fin du printemps, tend à apparaître plus tardivement au cours des années.

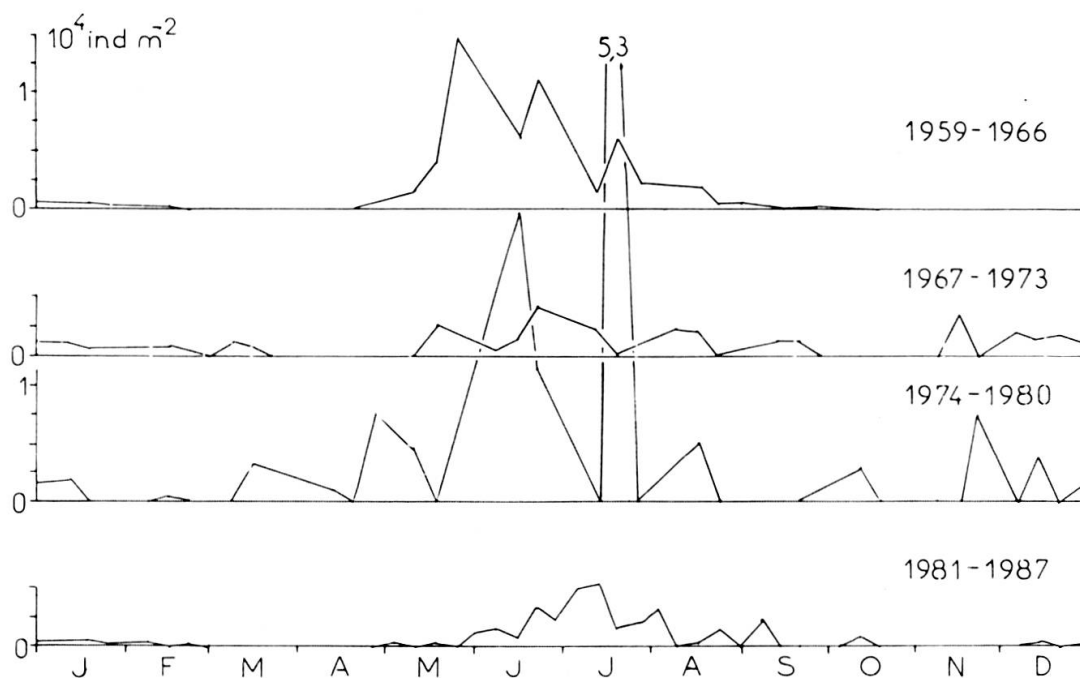


FIGURE 22.

Cycles saisonniers de *Filinia terminalis*.

*Filinia longiseta* a été autrefois toujours confondue avec *F. terminalis* (Balvay & Laurent 1981). Cette espèce eutrophe, épilimnétique et sténotherme d'eau chaude (Ruttner-Kolisko 1980) a été identifiée pour la première fois dans le Léman en octobre 1977 et retrouvée en 1983 et 1984.

### 3.14. Autres espèces

Toutes les autres espèces mentionnées dans le tableau 1 apparaissent dans le plancton avec des fréquences extrêmement faibles et en abondance réduite; ce sont en général des espèces littorales entraînées dans la zone pélagique par les courants ou des espèces égarées dans le Léman (*Hexarthra mira*).

#### 4. DISCUSSION

Les espèces strictement inféodées à des milieux caractérisés par un même état trophique extrême (oligotrophe ou eutrophe) constituent d'excellents indicateurs biologiques. Mais les espèces oligo-mésotrophes et méso-eutrophes ont une valeur moins strictement établie et parfois contradictoires selon les milieux étudiés (Gannon & Stemberger 1978, Mäemets 1983). Par ailleurs, ne peuvent être considérées comme de bons indicateurs de trophie les espèces eurytopes susceptibles de coloniser toute une variété de milieux ayant des niveaux trophiques très différents (*Keratella cochlearis*, *Asplanchna priodonta*). Il existe en outre quelques espèces dont le statut n'a pas encore été établi de façon précise et définitive. En principe, l'augmentation de l'état trophique d'un milieu entraîne la régression et parfois même la disparition des espèces oligotrophes et oligo-mésotrophes et permet le développement des espèces méso-eutrophes et eutrophes. A l'inverse, l'amélioration de la qualité des eaux se traduit par une évolution en sens contraire de la biocénose rotatorienne.

Dans le Léman, ce schéma général n'est suivi dans sa totalité que par quelques espèces méso-eutrophes (*Keratella quadrata*, *Pompholyx sulcata*, *Trichocerca capucina*). La phase d'élévation de l'état trophique a entraîné en toute logique le développement de *Keratella cochlearis tecta* (espèce eutrophe), la régression de certaines espèces oligo-mésotrophes (*Ascomorpha ovalis* et *A. saltans*, *Gastropus stylifer*, *Filinia terminalis*, *Notholca foliacea* et *N. squamula*) et la disparition de *Notholca caudata*, espèce oligotrophe.

Mais beaucoup d'autres espèces montrent des variations quantitatives non conformes à leur actuel statut d'indicateur de trophie. Ainsi, des espèces oligo-mésotrophes comme *Conochilus unicornis*, *Kellicottia longispina*, *Ploesoma hudsoni*, *Polyarthra dolichoptera-vulgaris* et *Synchaeta oblonga* sont en augmentation numérique durant la phase d'eutrophisation du Léman. L'abondance de ces espèces continue à progresser lors de la phase d'amélioration de la qualité des eaux, à l'exception de *Ploesoma hudsoni* qui régresse. Cependant, la diminution de l'état trophique observée à partir de 1980 n'est pas encore actuellement suffisante pour permettre la reconstitution des effectifs de la plupart des espèces oligo-mésotrophes, (*Ascomorpha ovalis*, *A. saltans*, *Gastropus stylifer*, *Filinia terminalis*, *Notholca caudata*, *N. foliacea*, *N. squamula*, *Ploesoma hudsoni*).

Globalement, la biocénose rotatorienne est effectivement dominée par les espèces mésotrophes, et surtout oligo-mésotrophes mais elle renferme toujours des espèces oligotrophes ainsi que des espèces eutrophes, pour la plupart d'apparition relativement récente (Balvay & Laurent 1989a, 1989b).

Lorsque l'on considère non plus les espèces prises isolément, mais les associations d'espèces ayant un même statut d'indicateur de trophie, environ 63% des individus se répartissent entre les quatre principales associations (figure 23); les espèces eury-

topes représentent 35% du peuplement moyen et 2% des individus ont un statut encore indéterminé.

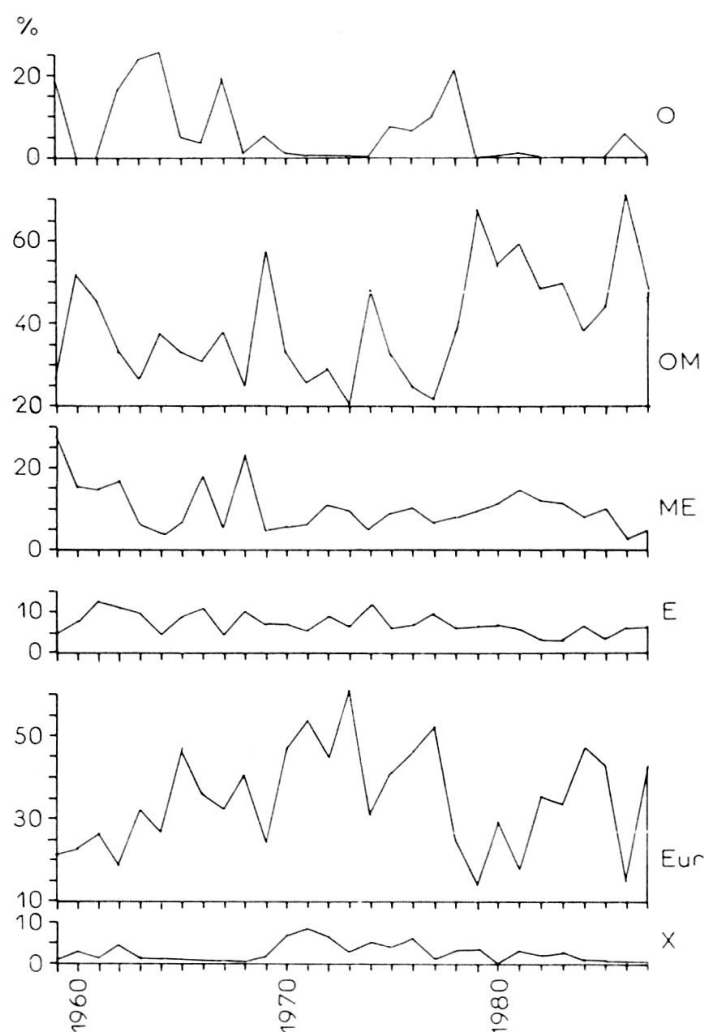


FIGURE 23.

Evolution de l'importance relative des associations d'espèces indicatrices de trophie, en pourcentage du nombre total des individus.

O: espèces oligotrophes  
ME: espèces méso-eutrophes  
Eur: espèces eurytopes

OM: espèces oligo-mésotrophes  
E: espèces eutrophes  
X: espèces à statut indéterminé

Au cours de cette étude, l'importance de l'association oligotrophe est en très forte régression, les associations méso-eutrophes et eutrophes présentant une diminution bien moins marquée. Seule l'association oligo-mésotrophe montre un net développement au cours de la phase de réhabilitation du Léman; bien que les effectifs de la majorité des espèces oligo-mésotrophes soient en diminution, l'importance accrue de cette association résulte du développement de quelques espèces seulement

(*Conochilus unicornis*, *Kellicottia longispina*, *Polyarthra dolichoptera-vulgaris* et *Synchaeta oblonga*).

Il est difficile de définir rigoureusement le stade trophique d'un lac (Hutchinson 1969) et celui du Léman en particulier, généralement considéré comme mésotrophe; ce stade mésotrophe ne représente qu'un état transitoire d'une évolution continue entre l'oligotrophie et l'eutrophie et dont l'éventail des caractéristiques est très large et mal délimité. Par ailleurs, le statut d'indicateur biologique, lorsqu'il a pu être déterminé, n'a pas toujours une valeur universelle. Pour ces raisons, il est évident que l'on ne peut pas s'attendre à obtenir une adéquation parfaite entre les variations de l'état trophique du Léman et l'évolution de la biocénose rotatorienne. Et ce d'autant plus que l'état trophique de ce lac évolue encore à l'heure actuelle et que la biocénose planctonique n'a pas encore atteint un nouvel état d'équilibre.

#### RÉFÉRENCES

- ANDERSSON, G., H. BERGGREN et S. HAMRIN (1975). Lake Trummen restoration project. III. Zooplankton, macrobenthos and fish. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 19 (2): 1097-1106.
- BALVAY, G. (1984). Premières données sur l'évolution quantitative des Entomostracés planctoniques dans le lac Léman. *Schweiz. Z. Hydrol.*, 46 (2): 224-229.
- BALVAY, G. et M. LAURENT (1981). Les Rotifères du lac Léman. *Schweiz. Z. Hydrol.*, 3 (1): 126-139.
- (1989a). Evolution quantitative à long terme des rotifères du lac Léman. *Schweiz. Z. Hydrol.* (soumis).
- (1989b). Evolution quantitative à long terme des rotifères du lac Léman. *Schweiz. Z. Hydrol.* (soumis).
- BALVAY, G. et J. P. PELLETIER (1988a). Evolution quantitative du plancton durant la phase d'eutrophisation accélérée du lac Léman (Suisse-France). *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 23 (1): 474-481.
- (1988b). Incidences des mesures de protection sur l'évolution de la qualité des eaux du Léman et du lac d'Annecy, pp. 113-128. In BALVAY G. (Ed.): *Eutrophication and lake restoration. Water quality and biological impacts*. Thonon-les-Bains, 246 p.
- BERZINS, B. et B. PEJLER (1987). Rotifer occurrence in relation to pH. *Hydrobiologia* 147: 107-116.
- BLANC, P., C. CORVI et F. RAPIN (1988). Evolution physico-chimique des eaux du Léman. Campagne 1987. *Rapp. Comm. Int. Prot. Eaux Léman contre pollut.*, Lausanne: 25-46.
- CARLIN, B. (1943). Die Planktonrotatorien des Motalaström. *Medd. Lunds Univ., Limnol. Inst.*, 5: 12-256.
- COMITA, G. W. (1972). The seasonal zooplankton cycles, production and transformations of energy in Severson Lake, Minnesota. *Arch. Hydrobiol.*, 70 (1): 14-66.
- Commission Internationale pour la Protection des Eaux du Léman contre la pollution (1984). *Le Léman. Synthèse 1957-1982*. C.I.P.E.L. (Ed.), Lausanne, 650 p.
- DE BERNARDI R. et E. SOLDVINI (1976). Long-term fluctuations of zooplankton in Lake Mergozzo, Northern Italy. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 33: 345-375.

- DUMONT, H. J. (1968). Rotatoria en Gastrotricha uit Plankton en Periphyton van het Donk meer in Oost-Vlaanderen met voorlopige nota over de trofische en faunistische evolutie van het milieu. *Biol. Jb. Dodonaea* 36: 139-149.
- EDMONDSON, W. T. (1946). Factors in the dynamics of rotifer populations. *Ecol. Monogr.*, 16: 357-372.
- (1965). Reproductive rate of planktonic rotifers as related to food and temperature in nature. *Ecol. Monogr.*, 35 (1): 61-111.
- FAAFENG, B. A. et J. P. NILSSEN (1981). A twenty-year study of eutrophication in a deep, soft-water lake. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 21 (1): 412-424.
- GANNON J. E. et R. S. STEMBERGER (1978). Zooplankton (especially crustaceans and rotifers) as indicators of water quality. *Trans. Amer. Micros. Soc.*, 97 (1): 16-35.
- HERZIG, A. (1987). The analysis of planktonic rotifer populations: a plea for long-term investigations. *Hydrobiologia* 147: 163-180.
- HEWITT, D. P. et D. G. GEORGE (1987). The population dynamics of *Keratella cochlearis* in a hypereutrophic tarn and the possible impact of predation by young roach. *Hydrobiologia* 147: 221-227.
- HOFMANN, W. (1987). Population dynamics of hypolimnetic rotifers in the Pluss-see (North Germany). *Hydrobiologia* 147: 197-201.
- HUTCHINSON, G. E. (1969). Eutrophication, past and present, p. 17-26. In: *Eutrophication: causes, consequences, correctives*. National. Acad. Sci. (Ed.), Washington, 661 p.
- JOHANSSON, S. (1983). Annual dynamics and production of rotifers in an eutrophication gradient in the Baltic Sea. *Hydrobiologia* 104: 335-340.
- JONASSON, P. M. (1977). Lake Esrom Research 1867-1977. *Folia Limnol. Scand.*, 17: 67-89.
- KARABIN, A. (1983). Ecological characteristics of lakes in North-Eastern Poland versus their trophic gradient. VII. Variations in the quantitative and qualitative structure of the pelagic zooplankton (Rotatoria and Crustacea) in 42 lakes. *Ekol. pol.*, 31 (2): 383-409.
- (1985). Pelagic zooplankton (Rotatoria + Crustacea) variation in the process of lake eutrophication. 1. Structural and quantitative features. *Ekol. pol.*, 33 (4): 567-616.
- (1986). Zooplankton in Lake Zarnowieckie. *Pol. ecol. Stud.*, 12 (3/4): 293-305.
- KOCH-ALTHAUS, B. (1976). Die Rotatorienfauna der Saldenbachtalsperre und der oberen Neunzehnhainer Talsperre. *Limnologica* (Berlin) 11 (2): 17-46.
- LANGELAND, A. (1974). Long-term changes in the plankton of Lake Tyrifjorden, Norway. *Norw. J. Zool.*, 22: 207-219.
- MÄEMETS, A. (1983). Rotifers as indicators of lake types in Estonia. *Hydrobiologia* 104: 357-361.
- MAY, L. (1980). On the ecology of *Notholca squamula* Müller in Loch Leven, Kinross, Scotland. *Hydrobiologia* 73: 177-180.
- (1983). Rotifer occurrence in relation to water temperature in Loch Leven, Scotland. *Hydrobiologia* 104: 311-315.
- MESHKOVA, T. M. et A. N. NIKOGOSYAN (1978). Changes in the zooplankton in connection with eutrophication of Lake Sevan. *Hydrobiol. J.*, 14 (6): 16-19.
- NAUWERK, A. (1963). Die Beziehung zwischen Zooplankton und Phytoplankton im See Erken. *Symb. Bot. Upsal.* 17 (5): 1-163.
- PEJLER, B. (1957). Taxonomical and ecological studies on planktonic Rotatoria from central Sweden. *K. Svenska Vetensk. Handl.*, 6 (7): 1-51.
- (1962a). The zooplankton of Osbysjön, Djursholm. II. Further ecological aspects. *Oikos* 13: 218-231.
- (1962b). *Notholca caudata* Carlin (Rotatoria), a new presumed glacial relict. *Zool. Bidrag. Uppsala* 33: 453-457.

- (1965). Regional-ecological studies of Swedish freshwater zooplankton. *Zool. Bidrag Uppsala* 36 (4): 407-515.
- (1977). On the global distribution of Brachionidae (Rotatoria). *Arch. Hydrobiol., Suppl.* 53 (2): 255-306.
- (1981). On the use of zooplankters as environmental indicators. In SUDZUKI M. (Ed.): *Some approaches to saprobiological problems*. Sanseido Co Ltd, Tokyo: 9-12.
- (1983). Zooplankton indicators of trophic and their food. *Hydrobiologia* 101 (1/2): 111-114.
- PERSSON, G. (1978). Experimental lake fertilisation in the Kuokkel area, northern Sweden: the response by the planktonic rotifer community. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 20 (2): 875-880.
- POURRIOT, R. (1965). Recherches sur l'écologie des Rotifères. *Vie Milieu, suppl.* 21, 224 p.
- RADWAN, S. (1976). Planktonic rotifers as indicators of lake trophic. *Ann. Univ. M. Curie-Sklodowska Lublin* 31: 227-235.
- (1980). The effect of some biotic and abiotic factors on the fertility of planktonic rotifer species. *Hydrobiologia* 73: 59-62.
- RUTTNER-KOLISKO, A. (1974). Plankton rotifers. Biology and taxonomy. *Die Binnengewässer* 26 (1), 146 p.
- (1980). The abundance and distribution of *Filinia terminalis* in various types of lakes as related to temperature, oxygen, and food. *Hydrobiologia* 73: 169-175.
- STEMBERGER, R. S. (1979). A guide to rotifers of the Laurentian Great Lakes. E.P.A.-600/4-79-0221, 186 p.
- STENSON, J. A. E. (1982). Fish impact on rotifer community structure. *Hydrobiologia* 87 (1): 57-64.
- THRELKELD, S. T. et E. M. CHOINSKI (1987). Rotifers, cladocerans and planktivorous fish: what are the major interactions? *Hydrobiologia* 73: 177-180.
- WALZ, N., H.-J. ELSTER et M. MEZGER (1987). The development of the rotifer community structure in Lake Constance during its eutrophication. *Arch. Hydrobiol., suppl.* 74 (4): 452-487.

