



THESIS / THÈSE

MASTER EN SCIENCES BIOLOGIQUES DES ORGANISMES ET ÉCOLOGIE

Influence des facteurs abiotiques et biotiques sur les populations d'alevins de gardon (*Rutilus rutilus* L.) et de perche (*Perca fluviatilis* L.) du lac d'Esch-sur-Sûre (Grand Duché de Luxembourg)

Guillaume, Christine

Award date:
2003

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



FACULTÉS UNIVERSITAIRES NOTRE-DAME DE LA PAIX
NAMUR

Faculté des Sciences

**INFLUENCE DES FACTEURS ABIOTIQUES ET BIOTIQUES SUR LES
POPULATIONS D'ALEVINS DE GARDON (*RUTILUS RUTILUS* L.) ET DE
PERCHE (*PERCA FLUVIATILIS* L.) DU LAC D'ESCH-SUR-SÛRE (GRAND-
DUCHE DU LUXEMBOURG)**

**Mémoire présenté pour l'obtention du grade de
licencié en Sciences biologiques**

Christine GUILLAUME

Août 2003

Influence des facteurs biotiques et abiotiques sur les populations d'alevins de perche (*Perca fluviatilis* L.) et de gardon (*Rutilus rutilus* L.) du lac d'Esch-sur-Sûre (Grand-Duché du Luxembourg)

GUILLAUME Christine

Résumé

Le but de cette étude est de déterminer l'influence des variations des facteurs abiotiques et biotiques sur la survie des alevins de gardon et de perche du lac d'Esch-sur-Sûre pour les années 1999 et 2003. La pêche électrique par point d'abondance est utilisée pour la capture des poissons. Parallèlement, les mesures des paramètres physico-chimiques et les échantillonnages de zooplancton sont effectués dans un même espace-temps.

A la lumière des résultats, la température semble exercer un effet direct sur les populations de poissons jusqu'aux premiers stades de développement incluant par exemple des effets sur le frai et l'incubation des œufs. Après le passage de l'alevin à une nourriture exogène, la température n'exerce plus qu'un effet indirect sur les populations d'alevins via la quantité de nourriture présente dans le milieu.

Le pH, quant à lui, semble exercer un effet sur les alevins de gardon uniquement. Ceux-ci quittent, en effet, la zone littorale quand les valeurs de pH deviennent trop élevées (pH supérieur à 10).

Le recrutement semble être meilleur pour la perche en 2003 (5 perches sont capturées le 7 juin 1999 avec une longueur totale moyenne de 28 mm et 28 le 11 juin 2003 avec une longueur totale moyenne de 32 mm). Par contre, pour le gardon, le recrutement semble être meilleur en 1999 (1089 gardons sont capturés le 7 juin 1999 avec une longueur totale moyenne de 12 mm et aucun le 11 juin 2003- les premiers gardons capturés le 24 juin 2003 présentent une longueur totale moyenne de 28 mm). La cause principale ne serait pas une variation des paramètres physico-chimiques mais une variation du niveau des eaux en début de saison d'échantillonnage 2003. Le gardon semble plus sensible que la perche aux variations du niveau d'eau, il verra donc ses effectifs diminuer en 2003. Cette différence dans le recrutement est à relativisée car le peu de pêches effectuées en 2003 ne nous permet de formuler que des hypothèses qui nécessiteraient de plus amples investigations pour être confirmées.

Mémoire de licence en Sciences Biologiques

Août 2003

Promoteur: J-C Micha

Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix
FACULTE DES SCIENCES
Secrétariat du Département de Biologie
Rue de Bruxelles 61 - 5000 NAMUR
Téléphone: + 32(0)81.72.44.18- Téléfax: + 32(0)81.72.44.20
E-mail: joëlle.jonet@fundp.ac.be - <http://www.fundp.ac.be/fundp.html>

Influence of biotic and abiotic factors on Perch (*Perca fluviatilis* L.) and Roach (*Rutilus rutilus* L.) fry in reservoir lake of Esch-sur-Sûre (Grand-Duchy of Luxembourg)

GUILLAUME Christine

Abstract

The goal of this study was to determine the influence of the variation of abiotic and biotic factors on the survival of Roach and Perch fry in the lake of Esch-sur-Sûre in 1999 and 2003. The point abundance electric fishing method was used to catch the fish. Physico-chemical parameters measurements and zooplankton samplings were done in parallel.

According to our results, the temperature seems to have a direct effect on the fish population in the early stages of development including frying and eggs incubation. After the shift to an external food, the temperature only has an indirect influence on the fry populations via the amount of food present in the environment.

The pH seems to have only an impact on Roach fry. These leave the littoral zone when the pH values get too high (up to 10).

The recruitment seems better for Perch in 2003 (5 Perches caught the 7 June 1999 with a total mean length of 28 mm and 28 the 11 June 2003 with a total mean length of 32 mm). On the contrary, the recruitment of Roach seems better in 1999 (1089 Roach caught the 7 June 1999 a total mean length of 12 mm and none on the 11 June 2003- the first Roach were caught in 2003 on the 24 June with a total mean length of 28 mm). The main cause would not be the variation of physico-chemical parameters but the variations of the water level at the begin of the sampling season in 2003. Roach seems more sensitive to variations of water level than Perch, so their number is smaller in 2003. We have to remain cautions, concerning the difference of recruitment, considering the few number of sampling done in 2003, we can only formulate some hypotheses, which would need further investigations to be confirmed.

Mémoire de licence en Sciences Biologiques

Août 2003

Promoteur: J-C Micha

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribuées de loin ou de près à la réalisation de celui-ci.

Mes premiers remerciements vont à mon promoteur, Monsieur Micha, qui m'a accueillie dans son unité de recherche et m'a aidée tout au long de ce mémoire par des conseils et choix judicieux.

Je remercie aussi Monsieur Hoffmann qui a accepté d'être le co-promoteur de cette étude.

Un tout grand merci à ma tutrice, Patricia Mergen et à sa fidèle amie, Christelle pour m'avoir épaulée à chaque étape de ce mémoire et avoir pris du temps pour me guider dans mes choix.

Les journées de terrain ne serait pas les mêmes sans la présence de Pierre Fossion. Merci pour tout ce que tu m'as appris.

Je m'en voudrais d'oublier le maître incontesté des déterminations de zooplancton, Laurent Viroux. Merci pour m'avoir ouvert les portes de ton univers.

Merci à tous les chercheurs de l'URBO pour votre sympathie envers des étudiants qui sont loin de posséder vos connaissances.

Je n'oublie pas non plus tous les chercheurs du Centre de Recherche Publique Gabriel Lippmann qui travaille sur le lac. Merci pour votre accueil et votre sympathie.

Je ne peux oublier mes collègues écologistes avec qui des liens amicaux énormes se sont créés au fur et à mesure des années passées dans cette université. Je pense évidemment à Caro la vraie fan d'Alphonse, à Robert alias Robby chéri, à Géraldine la plus petite en taille mais pas en amitié, à Johan « le barbare », à Stéphanie (« Salut toi »), à Stéphane connu sous l'autre nom d'« empereur », à Vanessa la femme qui murmurait à l'oreille des gorilles, à Nicolas l'ardennais qui reçoit des claques gaumaises, à Oli et Zob les rois de la guindaille, à Eric le maître des rotifères, à Fabien le tombeur de ces dames, à Spoon le roi du service.

Merci à mes parents sans qui je n'aurais jamais connu tous ces gens ni vécu tous ces moments avec eux.

Jérôme, simplement MERCI. Sans toi, je n'y serais jamais arrivé.

Merci à tous ceux que j'ai j'oublié.

| | |
|--|-----------|
| <u>I.5. Conclusions générales</u> | 19 |
| II. <u>Milieu d'étude</u> | 21 |
| III. <u>Matériel et méthodes</u> | 23 |
| <u>III.1. Matériel et méthodes in situ</u> | |
| <u>III.1.1. Zones d'échantillonnage</u> | |
| <u>III.1.2. L'hydrolab</u> | 24 |
| <u>III.1.3. Récolte du zooplancton</u> | |
| <u>III.1.4. Récolte des alevins</u> | 25 |
| <u>III.1.5. Conservation des alevins</u> | |
| <u>III.2. Analyses en laboratoire</u> | 26 |
| <u>III.2.1. Détermination des alevins</u> | |
| <u>III.2.2. Protocole d'analyse des contenus digestifs des alevins</u> | |
| <u>III.2.3. Détermination du zooplancton ingéré</u> | 27 |
| <u>III.2.4. Calcul des indices</u> | |
| III.2.4.1. Méthode d'occurrence ou de fréquence (Hyslop, 1980) | |
| III.2.4.2. Méthode d'abondance ou numérique (Hyslop, 1980) | |
| III.2.4.3. Indice de sélectivité de Chesson (1978) | |
| IV. <u>Résultats</u> | 29 |
| <u>IV.1. Données physico-chimiques</u> | |
| <u>IV.2. Données zooplanctoniques</u> | |
| <u>IV.3. Données ichtyologiques</u> | 33 |
| <u>IV.4. Indices d'occurrence et d'abondance</u> | 35 |
| <u>IV.5. Indice de sélectivité</u> | 38 |
| <u>IV.5.1. Le gardon</u> | 39 |
| <u>IV.5.2. La perche</u> | 40 |
| <u>IV.6. Moyenne des taxa ingérés</u> | 43 |
| V. <u>Discussion</u> | 47 |
| <u>V.1. Relation entre les différents compartiments du réseau trophique</u> | |
| <u>V.1.1 Constatations pour les échantillonnages de 1999</u> | |
| <u>V.1.2. Constatations pour les échantillonnages de 2003</u> | 52 |
| <u>V.2. Problèmes d'échantillonnage</u> | 54 |

| | |
|---|-----------|
| VI. <u>Conclusions et perspectives</u> | 55 |
| <u>VI.1. Conclusions</u> | |
| <u>VI.2. Perspectives</u> | 56 |
| VII. <u>Bibliographie</u> | 58 |
| <u>Liste des figures</u> | |
| <u>Liste des annexes</u> | |

Introduction

La construction d'un lac de barrage s'inscrit, en premier lieu, dans un intérêt économique. En effet, celui-ci servira à la fois à la production d'énergie électrique, à la constitution d'une réserve d'eau potable et au contrôle des crues. Ces raisons primaires vont entraîner d'autres activités liées à ce lac : par exemple la pêche, la pisciculture et le tourisme. Mais l'intérêt le plus important pour des biologistes est sans conteste le point de vue écologique, environnemental et biologique de cette construction.

De nombreuses études ont déjà été réalisées sur les lacs de barrage en Belgique : par exemple celles sur les lacs de l'Eau d'Heure, Nisramont, Robertville, Bütgenbach.....

Le lac de barrage pris en compte dans ce mémoire est celui d'Esch-sur-Sûre au Grand-Duché du Luxembourg. Celui-ci a déjà fait l'objet de plusieurs thèses dont celles d'Isabelle Thys (« Influence des fluctuations saisonnières des ressources alimentaires sur la nutrition et la reproduction du cladocère *Daphnia galeata* et du copépode *Eudiaptomus gracilis* : importance de la sélectivité alimentaire ») (2003) et de Patricia Mergen (2002). Le sujet de cette dernière portait sur la distribution spatio-temporelle des communautés ichthyologiques dans les lacs de barrage de Nisramont et d'Esch-sur-Sûre.

C'est dans le cadre de ce travail que des alevins de perche (*Perca fluviatilis*) et de gardon (*Rutilus rutilus*) ont été prélevés en zone littorale du lac en 1999. Une des hypothèses émises à la fin de ce travail est que les facteurs qui régulent la répartition des alevins sont la température, le pH et les fluctuations de zooplancton. On peut donc, à ce niveau, mettre en évidence l'importance de la disponibilité en nourriture dans le milieu.

Ce mémoire va donc constituer la suite logique de la thèse de P. Mergen et il aura pour but de vérifier l'hypothèse émise par cette dernière. C'est pourquoi ce travail portera sur les différents facteurs intervenant dans le recrutement des alevins de perche et de gardon et sur l'étude de leur régime alimentaire respectif.

Comme mentionné ci-dessus, le matériel a donc déjà été échantillonné en 1999 : il s'agit des alevins, des données physico-chimiques et des données zooplanctoniques. Ils ont bien sûr été échantillonnés dans un même espace-temps.

Pour confirmer les résultats obtenus pour l'année 1999, des échantillonnages se feront également en 2003.

La vérification des hypothèses se fera grâce à l'utilisation de différents indices : indice d'occurrence, d'abondance et de sélectivité.

Le travail est divisé en plusieurs chapitres.

Le premier chapitre constitue une synthèse bibliographique. Celle-ci abordera les points suivants : tout d'abord le concept de réseau trophique en lac, puis la description des deux espèces analysées. Ensuite, les régimes alimentaires des deux espèces seront décrits afin de pouvoir les comparer par la suite avec les résultats obtenus. Le point suivant sera un bref explicatif des facteurs secondaires intervenant dans le recrutement. Pour ce qui est des facteurs primaires (la température et la quantité de nourriture), ils seront traités beaucoup plus en détails.

Le deuxième chapitre concerne le milieu d'étude, Esch-sur-Sûre.

Le troisième chapitre décrit le matériel et les méthodes utilisées à la fois sur le terrain et en laboratoire.

Le quatrième chapitre traite des résultats.

Le cinquième chapitre est consacré aux discussions.

Le sixième chapitre donne une conclusion générale du travail et annonce les différentes perspectives.

I. Synthèse bibliographique

I.1. Le réseau trophique en lac

Le réseau trophique peut être défini comme l'ensemble des interactions entre les différents maillons trophiques de l'écosystème.

La caractéristique fondamentale des chaînes trophiques est un transfert de matière et d'énergie avec recyclage continu. Au cours de ce transfert, il y a conservation de la matière tandis qu'il y a perte d'énergie à chaque niveau trophique (Dajoz, 2000).

Il est bien connu que les différents compartiments du réseau trophique sont intimement liés. Si l'un d'eux varie, il va inévitablement entraîner des répercussions sur tous les autres (Gliwicz, 2002). Deux théories s'opposent sur les facteurs qui influencent la structure et le fonctionnement des peuplements. La première soutient que la régulation des populations est due aux superprédateurs qui réduisent les effectifs de leurs proies (effet top-down). Tandis que la deuxième soutient que ce sont les ressources disponibles qui ont le rôle principal de régulation des niveaux supérieurs (effet bottom-up) (Dajoz, 2000). L'effet bottom-up aura un impact au niveau de la croissance et de la reproduction, tandis que l'effet top-down aura des répercussions sur la mortalité des individus (Gliwicz, 2002).

Les théories du top-down et bottom-up ne sont pas incompatibles et leurs effets peuvent parfois être simultanés : c'est par exemple le cas en milieu aquatique.

Dans le système aquatique, le haut du réseau trophique est occupé par les poissons piscivores, qui ont un impact sur les poissons planctonophages. Au niveau suivant, les poissons planctonophages ont un effet majeur sur la structure par taille et l'abondance en espèces des communautés zooplanctoniques. (Tatrai *et al.*, 1991; Kitchell et Carpenter, 1993) (figure 1-1).

En plus, chaque espèce zoo- ou phytoplanctonique est exposée au hasard de la privation et aux fluctuations de température pendant l'année (Gliwicz, 2002).

Dans la nature, on remarque qu'il existe une corrélation entre la biomasse totale de zooplancton et la biomasse totale de phytoplancton (Tatrai *et al.*, 1991) (figure 1-2). Plus la biomasse de zooplancton augmente plus celle du phytoplancton diminue. On peut donc en conclure que la biomasse algale est contrôlée à la fois par le grazing du zooplancton et la décomposition bactérienne des excréments du zooplancton (Gophen *et al.*, 1985).

Au niveau supérieur, on peut affirmer que l'abondance du zooplancton montre une corrélation négative avec l'abondance des larves de poissons (Sarvala *et al.*, 1994).

L'influence de la température n'est pas à négliger, comme le démontre par exemple les études de Gophen *et al.* (1985) et Whiteside (1988) (figure 1-3). Ils sont arrivés à la conclusion que l'abondance du zooplancton était supérieure les années où la température était la plus haute et qu'une brusque diminution de celle-ci entraînait des dégâts au niveau planctonique.

En effet, la température et la nourriture sont des facteurs importants qui déterminent le taux de croissance des populations zooplanctoniques (le temps de génération étant fonction de la température de l'eau).

Une diminution de la température entraîne une diminution de la diversité phytoplanctonique et une baisse de l'activité photosynthétique. Ces conditions réduisent ainsi la production du zooplancton et le recrutement de la plupart des poissons planctonophages est aussi nettement moindre (Gophen *et al.*, 1985).

Les deux espèces qui nous intéressent lors de cette étude sont la perche (*Perca fluviatilis* L. 1758) et le gardon (*Rutilus rutilus* L. 1758), au stade jeune. Toutes deux se situent dans le compartiment des poissons zooplanctonophages. Au fur et à mesure de leur croissance, elles vont aussi se nourrir de macro-invertébrés et alors être considérées comme omnivores.

Par contre au stade adulte, la perche sera piscivore; tandis que le gardon restera omnivore.

On peut donc dès lors se demander quel sera leur effet sur le zooplancton en lac. Sont-ils des prédateurs généralistes ou sélectifs ?

Les données sur les contenus stomacaux tendent à montrer que, bien qu'il est souvent admis que les consommateurs soient sélectifs, ils peuvent être considérés comme des prédateurs généralistes. Ils sont sélectifs en ce sens qu'ils consomment les espèces proies dont les individus sont les plus visibles et les plus intéressants énergétiquement parlant, mais ils sont généralistes car ils se nourrissent des proies les plus abondantes (Gliwicz, 2002).

I.2. Description des espèces

I.2.1. La perche

I.2.1.1. Classification systématique

Classe: Actinopterygii (squelette osseux)

Ordre: Perciformes

Famille: Percidae

Genre: *Perca*

Espèce: *fluviatilis* (Linné 1758)

Synonymes: voir liste des synonymes 1-1

Noms communs:- Perche fluviatile

- Perche commune

- Perche européenne

(www.fishbase.org-08/05/2003)

I.2.1.2. Distribution géographique

La perche fluviatile est originaire du Kazakhstan et est apparue lors de l'ère tertiaire (Hoestland, 1980). On la retrouve actuellement en Europe et en Asie du nord (66°N-43°S). En Europe, sa distribution est limitée au nord par les îles anglaises et la Norvège (à cause de la température) et au sud, par les Pyrénées (barrière physique) et l'Italie (www.fishbase.org-08/05/2003). Elle a été introduite en Afrique et Océanie. En regardant la distribution géographique, il est facile de remarquer qu'il s'agit d'une espèce bien adaptée à des eaux douces tempérées, plutôt froides (figure 1-4).

I.2.1.3. Morphologie

* Description

La forme générale du corps de la perche est allongée et se renflant dans la partie antérieure et au niveau de la nageoire dorsale.

La figure 1-5 permet une visualisation de *Perca fluviatilis*.



Figure 1-5 : *Perca fluviatilis*.
www.fishbase.org (08/05/2003)

La nageoire dorsale est divisée en deux parties juxtaposées : une antérieure comprenant 13 à 15 rayons épineux et une postérieure, plus courte, à plusieurs rayons mous et à 1 à 2 rayons épineux. La nageoire anale comprend deux rayons épineux, par contre la pelvienne n'en a qu'un. (Muus et Dahlström, 1981; Pivnicka, 1987; Billard, 1997; Keith et Allardi, 2001).

* Coloration

Les nageoires pelviennes, anales et parfois caudale sont de coloration rouge- orange. La couleur du corps est assez caractéristique : le dos est d'un vert plus ou moins foncé, qui se fonde progressivement vers un ventre gris blanchâtre. Les flancs de la perche sont zébrés de bandes verticales de teinte noire verdâtre (Muus et Dahlström, 1981; Pivnicka, 1987; Billard, 1997; Keith et Allardi, 2001).

* Taille

La perche atteint généralement 25 cm et 200 g à 8-10 ans. Le maximum rencontré jusqu'à présent est de 50 cm et 3 kg.

I.2.1.4. Habitat et mœurs

La perche est extrêmement commune dans les eaux calmes, cours inférieur des rivières, lacs et retenues. Bref on la rencontre surtout en milieu lentique, où la vitesse du courant est inférieure à 2,5 cm/s pour les larves et 60 cm/s pour les adultes (Keith et Allardi, 2001).

Elle peut vivre dans des zones relativement profondes (en lac, on la rencontre jusque 40 m) mais qui présentent toujours de bonnes conditions d'oxygénation (Muus et Dahlström, 1981). Selon les auteurs, ce poisson se plaît respectivement soit dans des eaux sans végétation excessive (Muus et Dahlström, 1981) soit dans des stations envahies par la végétation, comportant soit des arbres ou des racines immergées car sa coloration rayée la prédispose à se dissimuler parmi les ombres (Pivnicka, 1987).

La perche est un poisson assez sédentaire, qui vit souvent en bancs comprenant des individus d'âge et de taille différents (Muus et Dahlström, 1981). Il est bien connu que les perches recherchent les eaux profondes en hiver et que dans les lacs il y a des déplacements par bancs d'âge mais ceci ne peut s'appeler migration (=déplacement à distance sans retour au point de départ); il s'agit de déplacements périodiques fréquents (Hoestlandt, 1980).

I.2.1.5. Reproduction

La perche fluviatile est une espèce à reproduction synchrone printanière qui fréquente les milieux méso- et oligotrophes pour se reproduire (Collignon, 1998).

Selon certains articles et ouvrages généraux (Papageorgiou, 1977; Treasurer, 1981; Keith et Allardi, 2001), les mâles deviennent matures entre 1 et 3 ans à une longueur de plus ou moins 6 cm. Par contre les femelles se reproduisent pour la première fois entre 2 et 4 ans à une longueur de 15-18 cm. Pour d'autres (Jamet *et al.*, 1990), les individus se reproduisent à

partir de 2 ans pour les 2 sexes. Toutefois si les conditions de croissance sont très bonnes, la maturité sexuelle peut être avancée (Keith et Allardi, 2001).

La période de frai se déroule au printemps, le plus souvent en avril-mai (Kayes et Calbert, 1979; Pivnicka, 1987; Gillet *et al.*, 1995). Mais elle peut varier selon les auteurs. Pour certains elle commence mi-avril pour se terminer vers la fin juin (Zeh *et al.*, 1989). Pour d'autres, elle se déroule de la fin avril au début ou à la fin mai (Jamet *et al.*, 1990; Wang *et al.*, 1994).

Les œufs pondus sont reliés par une gaine gélatineuse qui les protège des chocs mécaniques et des prédateurs. Ces œufs forment de ce fait une structure complexe (Collignon, 1998) : les œufs sont naturellement en chapelet et l'ensemble de la ponte a un aspect de dentelle (Hoestlandt, 1980; Zeh *et al.*, 1989). Ce mucus permet aux œufs de coller aux macrophytes (Zeh *et al.*, 1989; Billard, 1997).

Le nombre d'œufs pondus varie grossièrement entre 80 et 250 . 10³ œufs/kg de poids vif (Pivnicka, 1987). Mais les valeurs les plus souvent citées dans la littérature se trouvent aux alentours de 130 à 140.10³œufs/kg (Craig, 1974; Papageorgiou, 1977; Collignon, 1998). Bien sûr cette quantité varie avec l'âge, le poids des gonades et le poids corporel (Treasurer, 1981).

Le diamètre des œufs est de 2,3 à 2,9 mm selon Hoestlandt (1980). Pour Treasurer (1981), il n'est que de 0,94 à 1,62 mm. Plus les œufs sont gros, plus ils auront une meilleure chance de survie.

Généralement, l'emplacement des pontes est choisi en eaux peu profondes et où la végétation est abondante (Muus et Dahlström, 1981; Zeh *et al.*, 1989).

L'éclosion se fait après une période de 1 à 3 semaines, selon la température de l'eau (Guma'a, 1978). En effet, le temps de développement des œufs dépend de la température. Les masses d'œufs pondus tôt dans l'année sont exposées à des températures faibles et donc se développent plus lentement. Par contre les œufs pondus plus tard dans l'année et donc exposés à des températures plus élevées se développent plus rapidement (Zeh *et al.*, 1989). Dans la littérature, on donne une large gamme de durées d'incubation variant entre 96 et 243 °j (Thorpe, 1977; Collignon, 1998). Bien sûr, la durée d'incubation varie aussi en fonction de l'endroit de ponte et des conditions de lumière, d'oxygène dissous, de température, de nourriture...qui y règnent.

Les larves à l'éclosion mesurent entre 4,07 et 6,70 mm (Collignon, 1998) pour un poids de 0,98 plus ou moins 0,2 mg (Fiogbe, 1994 in Collignon, 1998).

I.2.2. Le gardon

I.2.2.1. Classification systématique

Classe: Actinopterygii

Ordre: Cypriniformes

Famille: Cyprinidae

Genre: *Rutilus*

Espèce: *rutilus* (Linné 1758)

Synonymes: voir liste des synonymes 1-2

Noms communs: - Gardon blanc

- Gardon commun

- Rousse

- Roche

(www.fishbase.org-08/05/2003)

I.2.2.2. Distribution géographique

Le gardon est une espèce d'Europe centrale et de l'est (60°N-42°S). La limite septentrionale de sa répartition se situe au niveau de la Finlande, la Suède et l'Angleterre, tandis que sa limite méridionale se trouve au niveau des Alpes et des Bosphores (Keith et Allardi, 2001-www.fishbase.org). Il a été introduit en Afrique, en Asie et Océanie (figure 1-6) (www.fishbase.org-08/05/2003).

I.2.2.3. Morphologie

* Description

La nageoire dorsale se situe à l'aplomb de l'insertion des nageoires pelviennes. La bouche est terminale et les écailles sont assez grandes, en général elles sont au nombre de 41 à 48 le long de la ligne latérale (Muus et Dahlström, 1981 ; Pivnicka, 1987; Billard, 1997 ; Keith et Allardi, 2001).

La figure 1-7 permet une visualisation de *Rutilus rutilus*.



Figure 1-7 : *Rutilus rutilus*.
www.fishbase.org (08/05/2003)

* Coloration

Les nageoires pelviennes et anale sont de couleur orange à rouge brique, tandis que toutes les autres sont grisâtres.

La couleur générale du corps est argentée à reflet doré sur les flancs et le ventre, tandis que le dos est verdâtre (Muus et Dahlström, 1981; Pivnicka, 1987; Billard, 1997; Keith et Allardi, 2001).

* Taille

Le gardon atteint généralement 25 à 30 cm pour un poids de 200 g à l'âge de 7 à 12 ans. Dans les lacs surpeuplés, la taille ne dépassera jamais 10 à 15 cm. Par contre en Mer Noire et en Suède, il n'est pas rare de rencontrer des poissons de 40 cm et 1 kg.

I.2.2.4. Habitat et mœurs

Le gardon, cyprinidé le plus répandu et le plus commun dans les milieux lenticules et en aval des cours d'eau, est une espèce grégaire pouvant former de grands bancs. Il est eurytherme et euryhalin et se rencontre même dans les estuaires et quelques mers intérieures (mer Noire, d'Aral et Caspienne) (Keith et Allardi, 2001).

Il tolère diverses formes de pollution et dégradation physique du milieu (Muus et Dalhström, 1981; Billard, 1989).

I.2.2.5. Reproduction

Le gardon est une espèce supportant les milieux eutrophisés et les fréquente aussi lors de la reproduction.

Le gardon présente une certaine fidélité à un site de ponte spécifique. Les mâles arrivent sur la zone de frai quelques jours avant les femelles. Quand arrive le frai, la tête et le corps du mâle se couvrent de tubercules nuptiaux en forme de petits cônes (Muus et Dahlström, 1981; Pivnicka, 1987). Une éruption semblable, mais moins développée, s'observe aussi chez les femelles.

A l'arrivée des femelles, le frai a lieu durant 1 semaine avec souvent des jeux nuptiaux apparents et bruyants (Muus et Dahlström, 1981).

Pour Pivnicka (1987) la maturité sexuelle apparaît à partir de 2-3 ans pour les 2 sexes. Pour d'autres auteurs (Jamet, 1994; Keith et Allardi, 2001), les mâles deviennent matures à 2-3 ans et les femelles à 3-4 ans.

La période de reproduction se déroule au printemps, le plus souvent d'avril à juin (Pivnicka, 1987; Jamet, 1994; Billard, 1997; Keith et Allardi, 2001) quand la température de l'eau est de 14-15°C (Mills, 1991; Jamet, 1994).

Le frai est collectif (Pivnicka, 1987) : de vastes bancs viennent pondre sur les végétaux, les fonds pierreux, les graviers, les enrochements (Pivnicka, 1987; Billard, 1997). Idéalement, l'acte de ponte se déroule en bordure des berges à une profondeur inférieure à 1m (Pivnicka, 1987; Mills, 1991).

Les œufs pondus sont de couleur rose à jaunâtre. Leur viscosité leur permet d'adhérer au substrat.

Les chiffres courants de fécondité relative sont compris entre 108 et $184 \cdot 10^3$ œufs/kg (Grandjean, 1993). Mais il n'est pas rare de trouver dans la littérature un nombre d'œufs compris entre 200.000 et 400.000 /kg (Pivnicka, 1987; Keith et Allardi, 2001). Pour d'autres auteurs (Muus et Dahlström, 1981), la fécondité relative ne serait que de 5.000 à 10.0000 œufs/kg.

Le diamètre des œufs varie selon les auteurs : pour Cerny (1977) il varie de 1,9 à 2,5 mm et pour Keith et Allardi (2001) il varie de 1,1 à 1,5 mm. Le taux de fécondité des œufs est élevé (98 à 100 %) mais une grande mortalité (95 %) survient pendant la période d'incubation à cause essentiellement de la prédation (Cowx, 1995).

Le temps d'incubation des œufs est en général de 4 à 10 jours (Muus et Dahlström, 1981), mais varie bien sûr avec la température.

La larve nouvellement éclos mesure 4,6 à 6,5 mm, elle vit passivement durant 2 à 5 jours jusqu'à ce que la vésicule soit résorbée (Muus et Dahlström, 1981).

I.3. Régime alimentaire des deux espèces

I.3.1. Régime alimentaire au stade jeune

De manière générale, les larves ont un régime alimentaire opportuniste c'est-à-dire qu'elles mangent plus ou moins tout ce qu'elles trouvent dans le milieu mais essentiellement du zooplancton et du phytoplancton (Tans, 2000). Malgré cela, on peut tout de même observer divers changements du régime alimentaire chez le jeune poisson durant le premier été (Guma'a, 1978; Wootton, 1990) (figure 1-8). En effet, la taille de la proie ingérée est en relation directe avec le diamètre de l'ouverture de la bouche du prédateur qui lui-même est en relation linéaire avec la longueur du corps de celui-ci (Treasurer, 1990; Wootton, 1990; Wang, 1994; Romare, 2000).

Différentes études ont été réalisées sur le régime alimentaire des deux espèces étudiées dans le cadre de ce mémoire.

I.3.1.1. La perche

Durant les trois premières semaines de sa vie, la larve de perche se nourrit principalement de rotifères, en particulier les genres *Polyarthra* et *Keratella*, et d'algues (Guma'a, 1978; Treasurer, 1992; Wang, 1994; Kestemont *et al.*, 1996) (figure 1-9). Les nauplii et protozoaires ciliés constituent le reste de l'alimentation (Guma'a, 1978; Cook *et al.*, 1988; Treasurer, 1992; Kestemont *et al.*, 1996).

Du mois de juin au mois de novembre, l'alimentation est dominée par les copépodes et les cladocères (Guma'a, 1978; Treasurer, 1992; Wang, 1994; Horpilla *et al.*, 2000). Les stades copépodite et nauplii chez les copépodes peuvent constituer respectivement jusqu'à 31 et 68 % du régime alimentaire de la perche (Treasurer, 1992). Chez les cladocères, ce sont surtout les *Daphnia* sp., *Sida crystallina* (O.F. Müller, 1776) (Chappaz *et al.*, 1989; Treasurer, 1992; Wang, 1994), *Bosmina* sp. (Guma'a, 1978; Hammer, 1985; Cook *et al.*, 1988) qui dominant ; ils peuvent constituer la source la plus importante de nourriture (de 39 à 100 %) (Hammer, 1985) (Tableau 1-I).

La consommation de chironomidae se fait au milieu de l'été et en hiver (Wang, 1994; Horpilla *et al.*, 2000).

Comme on peut le voir, la perche va passer progressivement d'un régime alimentaire composé de zooplancton à un régime alimentaire composé de larves d'insectes et autres macroinvertébrés et cela avant la fin de son premier été.

La perche n'a pas un comportement sélectif vis-à-vis de son alimentation ; elle exerce une prédation sur les trois groupes zooplanctoniques (Hammer, 1985).

L'évolution du régime alimentaire au stade jeune en fonction de la taille est présentée dans le tableau 1-II.

Les larves et les juvéniles de perche sélectionneront tout d'abord les *Daphnia* sp. de petite et moyenne tailles puis progressivement vont se nourrir des plus grandes (1,3-1,9 mm) (Wang, 1994). Comme Guma'a (1978) l'a mis en évidence, les habitudes alimentaires des larves peuvent être différentes de celles des adultes car elles préfèrent les individus proies plus petits, qui sont plus faciles à digérer pour elles.

Par contre si on compare l'analyse des contenus stomacaux de larves de perches et de gardons, on remarque que les jeunes perches se nourrissent d'un zooplancton de plus grande taille (Chappaz *et al.*, 1989). Boulet (1958 in Chappaz *et al.*, 1989) démontre que la perche possède une meilleure perception visuelle diurne du mouvement, pourvu que les objets soient assez volumineux.

Des études expérimentales ont montré que ce n'est pas seulement la quantité de nourriture qui peut influencer la croissance des jeunes perches mais aussi le type de proies et leur taille (Mills *et al.*, 1989). L'augmentation des espèces proies et spécifiquement les fortes abondances de *Daphnia* sp. et autres grands cladocères au début et à la fin de l'été peut être essentielle pour la croissance et la survie des larves (Romare, 2000). En effet, un faible taux de croissance au début de l'été ne fait qu'augmenter la période pendant laquelle la larve est

vulnérable (Tonn *et al.*, 1986 in Romare, 2000). Par contre un faible taux de croissance en fin d'été va diminuer la survie hivernale des larves (Persson et Greenberg, 1990).

Chez la perche, un régime alimentaire composé de cladocères conduit à une meilleure croissance comparé à un régime composé de cyclopoïdes ou de proies benthiques. Cela est simplement dû à la faible efficacité d'ingestion des copépodes (Romare, 2000).

L'analyse des différents indices de sélectivité, d'abondance et d'occurrence nous montre quelques généralités. Pour l'indice de sélectivité, on remarque qu'avant fin juin la perche a toujours un indice positif pour les copépodes et un indice négatif pour la plupart des cladocères dont *Daphnia* sp. (Guma'a, 1978; Treasurer, 1992; Wang, 1994) (figure 1-10). Par contre à partir d'août, les valeurs sont variables (Wang, 1994). Pour l'indice d'abondance et d'occurrence des proies, le zooplancton et les larves de diptères constituent, été comme hiver, l'essentiel de l'alimentation des jeunes perches (Chappaz *et al.*, 1989).

En juillet et en août, la recherche de nourriture se fait toute la journée. A partir de septembre, la recherche se déroule uniquement au lever et coucher du soleil (Thorpe, 1977). En effet, c'est à cette période que l'abondance du zooplancton diminue et donc les larves sont obligées de se nourrir à ces moments c'est-à-dire quand l'acuité visuelle des perches adultes (leur prédateur principal) est diminuée et quand le zooplancton pélagique migre à la surface. De ce fait les larves vont donc souvent en zone pélagique pour se nourrir et retournent ensuite en zone littorale (Wang, 1994). Mais quelle que soit la saison, les larves se nourrissent très rarement pendant la nuit (entre minuit et cinq heures du matin) (Guma'a, 1978).

I.3.1.2. Le gardon

Les tableaux 1-III et 1-IV nous montrent respectivement le pourcentage de larves contenant les différentes catégories alimentaires (Hammer, 1985) et l'importance relative des catégories alimentaires dans le régime des gardons 0+ (Hammer, 1985). Initialement, le gardon se nourrit de rotifères et de diatomées (Garner, 1996).

L'évolution du régime alimentaire peut être visualisé sur le tableau 1-V.

Comme nous le montre le tableau, le gardon est plus sélectif point de vue nourriture que la perche (Hammer, 1985). Il se nourrira principalement de *Chydorus* sp. et *Bosmina* sp. s'ils sont présents dans le milieu, tandis que la perche mangera tout ce qu'elle trouvera. L'utilisation des cladocères comme source de nourriture commune durant la fin du stade larvaire et le début du stade juvénile est probablement due à la facilité de leur capture en comparaison de celle des copépodes, même si ces derniers sont numériquement plus abondants dans le milieu (Hammer, 1985).

I.3.1.3. Comparaison du régime alimentaire de la perche et du gardon au stade jeune

La comparaison entre les contenus stomacaux des deux espèces et ce qui est présent dans le milieu nous montre que les deux espèces se nourrissent de *Daphnia* sp. quand elle est présente ; sinon il y a apparition de différences entre les deux régimes alimentaires. La sélection des proies chez la perche se fait sur les formes de plus grandes tailles tandis que les gardons ingèrent des formes de plus petites tailles et moins mobiles (Cook *et al.*, 1988). La différence de régime alimentaire entre les deux espèces serait principalement due à leur stratégie alimentaire (Cook *et al.*, 1988) : les perches sont décrites comme des prédateurs chassant à l'affût (Guma'a, 1978) tandis que les gardons sont des filtreurs par déplacement

(Gerritsen *et al.*, 1977). Cette différence facilite la séparation des ressources alimentaires entre les deux espèces.

Lessmark (1983 *in* Horpilla *et al.*, 2000) a trouvé que pour un poisson de 7-8 cm de long, la taille minimum de la proie est de 0,5 mm pour la perche et 0,3 mm pour le gardon. La taille moyenne des Bosminidae étant inférieure à 0,5 mm, le gardon se nourrit du zooplancton qui ne peut être utilisé par la perche.

A cause de l'utilisation du zooplancton par le gardon, plusieurs classes d'âge de perches sont forcées d'ingérer des macroinvertébrés, qui diminuent leur taux de croissance et retardent leur changement de régime alimentaire (vers un régime piscivore) (Horpilla *et al.*, 2000).

En résumé on peut dire que le gardon se nourrit principalement de rotifères et de cladocères; tandis que les copépodes sont rarement ingérés (Hammer, 1985). La perche quant à elle se nourrit d'une plus large catégorie d'aliments : du zooplancton mais aussi des invertébrés benthiques (Hammer, 1985).

I.3.2. Comparaisons du régime alimentaire de la perche et du gardon au stade adulte

Au stade adulte, la perche est considérée comme un poisson invertivore et piscivore (Thorpe, 1977).

De l'âge 2+ à 6+, la perche possède un régime mixte mais composé essentiellement de zooplancton de grande taille et de larves d'insectes (Chappaz *et al.*, 1989; Jamet, 1990 ; Guti, 1993; Horpilla, 2000) (figure 1-11). La prédation sur le zooplancton (surtout *Daphnia hyalina* Leydig, 1860) est effectuée aux mois de juillet et novembre. La consommation de larves d'insectes se fait toute l'année mais en quantité variable : la consommation de larves d'odonates est surtout réalisée en mars et celle de diptères (chironomidae) surtout en avril (Jamet, 1990).

Ici aussi, le type de nourriture est fonction de la longueur du corps du poisson. Le zooplancton est trouvé dans les estomacs de perches jusque 130 mm bien qu'il soit la proie caractéristique des perches inférieures à 50 mm (Guti, 1993). Les macroinvertébrés dominent le régime des individus qui mesurent plus de 50 mm et les poissons sont les proies les plus fréquentes pour les perches de plus de 130 mm (Guti, 1993) (figure 1-12).

A partir de l'âge 5+, la perche possède un régime piscivore (Jamet, 1990).

De manière générale le gardon est un omnivore, il mange du zooplancton, zoobenthos, détritus, épiphytes, phytoplancton et macrophytes (Rask, 1989).

Mais selon les études menées par différents scientifiques, le principal aliment ingéré peut varier.

Par exemple dans le lac Balaton (Specziar *et al.*, 1997) (figure 1-13), la nourriture du gardon est constituée principalement de mollusques benthiques et périphtiques dont *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) (47,2 %) et de gastéropodes (14,5 %). Le gardon est exceptionnellement herbivore en consommant des algues (27,1 %).

Les études de Rask (1989) ont, elles, montré que le gardon exerçait surtout une prédation sur l'escargot de vase *Hydrobia* spp. et sur la moule *Mytilus edulis* (Linnaeus, 1758).

Pour d'autres comme Hellawell (1972) et Garner (1996), le matériel végétal et sa méiofaune associée sont les principaux constituants du régime alimentaire du gardon et représentent 37 % en indice d'occurrence et 60 % en volume (Hellawell, 1972). Quand le sol et les détritus sont inclus, le compartiment non- animal du régime alimentaire équivaut à 70% du total. Dans la nourriture animale, les mollusques sont les plus importants (21 % du volume) avec *Sphaerium* et *Lymnea* comme genres dominants.

Ces résultats confirment le point de vue généralement accepté que le gardon est essentiellement un animal qui se nourrit sur le fond en prenant sa nourriture sur le substrat et cela bien qu'il soit omnivore (Hellawell, 1972).

I.4. Facteurs conditionnant le recrutement

L'abondance d'une espèce de poisson au stade jeune dans un milieu déterminé n'est jamais comparable d'une année à l'autre. Celle-ci n'est jamais exposée à des conditions constantes, mais vit dans un environnement qui « change » (Jachner, 1989; Jobling, 1995; Mooij, 1996) (figure 1-14).

Il est bien connu que le recrutement (nombre de poissons produits au terme de la première année de croissance par rapport au nombre de géniteurs qui ont frayé au printemps) d'une population de poissons est en relation avec la mortalité des individus dans les premiers stades de vie c'est-à-dire pendant la période embryonnaire, larvaire et au stade juvénile (Mooij, 1996; Cowx et Welcomme, 1998).

Une variation du recrutement de deux à trois ordres de magnitude d'une année à l'autre est communément observée que ce soit en milieu marin ou d'eau douce (Persson *et al.*, 1992).

C'est pendant les premiers stades de vie que la mortalité est la plus élevée (Jachner, 1989). Ainsi chez les cyprins, le taux de mortalité peut varier entre 8,7 et 48 % par semaine, voire même plus dans certains cas (Mills, 1991).

Hormis une mortalité importante, les premiers mois de vie sont caractérisés par une croissance très rapide. En effet, dans les premiers mois de vie, la croissance des individus sera exponentielle (Wieser *et al.*, 1988) :

$$W_1 = W_0 * e^{Gt}$$

* W_0 - W_1 sont respectivement le poids frais aux premier et dernier jours de l'expérience en gramme.

* G représente le coefficient de croissance

* T représente le temps en jour après l'éclosion.

Cette croissance exponentielle s'explique principalement par le fait que la prise alimentaire, le taux d'ingestion et de digestion sont adaptés de telle manière à maximiser la croissance (Wieser *et al.*; 1988; Schiemer et Wieser, 1992). Une croissance rapide permet une réduction du stade jeune, stade le plus vulnérable pour l'individu. Donc plus l'individu grandit vite, plus il augmente ses chances de survie (Nunn *et al.*, 2003). Les facteurs qui déterminent le taux de croissance des individus peuvent être divisés en facteurs exogènes imposés par l'environnement et en facteurs endogènes reliés au génotype et aux conditions physiologiques du poisson (Wootton, 1990).

Par exemple pour le gardon (*Rutilus rutilus*), le taux de croissance peut varier de 30 % * jour⁻¹ (Wieser et Medgyesy, 1990) à 72,8 % * jour⁻¹ (Wieser *et al.*, 1988).

Différents modèles de croissance sont décrits dans la littérature. Celui qui est le plus souvent cité comme référence est celui de Mooij et Van Tongeren (1990). La croissance y est vue comme un effet multiple de trois paramètres : la température, la taille du corps et la disponibilité en nourriture :

$$dw_t/dt = a * w_t^b * (T_t - c)$$

Où - w représente le poids frais en gramme

- t représente le temps en jours
- a représente le taux de croissance absolu d'un poisson de 1 g à une température de 1°C au dessus du paramètre c
- b représente un paramètre de poids
- T représente la température en degrés Celsius
- c représente un paramètre de pression

I.4.1. Le succès du frai

Les poissons sont capables d'utiliser un grand nombre de substrats pour la reproduction. On peut donc déterminer différentes guildes reproductrices : lithophile, phytolithophile, phytophile, psammophile, gardienne, ostracophile, pélagophile (Cowx et Welcomme, 1998). Le perche et le gardon sont typiquement des poissons phytolithophiles, pondant des œufs collant aux plantes et aux pierres (Garner, 1996; Mann, 1996).

C'est la stabilité du substrat pendant la période du frai qui va déterminer le succès reproducteur d'une espèce. En effet, si le marnage devient trop important, les œufs vont se trouver pendant un certain temps émergés ou seront même dispersés dans le milieu (Mills, 1984; Mann, 1996).

La sédimentation sur les œufs intervient surtout dans les milieux lentiques et agit probablement en réduisant les possibilités d'absorption d'oxygène par l'œuf (Gillet, 1995; Mann, 1996).

I.4.2. La luminosité

La lumière semble, à priori, un facteur négligeable dans le phénomène de recrutement. Mais en y prêtant plus attention, on remarque qu'une lumière plus intense permet aux larves une meilleure vision de leurs proies, et donc une augmentation de croissance plus rapide (Mills, 1984). La réduction de l'efficacité de capture des proies a été démontrée chez beaucoup d'espèces dont la perche (Livertoux, 1995 *in* Tans, 2000).

I.4.3. Le pH

Il existe un effet significatif du pH sur la répartition des alevins qui évitent les zones où le pH dépasse une valeur seuil de 10, valeur citée comme seuil critique dans la littérature (Mergen, 2002). Les changements de pH peuvent altérer le développement des gonades et donc retarder la ponte. Mais ils peuvent aussi engendrer la non-éclosion des œufs et donc entraîner leur mort. On remarque aussi que les poissons provenant de lacs naturellement acides ont une taille plus petite (Wootton, 1990).

I.4.4. L'oxygène dissous

La concentration en oxygène dissous dans l'eau constitue aussi un facteur de mortalité. Typiquement il y a une concentration critique d'oxygène en dessous de laquelle on observe une diminution de croissance et cela même en présence de nourriture excessive (Wootton, 1990). Bien évidemment ce facteur est moins important dans les milieux lotiques que lentiques, étant donné le faible taux de réaération de ces derniers.

Une diminution de l'oxygène entraînera des dégâts irréversibles à l'individu et finalement conduira à la mort de celui-ci (Mills, 1991). En plus, la dégénération de ces œufs morts pourrait entraîner le développement de bactéries qui tueront les œufs ayant survécu (Jobling, 1995).

I.4.5. La présence d'abris

La végétation aquatique est souvent utilisée par les alevins comme protection contre les prédateurs, mais aussi comme source de nourriture (Christensen et Persson, 1993; Garner, 1996). En effet, c'est dans cette végétation que vient se cacher le zooplancton.

Il va de soi que si l'on compare la zone pélagique avec la zone littorale d'un milieu lentique, cette dernière comprend une plus grande diversité d'habitats et donc une plus grande richesse spécifique. Et au sein de cette zone littorale, les zones herbacées ont une diversité encore augmentée. Il ne faut donc pas négliger l'importance d'une telle zone servant à la fois de site de reproduction, nurseries, refuge et prédation (Tans, 2000).

I.4.6. La densité de population et la compétition

La densité des jeunes larves est parfois telle que les ressources alimentaires du milieu sont devenues insuffisantes. Il en résulte une compétition inter ou intraspécifique pour les ressources et les éventuels habitats disponibles (Jachner, 1989; Jobling, 1995; Grenouillet *et al.*, 2001; Nunn *et al.*, 2003). La compétition conjuguée au peu de nourriture joue négativement sur le taux de croissance (Cowx, 1990; Romare, 2000). La diminution de croissance peut s'expliquer par le fait que les gros individus au sein de la population zooplanctonique vont être ingérés d'abord. Il ne restera donc plus que les petits individus, à plus faible énergie, et donc la croissance diminuera (Perrow et Irvine, 1992). Un autre effet de la densité de population est de diminuer la quantité des réserves vitellines de l'embryon et donc d'augmenter les risques de mortalité par famine de la larve récemment éclosée et n'ayant pas encore appris à se nourrir des ressources extérieures (Jobling, 1995).

I.4.7. La prédation

La prédation intra-(cannibalisme) et inter-spécifique sont considérées comme des facteurs de mortalité importants (Craig et Kipling, 1983; Mooij, 1992 in Tans, 2000; Mooij, 1996).

Il est bien évident que ce sont les jeunes qui sont les plus exposés à ce phénomène à cause de leur faible développement morphologique : ils ne possèdent encore ni yeux ni nageoires pour guetter et s'enfuir rapidement à l'approche d'un prédateur (Whiteside *et al.*, 1985). Cela suggère que la survie dépend critiqueusement du temps requis pour être consommables par les prédateurs potentiels. La durée de la période larvaire dépend, elle, du taux de croissance, qui lui-même dépend de la température (cfr Modèle de Mooij et Van Tongeren, 1990).

I.4.8. La taille des poissons

Le taux de croissance des poissons est fortement dépendant leur taille (Mooij, 1992 in Tans, 2000). Pendant la période larvaire, le taux de croissance est très important, puis il diminue tout au long de la période juvénile (Bry *et al.*, 1991).

Le taux de croissance des alevins est positivement corrélé avec leur taille (Craig et Kipling, 1983). En effet, plus l'individu est grand, plus ses structures morphologiques sont développées et mieux il sait fuir ses prédateurs (Mann, 1991). Les individus à croissance rapide sont donc favorisés, à cause de la faible pression de prédation dont ils font l'objet (Mann, 1991)

I.4.9. La température

Parmi les nombreux facteurs biotiques et abiotiques qui affectent les différents taux (croissance, digestion, excrétion, conversion alimentaire), la température est reconnue comme le « facteur contrôlant » (Brett, 1979; Jobling, 1991; Nunn *et al.*, 2003) (figure 1-15). Par contre, la nourriture, l'oxygène ou la restriction de taille peuvent être définis comme les « facteurs limitants » (Brett, 1979).

La température est intéressante à étudier en ce sens que, en lac tempéré, elle inclut à la fois une composante déterministe prévisible (variation saisonnière) et une composante stochastique non prévisible (variation intra-et inter-annuelle) (Persson *et al.*, 1992).

Les poissons sont des animaux hétérothermiques-ectothermes qui sont incapables de réguler leur température corporelle (Kestemont et Baras, 2001; Tonn, 1990). Chaque espèce présente, dans les conditions naturelles, une zone de tolérance thermique. Au-delà des valeurs extrêmes, il n'est plus possible à ces animaux de se maintenir en vie pendant un temps prolongé. La distribution d'une espèce, en fonction de ses préférences thermiques est présentée sur la figure 1-16 (Demaël et Pérès, 1974) :

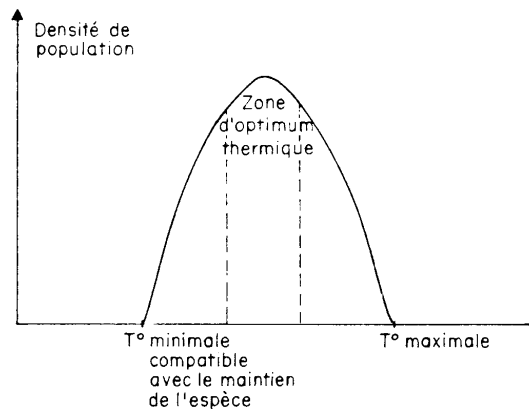


Figure 1-16 : Distribution d'une espèce en fonction de ses préférences thermiques (Demaël et Pérès, 1974).

Généralement, les poissons sont divisés en deux groupes : les sténothermes qui ont une faible tolérance à la température et les eurythermes qui ont une grande tolérance à la température (Kestemont et Baras, 2001; Jobling, 1991).

Comme le poisson est un animal ectotherme, la température a donc un effet majeur sur différents processus du poisson incluant le frai, le développement, la croissance et l'étendue du métabolisme (Tonn, 1990).

Une variation de température est néfaste pour les individus car c'est elle qui régule les vitesses des réactions chimiques organiques, la respiration, l'activité, la nutrition, la vitesse de croissance... (Tans, 2000).

Une variation de la température va donc modifier la vitesse des différentes réactions chimiques métaboliques (action directe) mais aussi va empêcher le développement des populations zooplanctoniques proies, ce qui aura pour effet de diminuer la croissance et donc augmenter les risques de mortalité des poissons (Tans, 2000).

Il arrive même que certaines années le recrutement soit nul. C'est par exemple le cas des perches (*Perca fluviatilis*) dans l'étude de Treasurer (1989) en 1976. La classe d'âge de 1976 a tout simplement été éliminée.

D'un point de vue théorique, quand la température augmente, on peut remarquer que le taux de croissance augmente très rapidement jusqu'à atteindre un pic (température optimum), puis il diminue précipitamment aux trop hautes températures (Neuman, 1976; Brett, 1979). On peut l'expliquer par le fait que la température a un effet sur la consommation des ressources alimentaires et sur le métabolisme, et donc inévitablement sur la croissance (Wootton, 1990) (figure 1-17). Mais si la température est trop excessive ou trop basse, les dépenses métaboliques seront plus élevées et donc moins d'énergie sera disponible pour la croissance (Mehner et Wieser, 1994).

La température optimale des cyprins est comprise entre 15 et 20 °C (Tans, 2000). Par contre leur température létale se situe entre 8 et 10 °C; à cette température la locomotion des larves est réduite au minimum (la vessie natatoire se remplit avec beaucoup de difficulté) et elles sont incapables d'attraper leur nourriture (Cerny, 1975).

Pour la perche par contre, l'intervalle de température pour un développement embryonnaire fructueux est de 8 à 18 °C avec l'optimum à 13 °C (Sandström *et al.*, 1997)

Kubecka (1994) observe trois grandes phases de croissance chez les poissons O+ des régions tempérées : premièrement une croissance accélérée après l'éclosion, deuxièmement une croissance linéaire tout l'été et enfin une diminution de la croissance en automne.

L'équation de Gompertz (Ricker, 1979 *in* Tans, 2000) modélise cette croissance en taille. Elle se présente comme une courbe asymétrique sigmoïde avec une asymptote supérieure et une asymptote inférieure. Plusieurs formulations du modèle de Gompertz existent et celle qui a été retenue est la suivante :

$$L_t = L_\infty \cdot \exp [-\exp^{(-g) \cdot (t-t_0)}]$$

- Où :
- L infini= longueur asymptotique (mm)
 - g= taux instantané de croissance quand t=t₀
 - t₀ est l'âge (en jours) correspondant au point d'inflexion de la courbe, c'est-à-dire le moment où le taux de croissance commence à diminuer.

La température a des effets sur tous les cycles et stades de développement du poisson, cela va du frai au poisson adulte.

Des températures trop hautes ou trop basses peuvent entraîner la résorption des œufs et d'autres malformations des gonades durant l'automne et l'hiver chez beaucoup d'espèces d'eau douce (Sandström *et al.*, 1997). Par contre, pour d'autres auteurs comme Clady (1976), l'exposition des œufs à des températures relativement faibles a peu d'effet sur leur survie. En effet, la survie observée à faible température se situe dans la moyenne par rapport à celle observée à température normale.

La température a aussi un impact sur la maturation finale de l'oocyte et le frai (Kayes et Calbert, 1979; Sandström *et al.*, 1997). Cependant, l'impact de la température sur le frai est différent selon les auteurs. Pour Sandström *et al.* (1997), la période du frai peut se dérouler plus tôt dans l'année si les températures sont suffisamment chaudes. Par exemple le frai de la perche (*Perca fluviatilis*) peut se dérouler plus ou moins un mois à l'avance dans un environnement réchauffé (Sandström *et al.*, 1995; Sandström *et al.*, 1997).

Par contre pour des auteurs comme Kayes et Calbert (1979); Gillet *et al.* (1995); Neuman, (1976), la température exerce seulement une influence mineure sur la date du commencement du frai mais a un plus grand effet sur son intensité. En effet les années où la température est basse, il y a une diminution visible de l'intensité du frai.

Les données récoltées par ces chercheurs tendent plutôt à montrer que c'est le taux inhérent de maturation des gonades qui détermine le début du frai. Et bien que l'augmentation de température ne déclenche pas le frai, elle intervient toutefois dans la synchronisation du frai une fois la maturation atteinte (Kayes et Calbert, 1979).

L'équation suivante rend compte de l'influence de la température sur le temps d'incubation des œufs :

$$t = a * e^{(-b * T)}$$

- Où - t correspond à un stade de développement déterminé
- a et b correspondent à des constantes
- T correspond à la température

Pour atteindre ce stade de développement, il faut que la température soit la plus précise possible. Une augmentation du temps d'incubation augmente la sensibilité aux facteurs de mortalité (Tans, 2000). Le temps moyen requis pour la différenciation morphologique de l'embryon va donc diminuer exponentiellement avec l'augmentation de la température. De même que la tolérance thermique des stades successifs embryonnaire et larvaire augmente avec la différenciation morphologique (Hokanson *et al.*, 1974) (figure 1-18).

La plupart du temps le taux de mortalité est négligeable les six premiers jours suivant la division des embryons et cela quelles que soient les conditions environnementales (Cerny, 1975) (figure 1-19).

C'est surtout la température durant la période allant de l'éclosion au premier pas vers une nourriture exogène qui a une influence considérable sur la survie des premiers stades de développement (Cerny, 1975; Wang et Eckman, 1994). C'est lors du passage à une nourriture exogène que la mortalité va être la plus marquée (Cerny, 1975) c'est-à-dire aux alentours du jour 9 à 11 (Wang et Eckman, 1994). Les expériences de Cerny (1975) et de Clady (1976) permettent de faire remarquer qu'il existe une corrélation positive entre la survie au début de la vie et la température.

Pour la perche (*Perca fluviatilis*), le taux d'éclosion est maximum pour des températures allant de 12 à 20 °C, et il a été clairement montré que ces larves devenaient plus longues en taille que d'autres écloses à des températures supérieures ou inférieures (Wang et Eckman, 1994 (tableau 1-VI).

On voit donc très bien qu'en règle générale, une température plus chaude va augmenter la survie des poissons tout en diminuant la durée de la période larvaire (Neuman, 1976; Mooij, 1996 ; Chambers, 2001) (figure 1-20).

La taille moyenne des poissons à la fin de l'été et l'abondance des espèces (Intensité de la classe d'âge) sont souvent positivement corrélées avec la température de l'eau (Neuman, 1976; Copp, 1990; Mills et Hurley, 1990; Griffiths *et al.*, 1995; Sandström *et al.*, 1995; Grenouillet, 2001; Nunn *et al.*, 2003) (figure 1-21). Les années où la température est assez haute on remarque aussi que le poids après la première saison de croissance peut être trois fois supérieur à la normale (Sandström *et al.*, 1995). Comme la taille moyenne des jeunes de l'année est plus grande en milieu chaud et que la survie est positivement corrélée avec la taille, on peut donc affirmer que la survie augmente aussi les années plus chaudes (Sandström *et al.*, 1995).

Des études plus approfondies ont même montré que ce sont les températures en juillet et août qui semblaient être plus essentielles pour dimensionner la classe d'âge (Neuman, 1976).

L'effet de la température ne se fait pas uniquement ressentir les premiers mois de vie. En effet, chez les adultes le cycle annuel peut être divisé en saison chaude de croissance et en

saison froide de non croissance (Griffiths *et al.*, 1995) (figure 1-22). En été, les conditions environnementales permettent une augmentation de la taille du corps et du stockage de l'énergie (Neuman, 1976). La longueur de la saison de croissance et la température durant cette saison sont des déterminants importants de la taille atteinte à la fin de l'été. Le stockage de l'énergie réalisé en été servira à la maintenance des poissons en hiver. Plus la quantité d'énergie stockée sera importante plus le poisson augmentera ses chances de survie hivernale (Griffiths *et al.*, 1995).

Les individus adultes vivant dans un environnement plus chaud arrivent aussi plus vite à leur reproduction maximale et cela à une plus petite taille que la normale. Par exemple la perche *Perca fluviatilis* se reproduira à son maximum à 2-3 ans au lieu de 5-9 ans (Sandström *et al.*, 1995) (figure 1-23).

On peut donc dire que la température régule positivement le nombre d'alevins atteignant un taux de croissance nécessaire pour la survie. Mais ce haut taux de survie va augmenter la compétition pour les ressources alimentaires et l'espace et donc au final, la compétition va neutraliser l'effet positif de la température sur la croissance (Neuman, 1976).

Ce que l'on peut dire pour terminer ce point c'est que les effets de la température sur la croissance sont multiples et ne doivent pas être étudiés seuls. Par exemple, toutes les discussions des effets de la température sur la croissance doivent prendre en compte la disponibilité en nourriture (Jobling, 1991).

I.4.10. La quantité de nourriture

La principale ressource alimentaire des 2 espèces étudiées au stade jeune est le zooplancton qui est constitué des copépodes, cladocères et rotifères. Le régime alimentaire de ces espèces a déjà été développé au point 3.

La relation entre la densité des proies et le nombre de proies attrapées par prédateur est appelé « courbe de réponse fonctionnelle ». Plus la densité des proies augmente, plus le nombre d'attaques augmente. Mais c'est une courbe asymptotique, après un certain temps, le poisson commence à être rassasié (Wootton, 1990) (figure 1-24).

La limitation de nourriture peut affecter la survie de deux manières; soit directement par famine, soit indirectement en retardant la croissance et donc en augmentant la vulnérabilité de l'individu aux facteurs de mortalité (Mooij *et al.*, 1994).

Cette limitation peut être due soit au peu de zooplancton dans le lac, soit à des circonstances inhabituelles quand la taille du zooplancton présent dépasse le diamètre de la bouche des larves (Mooij et Van Tongeren, 1990; Mooij *et al.*, 1994). Et jusqu'à présent aucune évidence de famine n'a été détectée dans un lac eutrophe (Mooij et Van Tongeren, 1990; Mooij *et al.*, 1994).

A la fois la quantité et la qualité (énergie, contenu en nutriments, taille) de la nourriture sont importantes pour une meilleure croissance (Wootton, 1990) et pour une meilleure fécondité (Jobling, 1995). En effet, des poissons bien nourris pondent plus d'œufs et plus souvent que des poissons peu nourris (Jobling, 1995). Mais aussi des poissons O+ présentant une croissance faible est souvent le résultat d'une diminution des populations proies (Nunn *et al.*, 2003).

Le taux de survie et la longueur moyenne totale de la larve sont significativement plus élevés en eau chaudes et contenant une densité de proies potentielles importantes (Wang et Eckman, 1994) (tableau 1-VII).

Pour certains auteurs comme Jachner (1989), la croissance des poissons est dépendante de la température mais le facteur le plus important est une nourriture abondante et appropriée pendant la période critique. Et plus cette nourriture est abondante, plus le taux de croissance sera meilleur (Whiteside *et al.*, 1985; Post et Mc Queen, 1994; Romare, 2000) (figure 1-25).

Il est communément connu que c'est la température qui détermine l'abondance de nourriture dans le milieu (Neuman, 1976). En effet, comme les poissons, le zooplancton a besoin d'une température optimale pour son développement. Si les fluctuations du milieu sont trop importantes, la biomasse du zooplancton diminuera fortement et aura des conséquences mortelles sur les jeunes poissons (Tans, 2000). Mais des études comme celle de Mooij *et al.* (1994) nous prouvent le contraire. Celui-ci n'a trouvé aucune corrélation entre la biomasse de zooplancton et la température. Il en a donc conclu qu'il n'y a probablement pas d'effet de la température via la nourriture sur la croissance.

Pour d'autres (Whiteside *et al.*, 1985), les facteurs qui contrôlent le zooplancton dans un lac sont assez complexes. Mais au niveau de l'écosystème, ce sont la morphométrie du lac et les nutriments présents qui sont importants; un lac avec une morphologie simple et oligotrophe contiendra peu de zooplancton et donc le recrutement des jeunes poissons sera très faible.

Des études ont montré que l'appétit était réduit à haute température. On peut l'expliquer par le fait qu'à haute température, il y a limitation de la capacité du système respiratoire et circulatoire à délivrer l'oxygène aux tissus (car à haute température la solubilité de l'oxygène est moindre) (Jobling, 1991).

Souvent au début de l'été, une part importante des gardons et des perches migre vers la zone pélagique et n'en revient qu'à la fin de la saison de croissance. Les explications de tels changements sont la limitation des ressources alimentaires due à une augmentation des demandes métaboliques durant l'été, l'augmentation de la compétition intraspécifique et une diminution de la compétition interspécifique dans la zone pélagique (Horpilla *et al.*, 2000).

L'abondance des ressources alimentaires peut aussi avoir un effet négatif sur le recrutement. L'étude de Mooij (1996) en est un bon exemple. Dans le lac de Tjeukemeer, les copépodes semblent être les prédateurs les plus importants pour les petits embryons de plus ou moins 7 mm. La prédation de ces copépodes va avoir un impact marqué sur la survie des larves. La vulnérabilité à ce prédateur va bien sûr diminuer avec l'augmentation de la taille du poisson. Plus tard les rôles seront même interchangés : les copépodes deviendront l'aliment majeur des plus grandes larves.

I.5. Conclusions

Après avoir passé en revue la littérature, on voit clairement que divers facteurs interviennent dans le recrutement des poissons. Le plus influent est sans conteste la température. Celle-ci peut avoir un effet direct ou indirect sur les alevins. L'effet indirect se manifeste via les populations zooplanctoniques. En effet, les variations de température empêchent le développement des populations zooplanctoniques proies. Ceci entraîne soit une famine soit une diminution de croissance des alevins qui s'en nourrissent et aura comme conséquence une augmentation du risque de mortalité des alevins.

L'effet de la température sur les alevins eux-mêmes se situe à plusieurs niveaux. Des variations de température vont entraîner une possible résorption des œufs ainsi que des malformations des gonades. La température peut aussi influencer la date du début du frai ainsi

que son intensité. Le temps d'incubation des œufs est aussi fortement corrélé à la température.

On peut résumer en disant qu'une haute température augmente la survie des alevins tout en diminuant le temps de la période larvaire, période la plus sensible pour eux.

Après l'énumération de tous les facteurs influençant le recrutement, il semble indispensable d'étudier plus en détail les populations d'alevins. Afin de mettre en évidence une quelconque influence de la température et de la quantité de nourriture sur ces populations, les données physico-chimiques et le régime alimentaire des ces espèces va donc être analysés.

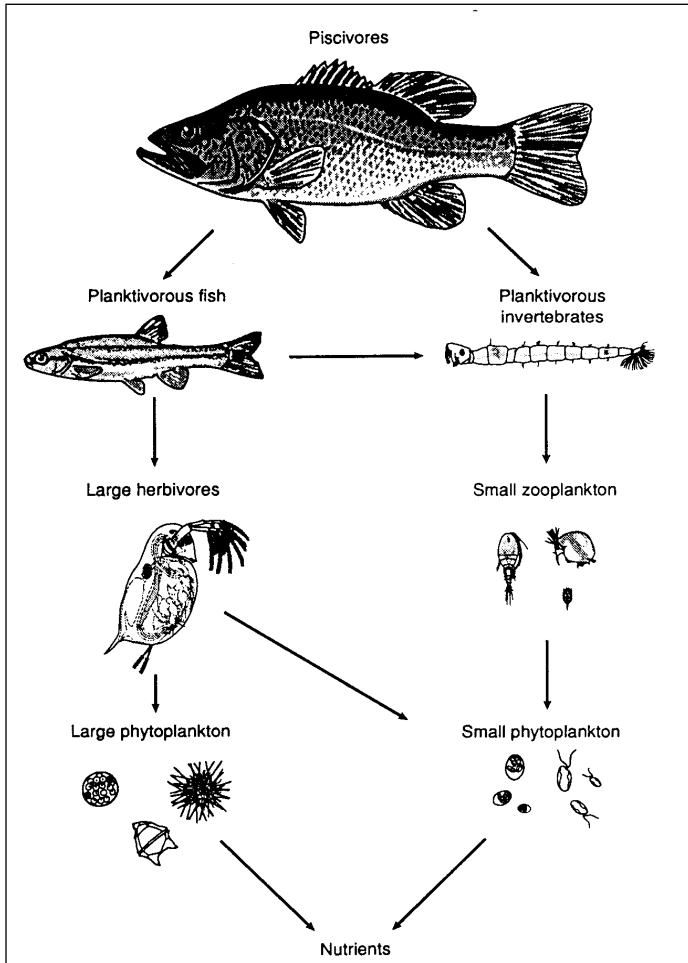


Figure 1-1 : Illustrations des interactions majeurs dans la cascade trophique dans un lac expérimental. Les relations avec les protozoaires et les bactéries non représentées sur ce type de schéma simplifié ne sont cependant pas à négliger (Carpenter et Kitchell, 1993).

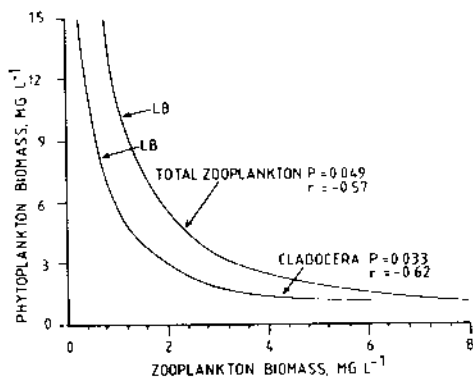


Figure 1-2 : Réduction de la biomasse du phytoplancton quand la biomasse de cladocères ou de zooplancton augmentent dans le lac Balaton (Tatrai et al., 1991).

(Whiteside, 1988).

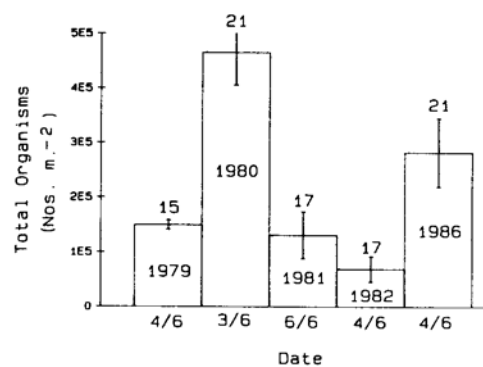


Figure 1-3 : L'abondance du zooplancton littoral du lac Itasca. La température pour chaque date est donnée au dessus des histogrammes. Les printemps les plus chauds sont responsable des plus grandes abondances de zooplancton

Perca fluviatilis zaissanica Dianov, 1955 - *Perca fluviatilis intermedius* Svetovidov & Dorofeyeva, 1963 - *Perca vulgaris aurata* Fitzinger, 1832 - *Perca vulgaris* Schrank, 1792 - *Perca fluviatilis nigrescens* Heckel, 1837 - *Perca fluviatilis macedonica* Karaman, 1924 - *Perca fluviatilis gracilis* Pokrovsky, 1951 - *Perca fluviatilis aurea* Smitt, 1892 - *Perca fluviatilis gibba* Smitt, 1892 - *Perca vulgaris* Schaeffer, 1761 - *Perca fluviatilis maculata* Smitt, 1892 - *Perca italica* Cuvier, 1828 - *Perca helvetica* Gronow, 1854 - *Perca fluviatilis phragmiteti* Berg, 1933 - *Perca vulgaris* Fitzinger, 1832

Liste des synonymes 1-1 : Synonyme des noms latins de la perche commune.



**Figure 1-4 : Distribution de la perche *Perca fluviatilis* (Linné, 1758).
(www.fishbase.org-08/05/2003)**

Rutilus rutilus caspicus tscharchalensis Berg, 1932 - *Rutilus rutilus aralensis phragmiteti* Berg, 1932 - *Rutilus rutilus lacustris menschikowi* Kirillov, 1962 - *Rutilus rutilus caspicus geoktshaicus* Barach, 1941 - *Rutilus rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758) - *Rutilus rutilus caspicus knipowitschi* Pravdin, 1927 - *Rutilus rutilus caspicus kurensis* Berg, 1932 - *Rutilus rutilus caspicus* (Yakovlev, 1870) - *Cyprinus rutilus* Linnaeus, 1758 - *Leuciscus rutiloides* Selys-Longchamps, 1842 - *Leuciscus rutilus aurata* Fatio, 1882 - *Leuciscus rutilus auratus* Yakovlev, 1873 - *Leuciscus rutilus bolmensis* Malm, 1877 - *Leuciscus rutilus communis* Rossikov, 1895 - *Gardonus ruboculus* Walecki, 1863 - *Leuciscus rutilus caspicus* Yakovlev, 1870 - *Leuciscus prasinus* Agassiz, 1835 - *Leuciscus pigus dojranensis* Karaman, 1928 - *Leuciscus pallens* Blanchard, 1866 - *Leuciscus heckelii* Nordmann, 1840 - *Cyprinus rubellio* Leske, 1774 - *Cyprinus fulvus* Vallot, 1837 - *Leuciscus pausingeri* Heckel, 1843 - *Cyprinus jaculus* Jurine, 1825 - *Cyprinus lacustris* Pallas, 1814 - *Leuciscus decipiens* Agassiz, 1835 - *Gardonus pigulus* Bonaparte, 1841 - *Cyprinus pigus* Gronow, 1854 - *Cyprinus xanthopterus* Vallot, 1837 - *Cyprinus simus* Hermann, 1804 - *Leuciscus jurinii* Dybowski, 1862 - *Leuciscus rutilus elongata* Fatio, 1882 - *Leuciscus lividus* Heckel, 1843 - *Leuciscus rutilus communis* Yakovlev, 1873 - *Leuciscus rutilus fluviatilis* Yakovlev, 1873 - *Cyprinus rutilus* Linnaeus, 1758 - *Rutilus rutilus aralensis* Berg, 1916 - *Leuciscus rutilus* (Linnaeus, 1758) - *Rutilus rutilus carpathorossicus* Vladykov, 1930 - *Rutilus rutilus vegariticus* Stephanidis, 1950 - *Rutilus rutilus mariza* Drensky, 1926 - *Rutilus rutilus sucharensis* Stangenberg, 1938 - *Leuciscus rutilus vobla* Dixon, 1909 - *Rutilus rutilus schelkovnikovi* Derjavin, 1926 - *Leucos pigulus* Bonaparte, 1844 - *Leuciscus rutilus wobla* Grimm, 1896 - *Rutilus rutilus goplensis* Stangenberg, 1938 - *Leuciscus rutilus crassa* Fatio, 1882 - *Rutilus rutilus frici* Misik, 1957 - *Leucos cenisophius* Bonaparte, 1841 - *Leuciscus rutilus terekensis* Rossikov, 1895 - *Leucos cenisophius* Bonaparte, 1845 - *Rutilus rutilus bucharensis* Nikolsky, 1933 - *Leuciscus selysii* Selys-Longchamps, 1842 - *Leuciscus rutilus erytraea* Antipa, 1909 - *Leuciscus rutilus elata* Fatio, 1882 - *Leuciscus rutilus daugawensis* Dybowski, 1862 - *Rutilus heckelii* (Nordmann, 1840) - *Rutilus rutilus uzboicus* Berg, 1932

Liste des synonymes 1-2 : Synonyme des noms latins du gardon.

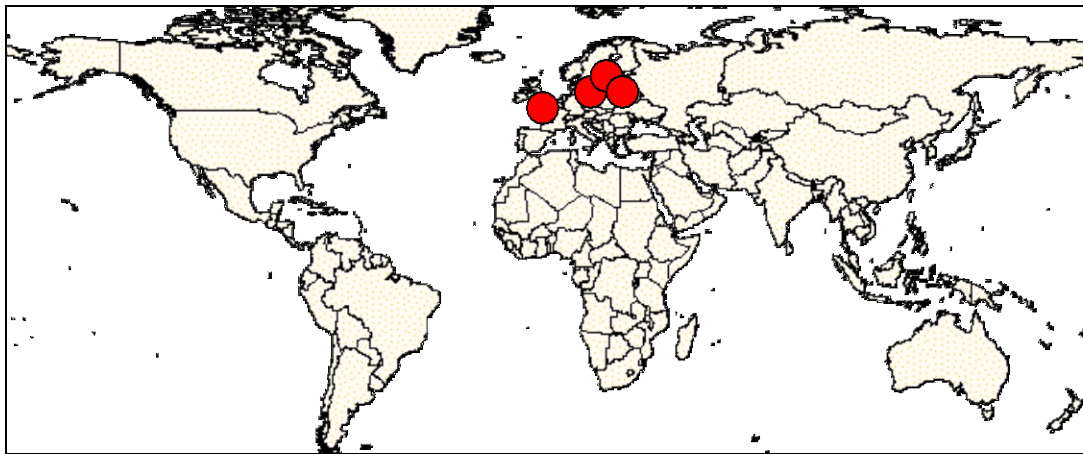


Figure 1-6 : Distribution du gardon *Rutilus rutilus* (Linné, 1758).
(www.fishbase.org-08/05/2003)

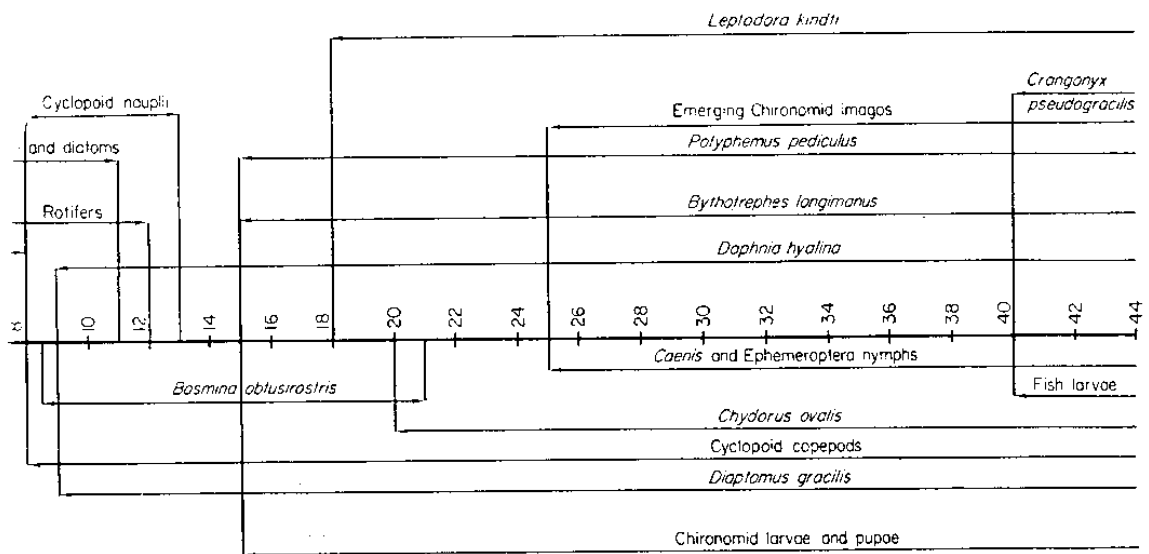


Figure 1-8 : Changement dans le régime alimentaire de la perche *Perca fluviatilis* 0+ durant le premier été de vie à Windermere (Guma'a, 1978).

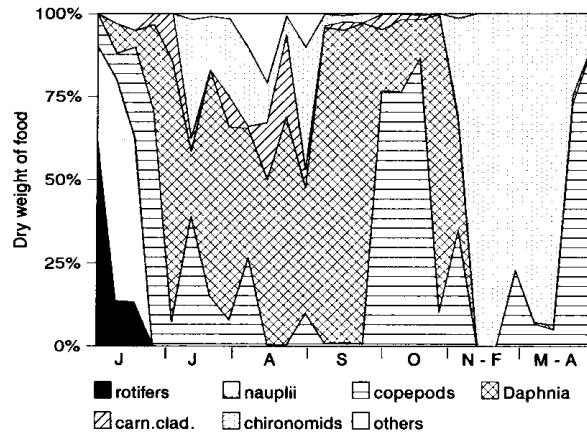


Figure 1-9 : Composition de l'alimentation de la perche, leur première année de vie dans le lac Constance (Wang, 1994).

| L [mm] (x) | 28 | 33 | 36 | 38 | 41 | 44 | 53 | 56 | 72 | 80 | |
|-----------------|-----|------|------|-----|-----|------|------|------|------|----|-------|
| ALONA | | 0.2 | 2 | 2 | 2 | | 0.5 | 3.3 | | | |
| BOSMINA | 1.2 | 1.2 | 5.1 | 8.9 | 5 | 10.0 | 1.2 | 4.6 | 0.2 | | GREEN |
| CAMPTOCERCUS | | 2 | 3 | | 3.3 | | 0.2 | 10.8 | | | |
| CERIODAPHNIA | 4.2 | | 2 | | | | | | | | |
| CHYDORUS | | | 0.1 | | | | | | | | |
| DAPHNIA | | | 0.9 | | 5 | | 1 | 4.1 | 5.0 | | ALGAE |
| EUBOSMINA | | | | | | | 1.2 | 0.1 | 0.2 | | |
| LEPTODORA | | 0.5 | 3 | | 3.2 | | 10.5 | | | | |
| PERACANTHA | | | 2 | 0.3 | | | 5.6 | 1.0 | | | |
| POLYPHEMUS | | 15.3 | 0.2 | 0.5 | 1.5 | | | 3.03 | | | |
| SCAPHOLEBERIS | | 3.5 | 5 | | 7 | | 32.9 | 0.3 | | | |
| SIMOCEPHALUS | | 0.5 | | | | | | 3.1 | | | |
| COPEPODS | 5.0 | 4.1 | 17.5 | 6 | 3 | | 3.6 | 7.8 | 45.6 | | |
| OSTRACODS | | | 1.7 | 0.1 | | | | 2.6 | | | |
| HYDRACARINA | | | 1.2 | | 0.6 | | | 0.6 | | | |
| DIPTERA | | | 1.2 | | | | 0.1 | 0.4 | | | |
| CULICIDE-larvae | | | 1.1 | | | | | | | | |
| CHIRONOMIDE-l | | | 8 | | | | | 0.1 | | | |
| CORETHRA-larv. | | | 0.1 | | | | | | | | |
| ODONATAE-larv. | | 2.0 | | | | | | | | | |
| GASTROPODS | | | | | 3.2 | | | | | | |
| KERATELLA | | | | | 3.5 | | | | | | |
| ASPLANCHIA | | | | 0.5 | 0 | | | | 1.0 | | |
| BRACHIONUS | | | | 1.6 | | | | | | | |
| N | 17 | 8 | 15 | 3 | 5 | 62 | 5 | 16 | 10 | | |

100 = 100% , N = number of fishes

Tableau 1-I : Détails de l'importance relative des catégories d'aliments dans le régime alimentaire des perches 0+ (Hammer, 1985).

| <i>TAILLE</i> | <i>CATEGORIE ALIMENTAIRE</i> | <i>AUTEURS</i> |
|----------------------|--|----------------------------|
| De 7 mm jusque 20 mm | <i>Bosmina</i> spp. | Guma'a, 1978 |
| A partir de 7,5 mm | Copépodes cyclopoïde et harpacticoïde | Guma'a, 1978 |
| A partir de 8 mm | <i>Daphnia</i> spp. | Guma'a, 1978 Wang, 1994 |
| A partir de 14 mm | Les <i>Daphnia</i> spp. sont d'une importance maximum dans le régime alimentaire | Guma'a, 1978 Wang, 1994 |
| A partir de 15 mm | Les grands cladocères tels que <i>Leptodora kindtii</i> (Focke, 1844) et <i>Bythotrephes</i> spp. sont ingérés | Guma'a, 1978 |

Tableau 1-II : Variation du régime alimentaire de la perche en fonction de sa taille.

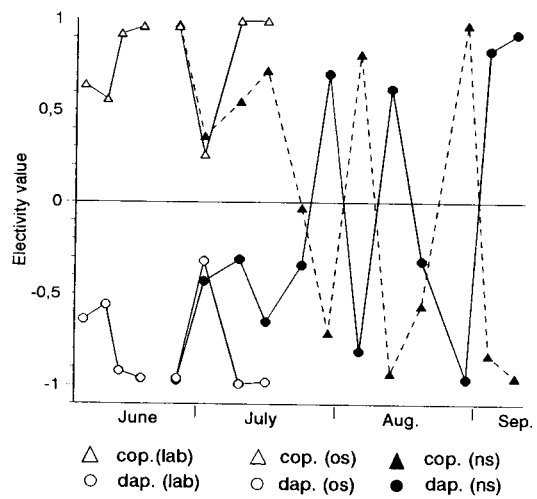


Figure 1-10 : Sélection des types de proies par les jeunes perches observées en laboratoire (lab) et dans la zone littorale (ns) et pélagique (os) du lac Constance (Wang, 1994).

| L (mm) (g) | 7.0 | 7.9 | 12 | 14.6 | 17.6 | 20.7 |
|-----------------------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------------|----------------|----------------|
| developmental stage | C ₁ | C ₁ | D ₁ | D ₂ /E ₁ | E ₂ | E ₂ |
| ALONA | | | 19 | 23 | 6 | 8 |
| BOSMINA | | | 8 | 11 | 89 | 92 |
| CAMPTOCERCUS | | | 12 | 9 | 14 | 8 |
| CHYDORUS | | | 89 | 63 | 86 | |
| DAPHNIA | | | 8 | 3 | | |
| EUBOSMINA | | | | | 9 | |
| PERACANTHA | | | 12 | | | |
| POLYPHEMUS | | | | 6 | | |
| SCAPHOLEBERIS | | | 8 | | | |
| COPEPODS | | | 15 | | 9 | 8 |
| NAUPLII | | | 62 | 17 | 9 | 22 |
| KERATELLA cochlear. | | | 69 | 97 | 97 | 92 |
| KERATELLA quadrata | | | 35 | 94 | 94 | 56 |
| KELLICOTTIA | | | 39 | 43 | 11 | 94 |
| BRACHIONUS | | | | | | 22 |
| CHIRONOMIDE-larvae | | | | 23 | | 25 |
| FRAGILARIA | | | 42 | 26 | | |
| CLOSTERIIDS | | | 23 | | | |
| cocc. green- and blue algae | 50 | 6 | 96 | 100 | 94 | 94 |
| N | 100 | 34 | 26 | 35 | 35 | 36 |

100 = 100 %, N = number of fishes

Tableau 1-III : Pourcentage des larves de gardons (*Rutilus rutilus* L. 1758) contenant les différentes catégories alimentaires en fonction de la longueur de celle-ci (Hammer, 1985).

| L (mm) (g) | 7.0 | 7.9 | 12 | 14.6 | 17.6 | 20.7 |
|-----------------------------|-----|-----|----------------|--------------------------------|----------------|----------------|
| developmental stage | C- | C- | D ₁ | D ₂ /E ₁ | E ₂ | E ₂ |
| ALONA | | | 15 | 04 | 01 | 01 |
| BOSMINA | | | 05 | 01 | 67 | 435 |
| CAMPTOCERCUS | | | 15 | 01 | 03 | |
| CHYDORIS | | | 24 | 25 | 34 | 01 |
| DAPHNIA | | | 1 | 01 | | |
| EUBOSMINA | | | | | 01 | |
| PERACANTHA | | | 05 | | | |
| POLYPHEMUS | | | | 01 | | |
| SCAPHOLEBERIS | | | 1 | | | |
| COPEPODS | | | 05 | | 01 | 01 |
| NAUPLII | | | 99 | 04 | 01 | 1 |
| KERATELLA cochlearis | | | 36 | 59 | 578 | 605 |
| KERATELLA quadrata | | | 49 | 345 | 314 | 37 |
| KELLICOTTIA | | | 25 | 15 | 01 | |
| BRACHIONUS | | | | | | 06 |
| CHIRONOMIDE-larvae | | | | 03 | | 04 |
| FRAGILARIA | | | 104 | 1 | | |
| CLOSTERIIDS | | | 59 | | | |
| cocc. green- and blue-algae | 100 | 100 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| N | 100 | 34 | 26 | 35 | 35 | 36 |

100 = 100 %, N = number of fishes

Tableau 1-IV : Détails de l'importance relative des différentes catégories alimentaires dans le régime alimentaire du gardon 0+ (*Rutilus rutilus* L. 1758) (Hammer, 1985).

| <i>TAILLE</i> | <i>CATEGORIE ALIMENTAIRE</i> | <i>AUTEURS</i> |
|----------------------|--|---|
| A partir de 7-8 mm | Le comportement alimentaire commence : le gardon ingère exclusivement du phytoplancton | Hammer, 1985 |
| A partir de 12 mm | Le gardon est capable de capturer du zooplancton mobile (car ses appendices de nage sont développés) : <i>Chydorus</i> , <i>Alona</i> , <i>Keratella cochlearis</i> (Gosse, 1851), les nauplii et algues bleues-vertes | Hammer, 1985 |
| A partir de 17,6 mm | La plupart des gardons mangent : rotifères, <i>Chydorus</i> et <i>Bosmina</i> spp. | Hammer, 1985 |
| A partir de 20,7 mm | Il y a changement du régime alimentaire : les <i>Chydorus</i> ne sont plus ingérés. Remplacement successif par les rotifères et ensuite par les <i>Bosmina</i> spp. | Hammer, 1985 |
| Plus de 20,7 mm | <i>Bosmina</i> spp. sont mangés par plus de 90 % des poissons | Hammer, 1985 Garner, 1996 Horppila et al., 2000 |

Tableau 1-V : Variation du régime alimentaire du gardon en fonction de sa taille.

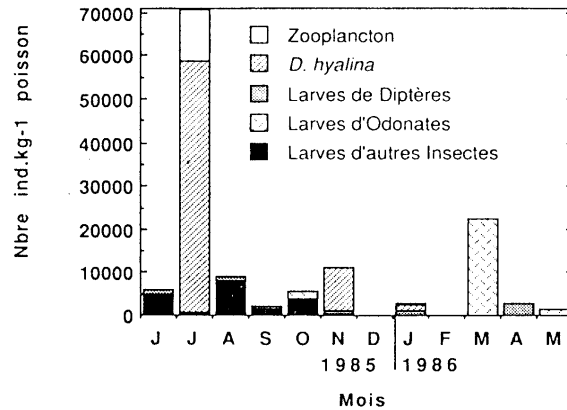


Figure 1-11 : Variations mensuelles du nombre des principales proies consommées par la perche (nbre ind. kg⁻¹ poisson frais) (Jamet et al., 1990).

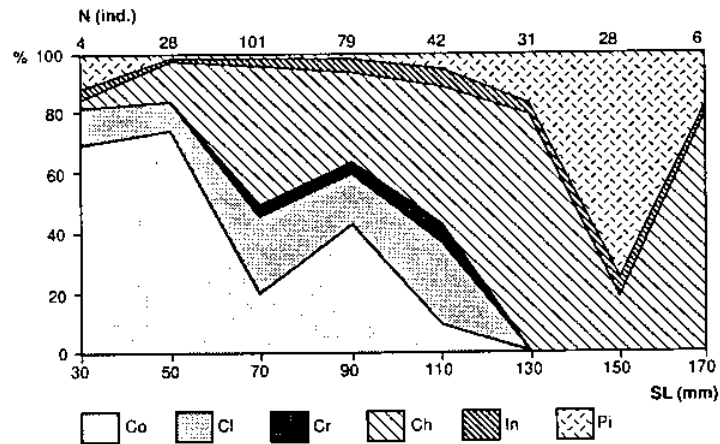


Figure 1-12 : Composition du régime alimentaire de la perche selon la taille du corps (SL), indication du nombre d'individus (N).

Co=Copépode ; Cl=Cladocère ; Cr=Autres crustacés (Asellus, Gammaridae...) ; Ch=Chironomidae ; In=Autres insectes (Ephéméroptère, odonate, coléoptère...) ; Pi=Poisson (Guti, 1993).

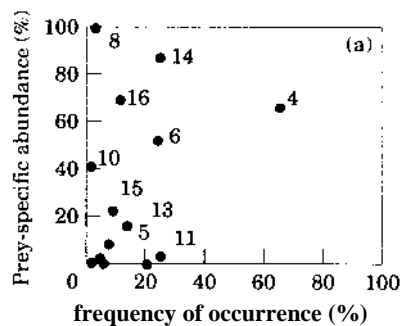


Figure 1-13 : Stratégie alimentaire du gardon dans le lac Balaton.

1, larves de chironomidae ; 2, pupes de chironomidae ; 3, oligochète ; 4, Dreissena polymorpha ; 5, Pisidium spp. ; 6, gastéropode ; 7, copépode ; 8, cladocère ; 9, Leptodora

kindtii ; **10**, gammaridae ; **11**, Corophium curvispinum ; **12**, Micronecta spp. ; **13**, détritus ;
14, algue ; **15**, macrophyte ; **16**, matériel d'appâts (Specziar et al., 1997).

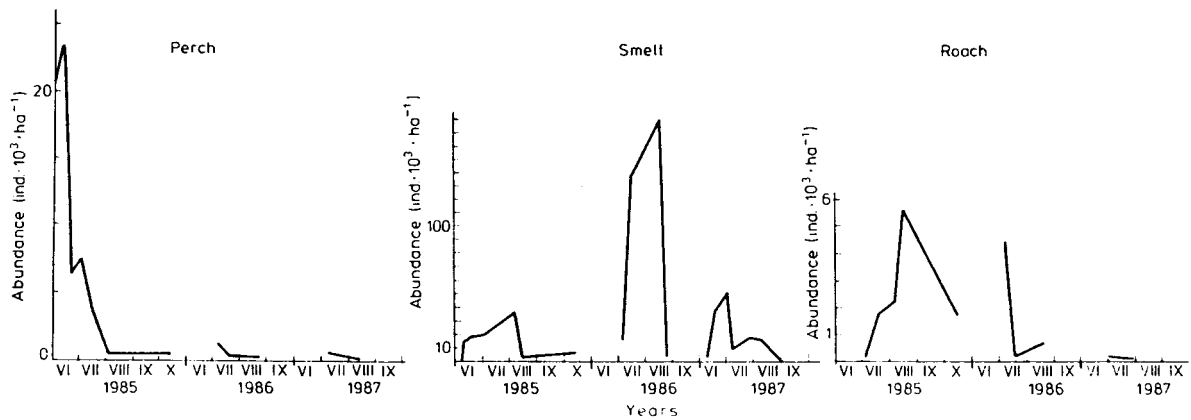


Fig. 1. Seasonal changes in abundance of fry of perch, smelt, roach in pelagial of Lake Ros in three consecutive years

Figure 1-14 : Changements saisonniers en abondance des alevins de perche, éperlan et gardons dans le lac Ros, trois années consécutives (Jachner, 1989).

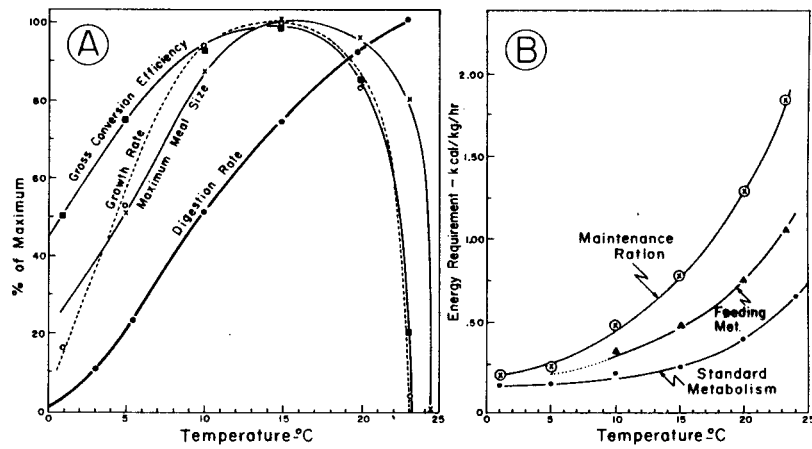


Figure 1-15 : La température contrôle diverses fonctions chez le jeune saumon sockeye : le taux de croissance, de digestion, conversion alimentaire et la taille moyenne du repas (Brett, 1979).

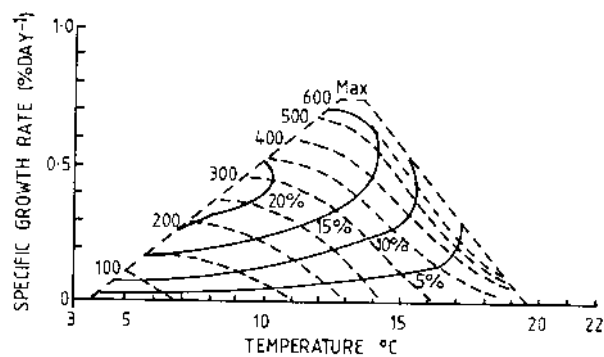


Figure 1-17 : L'effet de la ration alimentaire et de la température sur le taux spécifique de croissance (-----) chez la truite *Salmo trutta*. La ration alimentaire est exprimée en mg (Wootton, 1990).

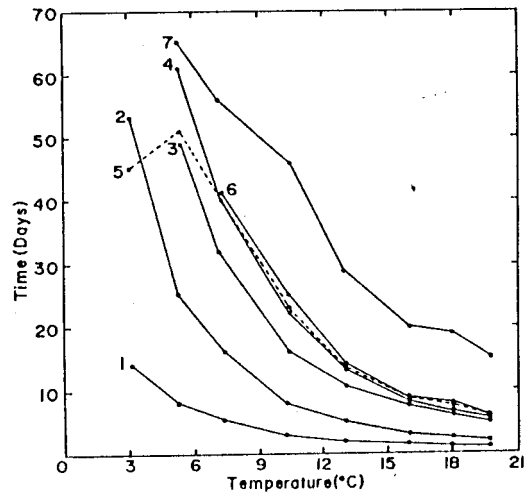


Figure 1-18 : Relation entre la température et le temps moyen de développement des embryons et larves de perche jaune *Perca flavescens*.

1, équilibre neural (stabilité) ; 2, battement cardiaque ; 3, pigmentation rétinienne ; 4, respiration branchiale ; 5, éclosion en masse ; 6, nage des larves ; 7, Mortalité des larves non-nourries (Hokanson et al., 1974).

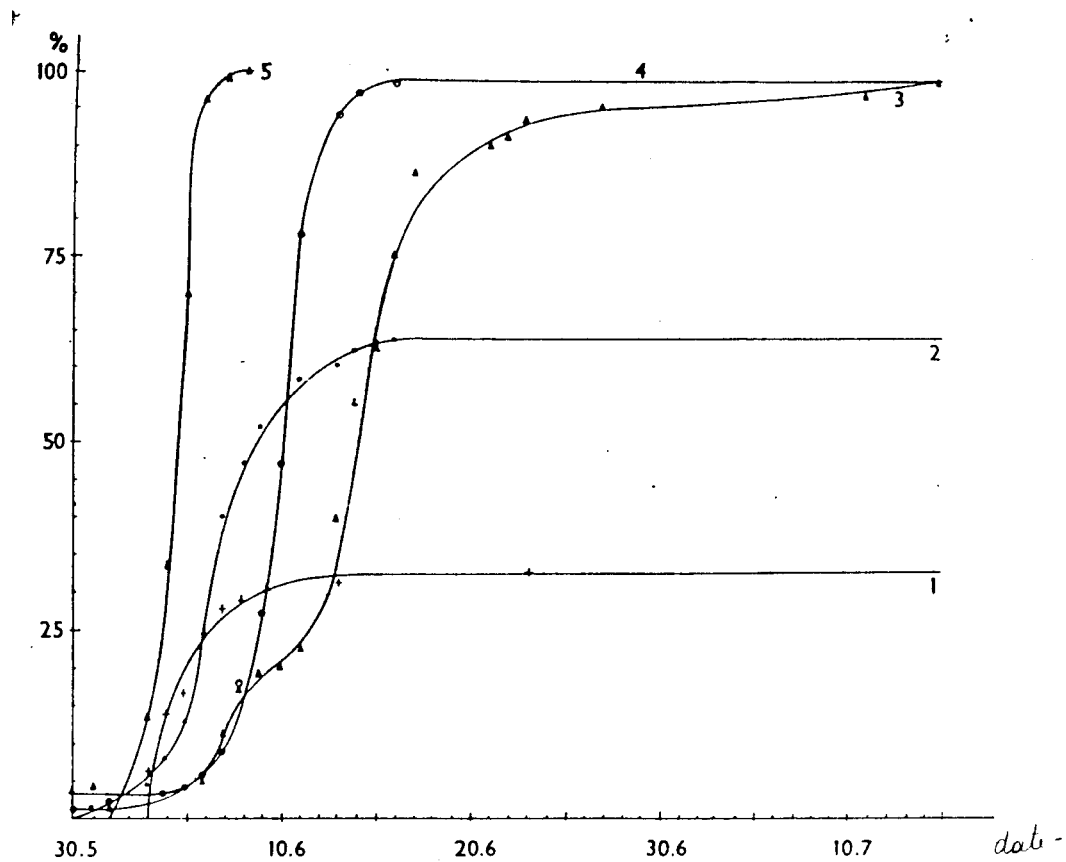


Figure 1-19 : Pourcentage de mortalité dans les premiers stades de développement du gardon dans un milieu expérimental.

1- 22,1°C, nourris ; 2- 16,4°C, nourris ; 3- 8,9°C, nourris ; 4- 16,4°C, non -nourris ; 5- 22,1°C, non- nourris (Cerny, 1974).

| Temperature (°C) | Hatch rate (%) | Swim-up rate (%) | Total length (mm) |
|------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 6 | 16.5 ± 12.9 ^c | 0 ^d | 4.7 ± 0.1 ^e |
| 8 | 70.5 ± 6.6 ^b | 0 ^d | 5.9 ± 0.2 ^c |
| 10 | 74.9 ± 3.4 ^b | 44.8 ± 6.4 ^c | 5.8 ± 0.2 ^{cd} |
| 12 | 88.4 ± 5.6 ^a | 41.8 ± 12.0 ^c | 6.4 ± 0.1 ^a |
| 14 | 88.4 ± 4.3 ^a | 57.8 ± 10.9 ^b | 6.3 ± 0.2 ^a |
| 16 | 91.2 ± 6.1 ^a | 82.5 ± 11.0 ^a | 6.3 ± 0.1 ^a |
| 18 | 89.1 ± 4.2 ^a | 84.2 ± 8.6 ^a | 6.1 ± 0.1 ^b |
| 20 | 86.0 ± 5.2 ^a | 77.5 ± 4.4 ^a | 5.9 ± 0.2 ^c |
| 22 | 75.7 ± 4.8 ^b | 39.2 ± 3.2 ^c | 5.7 ± 0.2 ^d |
| 24 | 0 ^d | 0 ^d | - |

Means with the same superscript in a column are not significantly different ($P \geq 0.05$).

Tableau I-VI : Taux d'éclosion, de nage et longueur totale à l'éclosion d'embryons de perches incubés à différentes températures (Wang et Eckmann, 1994).

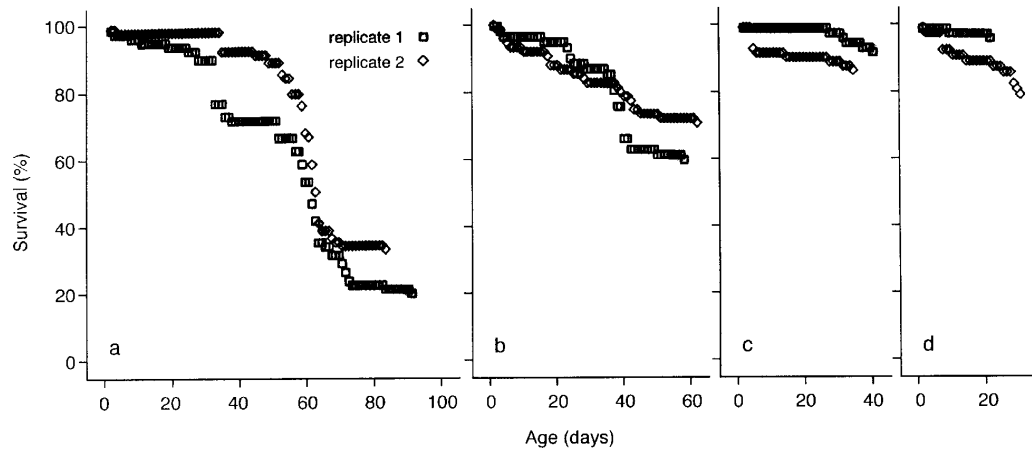


Figure 1-20 : Courbes de survie des larves de *Pseudopleuronectes americanus*, élevées en laboratoire de l'éclosion jusque la métamorphose, et mises à différentes températures : a, 7°C ; b, 10°C ; c, 13°C ; d, 16°C. A la fin de chaque courbe de survie, toutes les larves sont soit mortes ou métamorphosées (Chambers, 2001).

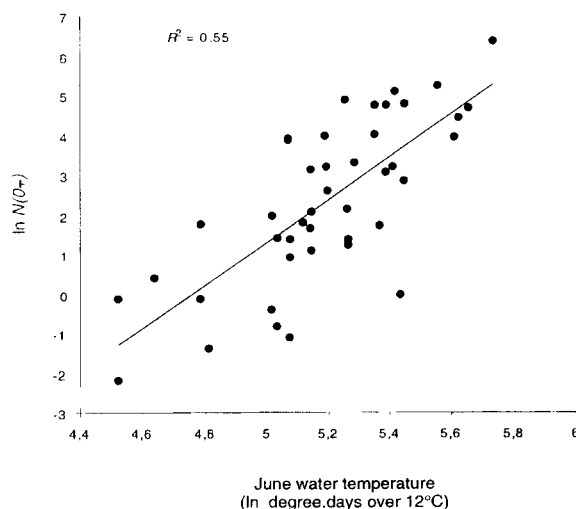


Figure 1-21 : Relation entre l'abondance moyenne annuelle des 0+ et la température de l'eau en juin (Grenouillet et al., 2001).

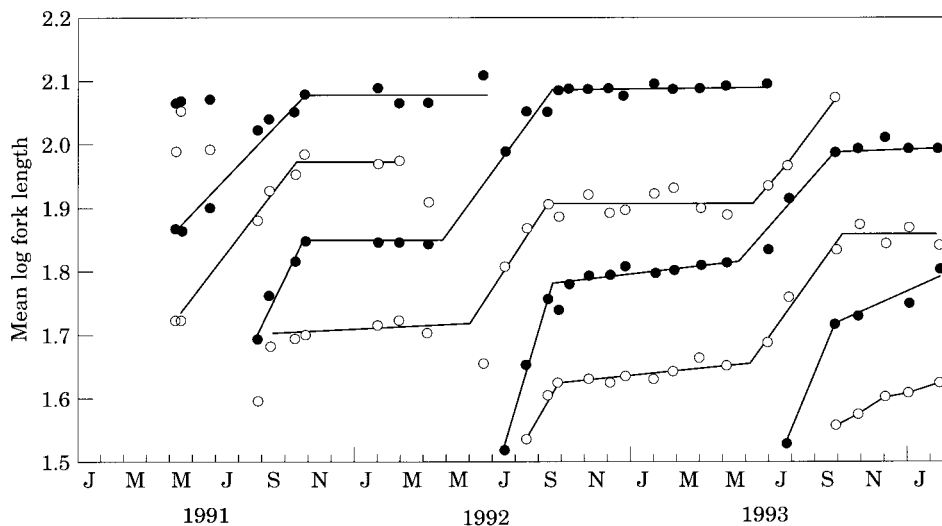


Figure 1-22 : Changements dans le log de la longueur moyenne à la fourche (mm) du gardon (cercle vide) et de la perche (cercle plein) entre mai 1991 et janvier 1994 (Griffiths et al., 1995).

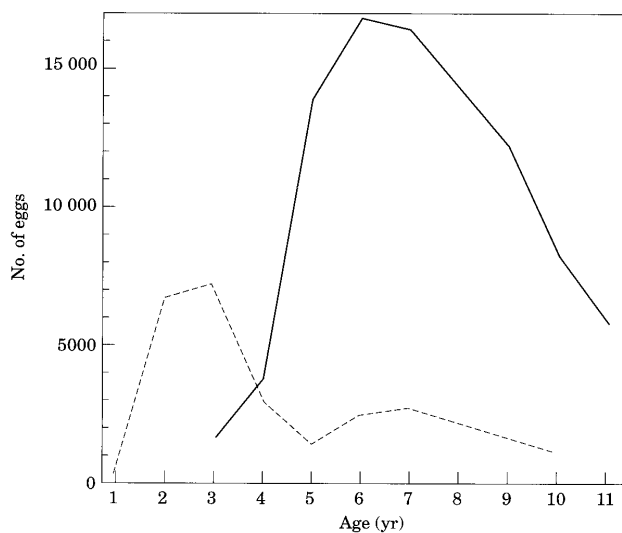


Figure 1-23 : La production moyenne d'œufs d'une perche dans un bassin d'expérimentation durant les périodes 1978-1980 (ligne continue) et 1981-1988 (ligne discontinue), en fonction de l'âge (Sandström et al., 1995).

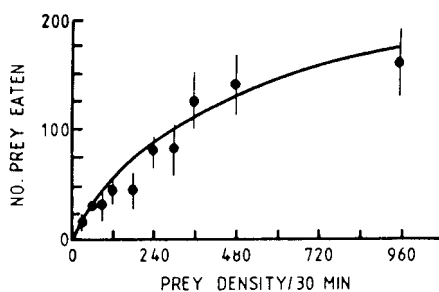


Figure 1-24 : Courbe de réponse fonctionnelle moyenne de 10 truites brunes, *Salmo trutta*, se nourrissant de proies en mouvement. Celle-ci montre une relation entre le nombre de proies ingérés et la densité des proies (Wootton, 1990).

| Rotifer density (no. l ⁻¹) | Survival rate (%) | | Total length (mm) | |
|---|-------------------|------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | 15°C | 20°C | 15°C | 20°C |
| 0 | 0 | 0 | - | - |
| 500 | 9.3 ± 2.2 | 8.1 ± 0.2 | 7.6 ± 0.2 (7) ^a | 7.4 ± 0.7 (6) ^b |
| 3 000 | 15.6 ± 1.7 | 19.8 ± 0.3 | 7.6 ± 0.5 (10) ^a | 7.9 ± 0.8 (16) ^b |
| 6 000 | 11.8 ± 11.8 | 41.7 ± 2.3 | 7.9 ± 0.7 (8) ^a | 8.7 ± 0.9 (28) ^a |
| 9 000 | 3.1 ± 3.1 | 14.3 ± 5.7 | 6.8 ± 0.3 (2) ^b | 7.6 ± 0.6 (10) ^b |
| 12 000 | 0 | 16.2 ± 5.5 | - | 7.8 ± 0.7 (12) ^b |

*Sample size.

Mean lengths with the same superscript in a column are not significantly different ($P \geq 0.05$).

Tableau 1-VII : Taux de survie et longueur totale des larves de perches âgées de 13 jours après culture intensive à différentes températures et densité d'aliments (Wang et Eckmann, 1994).

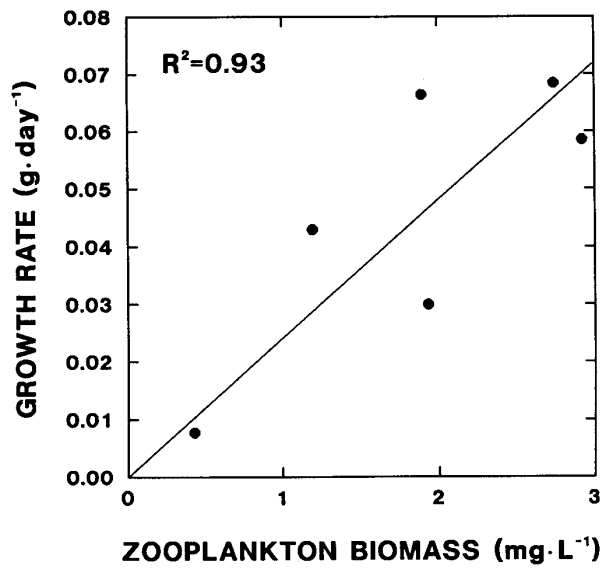


Figure 1-25 : Relation entre le taux de croissance journalier moyen de la perche jaune *Perca flavescens* et la biomasse de zooplancton saisonnier. L'équation est Croissance = 0,0024 (zooplancton) (Post et Mc Queen, 1994).

II. Milieu d'étude

Le Grand-Duché du Luxembourg compte 3 lacs de barrage : le lac de la Haute Sûre, le lac de la Basse Sûre, le lac de l'Our. Le lac de barrage d'Esch-sur-Sûre est le milieu étudié dans le cadre de ce mémoire. Il constitue le plus grand réservoir d'eau du pays.

Situé dans la partie nord du pays, il se trouve 1,2 km en amont du village d'Esch-Sur-Sûre. La figure 2-1 situe, plus en détail, le lac dans le Grand-Duché de Luxembourg. Le lac résulte de la construction dans les années 1956-1957 d'un barrage sur le cours de la Sûre. Il fut complètement rempli pour la première fois en décembre 1960.

Les fonctions de ce barrage sont multiples (Molitor, 1987). Il sert notamment :

- À la régulation du débit de la Sûre avec effet écrêteur de crues et soutien du débit en période d'étiage.
- À la production d'énergie hydroélectrique.
- Comme réserve d'eau potable. En effet, 45 % de la distribution d'eau au Grand-Duché du Luxembourg provient des eaux d'Esch-sur-Sûre. Les 55 autres % proviennent des eaux souterraines.
- À la promotion du tourisme et des activités de loisir.

Le lac a été vidangé une première fois en 1965 afin de renforcer l'écran d'injection souterrain et de parfaire son étanchéité. A l'époque le réservoir était resté vide pendant une année entière.

La deuxième vidange a eu lieu en hiver 1990-91. Des mesures d'assainissement au niveau du mur de retenue ont été réalisées (Molitor, 1987).

Suite à l'incompatibilité entre les deux formes d'exploitation du lac (production d'eau potable- tourisme), le lac lui-même a été divisé en deux zones (figure 2-2) :

- La zone I s'étend du barrage jusqu'au village de Lultzhausen. Dans cette zone, les activités incluant un contact avec l'eau sont strictement interdites, afin de ne pas altérer la qualité de l'eau.
- La zone II s'étend du village de Lultzhausen jusqu'au Pont Misère. Dans cette zone, la construction d'une résidence secondaire et l'utilisation d'un bateau à moteur sont interdites. Par contre la natation, la planche à voile et la pêche sont autorisées. Cette zone constitue les deux-tiers du lac (Molitor, 1987).

Comme mentionné plus haut, le réservoir est alimenté par la Sûre qui prend sa source à Vaux-les-Rosières en Belgique. Après un parcours de 11,8 km, cette rivière atteint la frontière luxembourgeoise à Martelange et reste luxembourgeoise pour tout le reste de son cours jusque sa confluence avec la Moselle à Wasselbillig.

Le bassin versant de ce cours d'eau est constitué de roches primaires (Dévonien) des Ardennes, et sa surface est de 428 km² dont 64 % se trouve en Belgique et 36 % au Grand-Duché du Luxembourg, avec une densité de population assez faible (32 habitants / km²).

Le débit de la Sûre se situe entre 175 et 240 millions de m³ / an. En période de crues, il peut atteindre 100 m³/s. Par contre en étiage, il n'est que de 0,1 m³/s.

Le lac se situe à une altitude de 320 m, sa longueur est de 18 km, sa largeur maximale est de 500 m et celui-ci inonde 380 ha de terrain.

La capacité d'emmagasinement du réservoir est de 60 millions de m³ pour une profondeur moyenne de 17 m. La profondeur maximale observée est de 46 m.

Le temps de rétention des eaux est de 0,3 années.

Selon la classification OCDE (organisation coopération développement économique) (1982), le lac est considéré comme méso- eutrophe. La stratification commence généralement fin avril-début mai et la période de mélange débute en septembre.

La faune ichtyologique dominante est principalement composée par le gardon *Rutilus rutilus*, l'ablette *Alburnus alburnus*, la perche *Perca fluviatilis* (Krier, 1992; Dohet, 1995).

Le bloom algal printanier est dominé par des diatomées centriques et des cryptophycées, suivi par une phase d'eau claire en juin et ensuite par un bloom estival de phytoplancton dominé par des algues bleues et des dinoflagellés (*Anabaena spp.*, *Aphanizonemon flos-aquae*, *Ceratium hirundinella*, *Peridinium gr. Cinctum*) (Dohet, 1995).

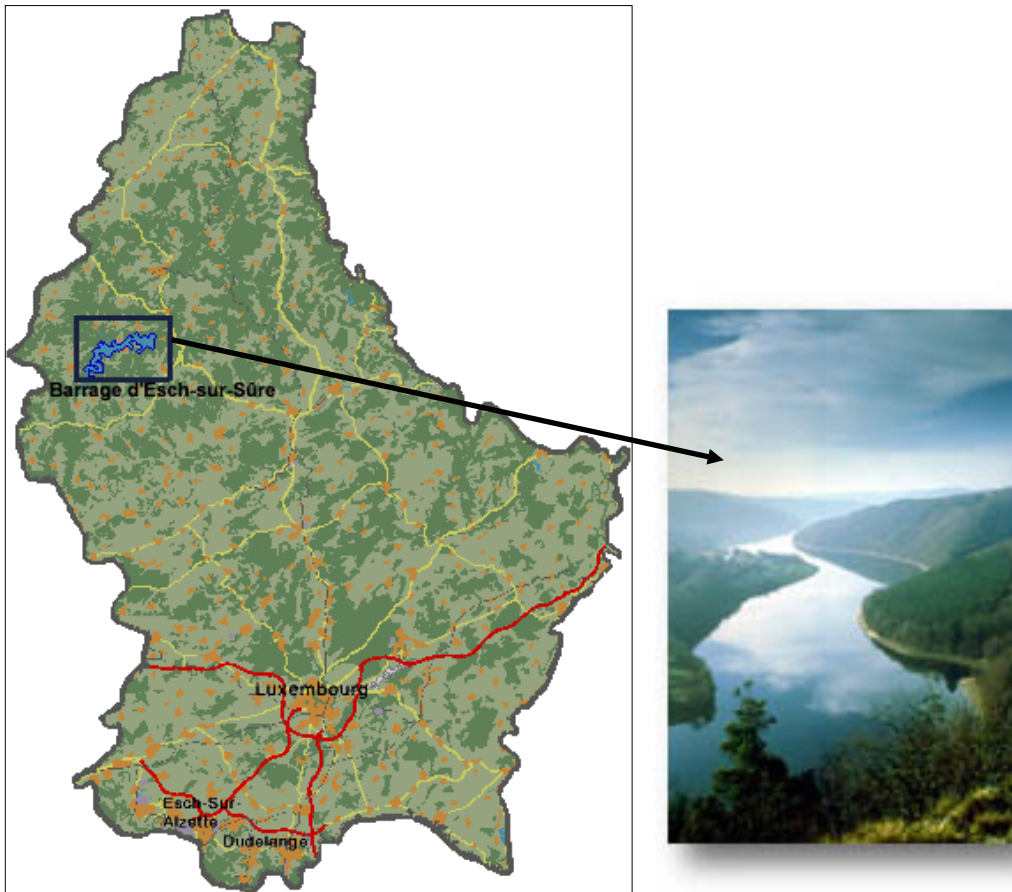


Figure 2-1 : Situation du lac d'Esch-sur-Sûre dans le Grand-Duché du Luxembourg
 (<http://luxplongee.tripod.com/nouvellepage13.htm>-
<http://homepages.spider.lu/eric/lux024.htm>)

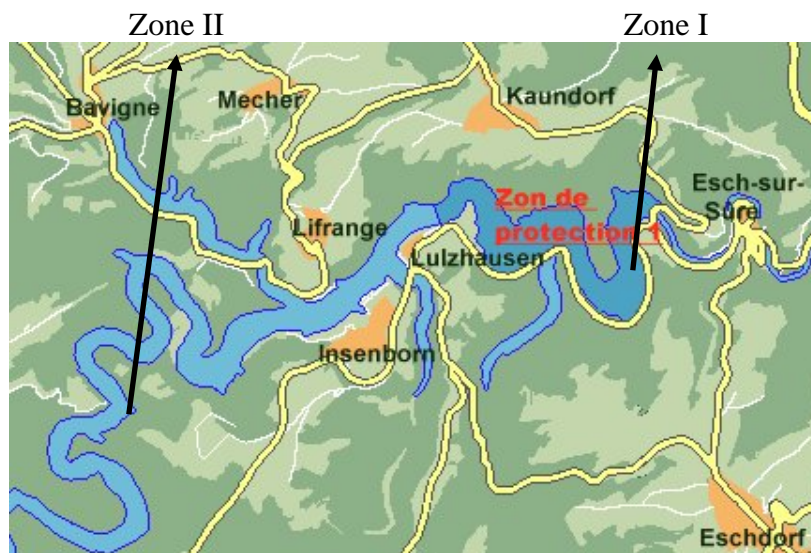


Figure 2-2 : Limite des 2 zones du lac d'Esch-sur-Sûre
 (<http://luxplongee.tripod.com/nouvellepage6.htm>)

III. Matériel et méthodes

III.1. Matériel et méthodes *in situ*

III.1.1. Zone d'échantillonnage

Pour des raisons de temps, il n'a pas été possible d'analyser l'entièreté du lac d'Esch-sur-Sûre. Il a donc été choisi de n'analyser que certains sites de la zone littorale. Ces sites sont choisis de manière à représenter les différents biotopes du lac.

En 1999, quatre sites ont été analysés. Il s'agit de la zone barrage (**ZB**), de la zone à genêts (**ZG**), de la zone à herbier (**ZH**) et de la zone Pont Misère (**ZP**).

En 2003 uniquement la zone Pont Misère (**ZP**) sera étudiée, ainsi que la zone autour de la passerelle de Lultzhausen.

La figure 3-1 reprend la position de ces quatre zones littorales à l'échelle du lac.

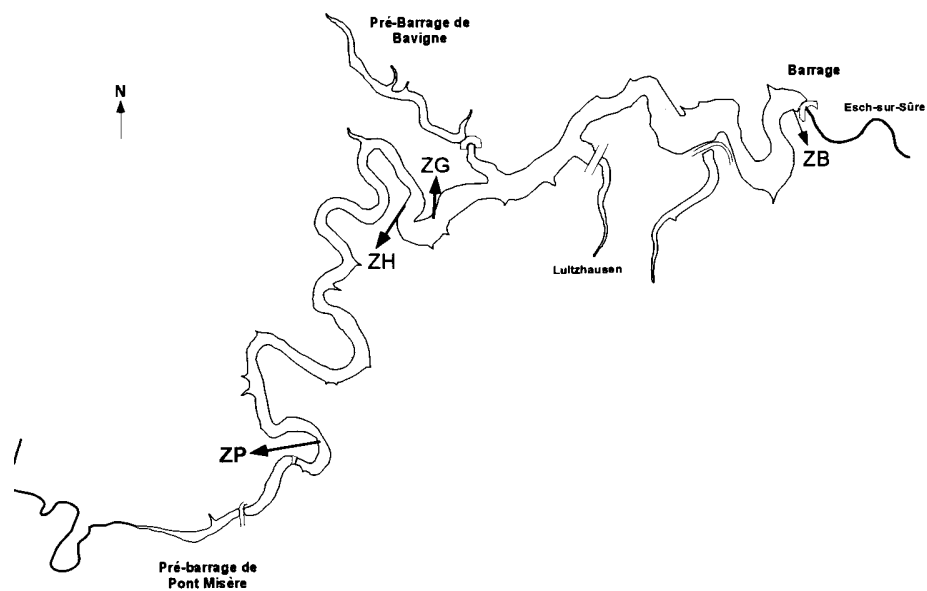


Figure 3-1 : Position des sites analysés en 1999 et 2003 (ZP= zone pont Misère; ZH= zone herbier; ZG= zone à genêts; ZB= zone barrage).

Le tableau 3-I reprend les caractéristiques générales des sites littoraux étudiés au lac d'Esch-sur-Sûre en 1999 et 2003 :

| Zones | Années d'échantillonnage | Type | Pente |
|--------------|---------------------------------|-------------|--------------|
| ZP | 1999 et 2003 | arbustif | moyenne |
| ZH | 1999 | herbier | faible |
| ZG | 1999 | arbustif | faible |
| ZB | 1999 | minéral | moyenne |

Tableau 3-I : Caractéristiques générales des différents sites littoraux étudiés au lac d'Esch-sur-Sûre en 1999 et 2003.

III.1.2. L'Hydrolab

Cet appareil permet de combiner plusieurs analyses dont l'oxygène dissous, le pH, la température, la profondeur et la conductivité. La sonde est reliée à un câble métallique, ce qui permet de réaliser les analyses à la profondeur désirée. L'hydrolab peut par la suite être connecté à un ordinateur pour restituer ses mesures.

La température est donnée en degré Celsius, la conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$, l'oxygène dissous en mg/l ou en pourcentage de saturation.

La collecte des données physico-chimiques est réalisée par les chercheurs du Centre de Recherche Public Gabriel Lippmann.

III.1.3. Récolte du zooplancton

L'échantillonnage du zooplancton peut être réalisé par le biais de plusieurs dispositifs et techniques, chacun avec leurs avantages et inconvénients. Les deux appareillages les plus couramment utilisés dans le cas de cette étude sont les filets et les trappes.

Dans cette étude, la récolte du zooplancton en zone littorale se fait à l'aide de la trappe de Schindler. C'est une boîte de 10 litres en plexiglas avec 2 couvercles battants et relié à une corde graduée. La trappe est plongée à la profondeur désirée, ce qui ouvre les deux battants. Lors de la remontée de la trappe, la pression de l'eau referme automatiquement les battants, emprisonnant ainsi les organismes. La trappe étant relié à un filtre de $63\ \mu\text{m}$, il permet de concentrer les organismes récoltés.

Pour les besoins de ce travail, la trappe a été plongée 3 fois à chaque zone étudiée.

Le filet à plancton, quant à lui, sert pour la récolte du zooplancton en zone pélagique. Ce filet de forme conique (maillage de $50\ \mu\text{m}$) est terminé par un cylindre.

Au sommet du filet, un cône de rétrécissement permet de maintenir un diamètre d'entrée d'eau constant. Connaissant ce diamètre et la hauteur sur laquelle le filet a été tiré, on peut calculer exactement le volume filtré et ainsi connaître la concentration de l'échantillon. Le filet est tiré verticalement à partir d'une certaine profondeur jusqu'à la surface, capturant ainsi les organismes à travers toute la colonne d'eau.

Le filet est relié à sa base à un récipient contenant un filtre de $63\ \mu\text{m}$. Ce récipient permet de concentrer les organismes pour faciliter leur détermination future.

La comparaison des deux appareils nous montre la spécificité de chacun.

Le volume filtré par le filet à plancton est beaucoup plus important que celui filtré par la trappe de Schindler. Ceci permet donc de capturer des espèces plus rares.

La trappe de Schindler permet, quant à elle, de capturer le zooplancton à une profondeur particulière et convient donc mieux à des espèces de forte densité en raison du faible volume filtré.

La récolte et la détermination du zooplancton sont également réalisées par le Centre de Recherche Publique Gabriel Lippmann.

III.1.4. Récolte des alevins

L'échantillonnage des alevins 0+ peut être réalisé par différentes techniques. La plus courante, et celle employée dans le cadre de cette étude, est la pêche électrique.

L'échantillonnage des alevins s'est déroulé tout d'abord en 1999 dans le cadre de la thèse de Mergen (2002). Les dates de pêche, à raison d'une par semaine, sont les suivantes : 31 mai; 07, 17, 22 juin; 06, 13, 20, 27 juillet; 03, 10, 17, 24, 31 août; 07, 17 septembre.

Ensuite, les pêches ont été réitérées en 2003 dans le cadre de ce mémoire afin de confirmer et d'approfondir les données récoltées en 1999. Les pêches sont, cette fois-ci, réalisées tous les 15 jours. Les dates sont les suivantes : 13, 27 mai; 11, 24 juin; 8 juillet 2003.

Les pêches ont été réalisées à l'aide d'un groupe électrique portable DEKA 3000 « Lord » (Deka, Marsberg, Allemagne), fonctionnant sur batterie (12 V, 7 A.h⁻¹). Le groupe est utilisé avec une DDP de 600 V, à 110 impulsions par seconde. L'utilisation du groupe électrogène est silencieuse et favorise ainsi une approche plus discrète du site de pêche. La cathode est constituée de filaments de cuivre tressés. L'anode originale du groupe électrogène a été remplacée par une petite anode circulaire de 12 cm de diamètre pour favoriser la capture des poissons de petite taille. Cette anode modifiée a été montée sur un manche en fibre de verre de trois mètres de long. Pour récolter les poissons, nous avons utilisé une épuisette rectangulaire (longueur : 25 cm-largeur : 17 cm) à fines mailles montée sur un manche de saule d'une longueur de 1, 20 m.

Les pêches se font dans la zone littorale du lac et pour ce faire l'utilisation d'un bateau gonflable est nécessaire.

La pêche se déroule de la manière suivante : l'utilisateur du groupe tient l'anode et une autre personne est chargée de récupérer les poissons avec l'épuisette. Enfin une troisième personne dirige le bateau. Après avoir plongé l'anode dans l'eau pendant quelques secondes, l'épuisette est placée sous l'anode et ensuite remontée verticalement. Dans chaque zone échantillonnée, 50 coups d'anode sont aléatoirement donnés sur une distance de 100 mètres.

III.1.5. Conservation des alevins

Après avoir été capturés, les alevins sont immédiatement placés dans des pots pour une analyse future de leur contenu stomacal. Un pot représente un coup d'anode fructueux. Le produit qui conserve le mieux et le plus utilisé est le formol 4 %. Cet aldéhyde entraîne cependant une modification du poids et de la taille des poissons ainsi conservés. La taille dans le formol est à 96 % et le poids à 120 % des valeurs réelles, quand les poissons sont conservés plus de 30 jours dans le produit (Parker, 1963).

III.2. Analyses en laboratoire

III.2.1 Détermination des alevins

Afin de déterminer les espèces récoltées sur le terrain, différentes clés de détermination ont été utilisées.

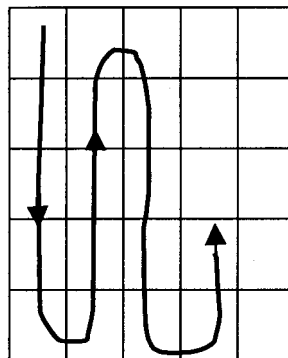
Pour la détermination des brèmes communes, bordelières et des gardons la clé de Mooij (1989) a été utilisée.

En ce qui concerne les percidés, la clé de Urho (1996) nous a servie pour les perches, sandre et grémilles

Pour plus de détails, vous pouvez consulter la thèse de Mergen (2002).

III.2.2. Protocole d'analyse des contenus digestifs des alevins

- a. Les poissons sont classés dans des pots par espèces, par date, par zone et par coup d'anode.
- b. Noter l'espèce, la date et la zone de capture, le numéro du pot.
- c. Avant toute manipulation d'un poisson, prendre sa taille (mm) à l'aide de papier millimétré et son poids (g) avec une balance de précision (en l'occurrence ici c'est une Mettler AE260 DeltaRange précise au dix millième).
- d. Placer le poisson dans une petite boîte de Pétri avec quelques gouttes d'eau. Placer la boîte sous un binoculaire. Le binoculaire utilisé dans ce cas est un Wild M3B Heerbrugg avec les grossissements suivants : 6,4- 16-40 X. Maintenir le poisson sur le dos à l'aide d'une petite pince. Ouvrir le ventre avec un porte-aiguille et racler le contenu digestif. Rincer le poisson avec quelques gouttes d'eau et le retirer de la boîte. Veiller à ce que l'eau soit répartie de façon homogène sur toute la surface de la boîte de Pétri. Attention à ce qu'il n'y ait pas trop d'eau, sinon le comptage sera rendu plus difficile.
- e. Placer la boîte sur la grille du microscope inversé (voir description au point suivant). Faire un premier balayage carré par carré au grossissement 4X en jouant avec la mise au point car les organismes peuvent se présenter sur plusieurs couches.



Ceci permet de repérer et de compter facilement les gros individus tels que les copépodes, ostracodes, cladocères....

- f. Ensuite, faire un deuxième balayage selon le même schéma mais au grossissement 10X ou même supérieur. Ceci permet de repérer et de compter les rotifères, protozoaire...

III.2.3 Détermination du zooplancton ingéré

Comme mentionné plus haut, l'analyse des contenus stomacaux a été réalisée avec un microscope inversé de marque Leica DMIL aux grossissements 4 et 10 X.

Les clés de détermination du zooplancton sont celles de Harding et Smiths (1974), de Amoros (1984) et de Pontin (1978). Pour plus de détail, elles se trouvent dans la thèse de Viroux (2000).

III.2.4. Calcul des indices

III.2.4.1. Méthode d'occurrence ou de fréquence (Hyslop, 1980)

On compte le nombre d'estomacs contenant un ou plusieurs individus de la catégorie analysée. Le nombre obtenu sera exprimé en pourcentage du nombre total d'estomacs non vides.

L'indice d'occurrence (I_0) s'exprime par la relation $I_0 = (N_a/N_t) \times 100$

N_a représentant le nombre d'estomacs dans lesquels une catégorie est présente et N_t le nombre total d'estomacs non vides.

L'avantage de cette méthode est de permettre une évaluation qualitative rapide des préférences alimentaires du poisson. Son désavantage réside dans son absence de renseignements concernant les proportions relatives des diverses catégories alimentaires dans le régime de l'espèce.

III.2.4.2. Méthode d'abondance ou numérique (Hyslop, 1980)

On compte le nombre de représentants de la catégorie d'aliment pour tous les estomacs non vides. Le nombre obtenu sera exprimé en pourcentage par rapport au nombre total de représentants de toutes les catégories d'aliments.

L'indice d'abondance (I_a) s'exprime par la relation $I_a = (N_x/N_{xt}) \times 100$

N_x représentant le nombre d'individus appartenant à la catégorie d'aliment x et N_{xt} le nombre total d'individus des différentes catégories d'aliments.

Cette méthode permet d'estimer le nombre d'individus consommés par le poisson mais elle ne tient pas compte de la biomasse des différentes catégories d'aliments, risquant ainsi d'exagérer l'importance prise par les individus de petite taille qui peuvent être très nombreux dans un échantillon sans pour autant représenter une fraction majoritaire de son volume.

III.2.4.3. Indice de sélectivité de Chesson (1978)

Des indices de sélectivité ont été calculés sur base des contenus stomacaux moyens de tous les individus capturés le même jour et de la communauté zooplanctonique moyenne (pour toutes les profondeurs). Il convient cependant de rappeler que cette méthode ne tient pas compte de la variabilité inter-individuelle des contenus stomacaux.

L'indice de sélectivité utilisé est celui de Chesson (1978) :

$$\alpha = r_a / p_a / \sum_{i=1}^n (r_i / p_i)$$

n = nombre de types de proies dans l'échantillon

r_a = abondance absolue de la catégorie de proie zooplanctonique **a** dans le contenu stomacal

p_a = abondance absolue de la catégorie de proie zooplanctonique **a** dans le milieu (m^{-3})

r_i = abondance absolue de la catégorie de proie zooplanctonique **a+b+c+...n** dans le contenu stomacal

p_i = abondance absolue de la catégorie de proie zooplanctonique **a+b+c+...n** dans le milieu (m^{-3})

IV. Résultats

IV.1. Données physico-chimiques

En zone littorale du lac pour l'année d'échantillonnage 1999 (figure 4-1), la température varie entre 11 et 24 °C, avec le maximum en saison estivale (mi-juillet). Le pH est compris entre 7,5 et 9,5 la plupart du temps. Cependant en août, on observe des valeurs de pH proches de 10,5 et ce pour les quatre zones étudiées. La conductivité est comprise entre 140 et 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de fin avril à la mi-juillet, sauf quelques valeurs plus basses à 110 $\mu\text{S}/\text{cm}$ vers la fin mai-début juin et la mi-juillet. De juillet à septembre, les valeurs sont un petit peu plus élevées et comprises entre 160 et 170 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Les concentrations en oxygène dissous sont comprises entre 8 et 14,5 mg/l, avec les valeurs minimales situées de début juillet à la mi-août. Pour tous ces paramètres, on ne détecte pas de différences notables entre les zones étudiées.

Pour l'année d'échantillonnage 2003, seule la zone du Pont Misère (ZP) a été échantillonnée et cela à cinq reprises. La température varie entre 14 et 21 °C, avec la valeur maximum à la mi-juin. Le pH est compris entre 7 et 8 pour toutes les dates. Si le pH atteint des valeurs de 10 comme en 1999, on ne les verra donc pas. La conductivité est comprise entre 130 et 155 $\mu\text{S}/\text{cm}$. On remarque que la conductivité augmente avec l'avancement dans la saison de prélèvement. Les concentrations en oxygène dissous sont comprises entre 9 et 12,5 mg/l.

La comparaison des résultats obtenus en 1999 et en 2003 est réalisée. En ce qui concerne la température, on remarque que comme en 1999, les températures de 2003 augmentent fortement entre fin mai et début juin; elles passent de plus ou moins 14 à 20 °C. Pour le reste de la saison les températures sont quasi identiques.

Le pH en 2003 semble être plus acide qu'en 1999. En effet, en 1999 il est de 9 ; tandis qu'en 2003, il est de 7-8.

La diminution de conductivité observée en 1999 vers la fin mai début juin ne s'est pas déroulée en 2003. Les valeurs de conductivité semblent être plus stables en 1999. Elles se situent toujours aux alentours des mêmes valeurs; tandis qu'en 2003, les valeurs augmentent au fur et à mesure de l'avancement dans la période de prélèvement.

Les concentrations en oxygène dissous varient de manière quasi identique entre les deux années.

IV.2. Données zooplanctoniques

Les quatre sites étudiés en 1999 ont été échantillonnés à quatorze reprises sur l'année (du 31 mai au 17 septembre 1999 au rythme d'une fois par semaine).

La figure 4-3 reprend l'évolution de la densité (ind/l) du zooplancton total, des rotifères et des crustacés pour l'année 1999 dans les quatre zones littorales du lac d'Esch-sur-Sûre. On peut remarquer une différence notable entre les quatre sites échantillonnés : les valeurs de densité des zones situées le plus en amont (ZP, ZH) sont plus ou moins quatre fois plus élevées que les densités en aval (ZG, ZB). En effet, le site de Pont Misère (ZP), tout à fait en amont, présente des valeurs maximales de plus de 2250 ind/l. Les valeurs maximales pour les autres sites sont de 1500 ind/l pour le site à herbier (ZH), de 750 ind/l pour le site à genêts (ZG) et de 500 ind/l pour le site du barrage (ZB).

La figure 4-4 présente l'évolution par site des densités (ind/l) des différentes espèces zooplanctoniques en fonction du temps pour l'année 1999.

Au site du Pont Misère (ZP), en ce qui concerne les rotifères, on observe un grand pic le 20 juillet 1999 de plus ou moins 1800 ind/l. Il est essentiellement composé par les taxa *Asplanchna* sp., *Conochilus* sp. et *Filinia* sp.. A côté de ce pic on en remarque deux autres de moindre importance le 14 juin et le 5 juillet 1999. Ces derniers sont principalement composés des taxa *Polyarthra* sp., *Keratella quadrata* et *Keratella cochlearis*.

En ce qui concerne les crustacés, on observe un pic prédominant le 3 août 1999 d'un peu moins de 1500 ind/l. Il s'agit d'un pic composé essentiellement de *Bosmina* sp. et de nauplii. On remarque que ce pic de crustacés suit directement le pic estival de rotifères du 20 juillet 1999. Trois autres pics de plus ou moins 300 ind/l sont également visibles pour les crustacés : le premier se déroule le 17 juin 1999, le deuxième le 17 août et le troisième le 7 septembre. Les taxa zooplanctoniques majoritaires sont les copépodes cyclopoïdes et les nauplii.

Pour le site à herbier (ZH), on observe un premier pic de rotifères de plus ou moins 200 ind/l qui s'étend du 17 juin au 7 juillet 1999. Les taxa zooplanctoniques les plus abondants sont *Keratella cochlearis* et *Polyarthra* sp. Le deuxième pic se déroule le 20 juillet avec une densité de plus de 250 ind/l et regroupe trois taxa dominants: *Conochilus* sp., *Polyarthra* sp. et *Filinia* sp.

Pour les crustacés, il y a un pic prédominant le 3 août 1999 de plus de 600 ind/l et trois autres pics de plus ou moins 200 ind/l chacun les 17 juillet, 17 août et 7 septembre 1999. Ce sont les taxa *Bosmina* sp., nauplii et cyclopoïdes. Il s'agit surtout des taxa *Bosmina* sp. et nauplii pour le grand pic et des taxa nauplii et cyclopoïdes pour les pics secondaires. Le pic prédominant de crustacés du 3 août 1999 suit directement celui de rotifères du 20 juillet 1999.

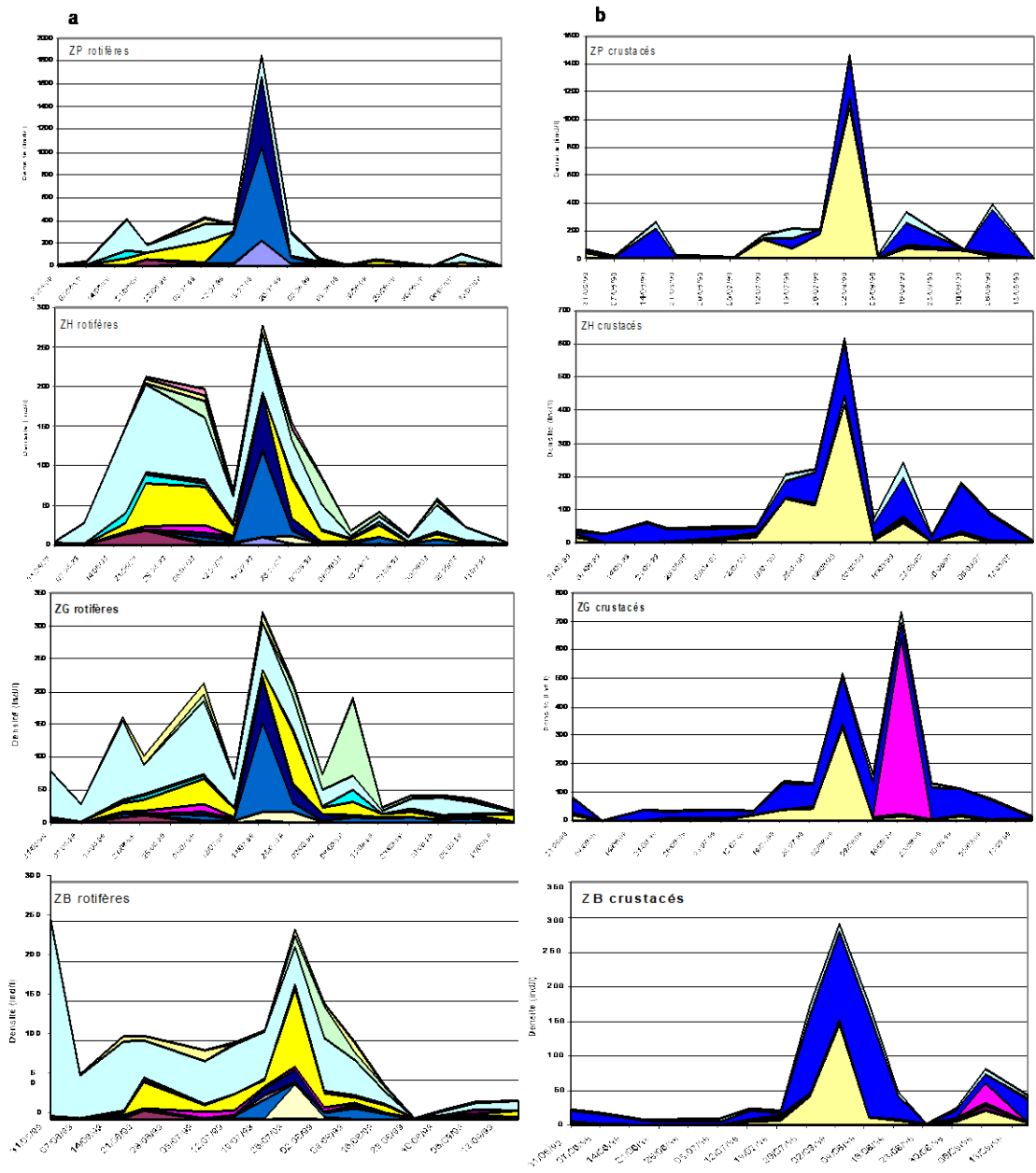
Pour le site à genêts (ZG), il n'y a pas vraiment de pics prédominants de rotifères mais plutôt quatre pics d'importance plus ou moins égale. Ils se situent les 17 juin, 6 juillet, 20 juillet et 10 août 1999 avec respectivement une densité de 150 ind/l, 200 ind/l, 300 ind/l et 200 ind/l. Les deux premiers pics comprennent surtout des taxa zooplanctoniques tels que *Polyarthra* sp., *Keratella cochlearis*. Le troisième est surtout constitué de *Conochilus* sp., *Filinia* sp. et *Polyarthra* sp. et le quatrième de *Pompholyx* sp. et de quelques *Polyarthra* sp. et *Keratella cochlearis*.

Pour les crustacés, on observe deux pics les 3 et 17 août 1999 avec respectivement 500 ind/l et 700 ind/l. Le pic du 3 août est composé de nauplii et *Bosmina* sp. Par contre, celui du 17 août correspond à *Pleuroxus* sp., taxon qui est peu représenté dans les autres sites étudiés.

Pour le site du barrage (ZB), on peut observer un pic printanier de rotifères le 31 mai 1999 et un pic estival le 27 juillet 1999 de densité plus ou moins égale (250 ind/l). Le premier pic est quasi entièrement composé de l'espèce *Polyarthra* sp., tandis que le deuxième est plus diversifié : il est constitué des taxa *Polyarthra* sp., *Keratella cochlearis*, *Filinia* sp. et *Brachionus* sp..

En ce qui concerne les crustacés, un pic de 300 ind/l est visible le 3 août 1999. Cette densité est nettement inférieure aux autres sites étudiés. Le pic du 3 août est composé principalement des taxa *Bosmina* sp., nauplii.

Comme pour les autres sites étudiés, on peut aussi remarquer qu'un pic de rotifères est immédiatement suivi par un pic de crustacés et cela se remarque surtout en période estivale.



- Rotifères indéterminés
- *Trichotria podatum*
- *Trichocerca* spp.
- *Tetradinella* sp.
- *Synchaeta* spp.
- *Pompholyx* spp.
- *Polyarthra* spp.
- *Ploesoma hudsoni*
- *Notholca squamula*
- *Notholca labis*
- *Lepadella ovata*
- *Lecane* sp.
- *Keratella quadrata*
- *Keratella cochlearis*
- *Kellicottia longispina*
- *Filinia (longiseta ou terminalis)*
- *Euchlanis* sp.
- *Conochilus* sp.
- *Cephalodella* sp.
- *Brachionus rubens*
- *Brachionus calyciflorus*
- *Brachionus angularis*
- Bdelloïdes
- *Asplanchna* sp.

Figure 4-4: Evolution temporelle de la densité (ind/l) des taxa zooplanctoniques (a = rotifères; b = crustacés) dans les quatre zones littorales du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999 (ZP = zone Pont Misère; ZH = zone à herbier; ZG = zone à genêts; ZB = zone barrage) (déterminé par Caufmann, Ulg)

- Copé harpacticoïde
- Copé cyclopoïdes
- Copé calanoïdes
- Nauplii
- *Sida crystallina* ou *Moina* sp. ?
- *Scapholeberis mucronata*
- *Pleuroxus trigonellus*
- *Oxyurella tenuicaudis*
- *Monospilus dispar*
- *Leptodora kindtii*
- *Diaphanosoma brachyurum*
- *Daphnia (galeata?)*
- *Daphnia galeata*
- *Daphnia cucullata*
- *Chydorus* sp.
- *Ceriodaphnia* sp.
- *Camptocercus rectirostris*
- *Bosmina (longirostris ou coregoni)*
- *Alonella nana*

En résumé, les rotifères les mieux représentés en moyenne, toutes zones confondues, sont *Polyarthra* sp. (60 ind/l), *Keratella cochlearis* (46 ind/l), *Conochilus* sp. (24 ind/l), *Filinia* sp. (13 ind/l), *Pompholyx* sp. (7 ind/l), *Asplanchna* sp. (6 ind/l) et *Synchaeta* sp. (6 ind/l). Pour les crustacés, ce sont *Bosmina* sp. (96 ind/l), les nauplii de copépodes (59 ind/l), les copépodes cyclopoïdes (12 ind/l) et *Pleuroxus* sp. (9 ind/l) les plus abondants. La diversité en espèces zooplanctoniques est plus ou moins égale pour tous les sites étudiés. On peut tout de même observer des différences entre ceux-ci : *Polyarthra* sp. est absente de la zone du Pont Misère (ZP) ; tandis que *Pleuroxus* sp. n'est présente que dans la zone à genêts (ZG).

En 2003, seule la zone du Pont Misère (ZP) a été échantillonnée et cela à trois reprises.

La figure 4-5 reprend l'évolution des densités (ind/l) des différents taxa zooplanctoniques en fonction du temps pour la zone du Pont Misère et l'année 2003.

Comme il n'y a que trois dates d'échantillonnage, on ne peut pas vraiment déterminer la présence d'un pic de densité. En ce qui concerne les rotifères, la densité se situe aux alentours de 800 ind/l pour les 11 juin et 24 juin 2003. Tandis que pour le 8 juillet 2003, la densité diminue pour atteindre une valeur de 400 ind/l. Pour les deux premières dates, on observe que *Polyarthra* sp. est l'espèce la plus abondante, avec *Ascomorpha* sp. et *Keratella* sp. en espèces secondaires majoritaires. Par contre, le 8 juillet 2003, *Polyarthra* sp., *Keratella* sp. et *Ascomorpha* sp. sont presque aussi abondants les uns que les autres.

En ce qui concerne les crustacés, la densité augmente avec le temps : elle passe progressivement de 60 ind/l à plus de 120 ind/l. Le stade nauplii est dominant pour les trois dates d'échantillonnage.

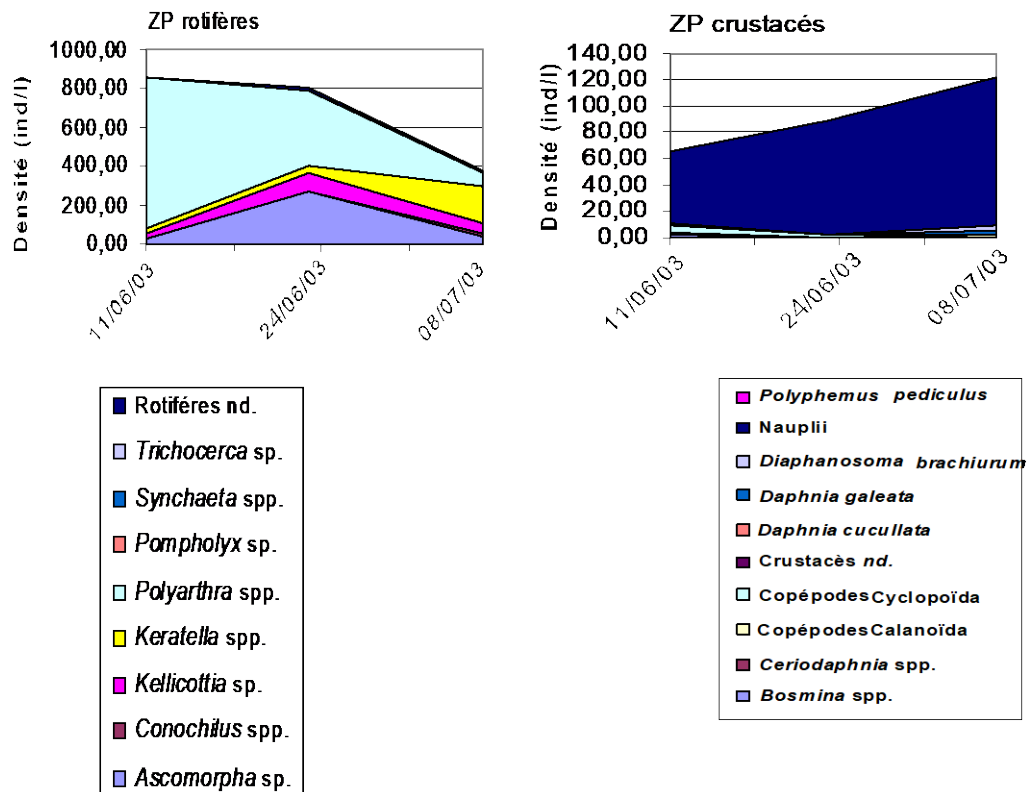


Figure 4-5 : Evolution temporelle de la densité (ind/l) des taxa zooplanctoniques dans la zone Pont Misère (ZP) du lac d'Esch-sur-Sûre en 2003 (d'après les données du CRPGL, Luxembourg).

En comparaison avec les données zooplanctoniques de l'année 1999, on peut remarquer qu'en 2003 la densité totale de zooplancton est beaucoup plus faible qu'aux mêmes dates en 1999. La diversité en rotifères et crustacés est aussi moindre en 2003. Le taxon *Polyarthra* sp. et le stade nauplii sont les deux seuls dominants en 2003.

IV.3. Données ichtyologiques

Pour la capture des gardons, seules les zones Pont Misère (ZP) et à herbier (ZH) sont représentées (figure 4-6). Le peu d'informations sur les autres zones ne donnerait pas de graphiques valables. La capture des gardons dans la zone Pont Misère (ZP) se déroule exclusivement de fin mai (31 mai 1999) à début août (3 août 1999) et pendant cette période, la capture est un succès à chaque échantillonnage. Par contre dans la zone à herbier (ZH), la capture se déroule pendant un période beaucoup plus courte, de fin mai (31 mai 1999) jusqu'à la mi-juin (17 juin 1999).

La comparaison de la longueur totale moyenne et du poids moyen entre les deux zones et aux mêmes dates montre une certaine différence. La zone Pont Misère montre une croissance plus rapide par rapport à celle observée en zone à herbier (ZH). Par exemple, le 13 juillet 1999, la longueur totale moyenne est de 32 mm pour un poids moyen de 281 mg en zone Pont Misère (ZP) ; tandis qu'elle n'est que de 24 mm et 109 mg en zone à herbier (ZH).

Pour les gardons, c'est la zone du Pont Misère qui comptabilise le plus grand nombre d'individus capturés, avec 1541 individus. La zone à herbier (ZH) en compte, quant à elle, 198.

Pour la zone Pont Misère (ZP), le nombre maximum d'individus capturés est de 1089 le 7 juin 1999. Par contre en zone à herbier (ZH), le nombre maximum de captures n'est que de 98 individus. Contrairement aux alevins de perche, pour les gardons on peut mettre en évidence une diminution progressive du nombre d'individus capturés. En effet, pour la zone Pont Misère (ZP) on passe de 1089 individus capturés le 7 juin 1999 à seulement 1 individu capturé le 3 août 1999.

La capture des perches en 1999 s'est essentiellement faite à partir de la fin juillet dans les zones à genêts (ZG) et barrage (ZB). Dans la zone à herbier (ZH), la capture est séquentielle : elle se déroule successivement début juin (les 7, 17 et 22 juin 1999) puis début août (les 3 et 10 août 1999) puis enfin fin août (le 31 août 1999). Par contre dans la zone Pont Misère (ZP), la capture de perches est un succès à chaque date d'échantillonnage du 7 juin au 24 août 1999. Après cette période, plus aucune perche ne sera capturée (figure 4-7).

La comparaison de la longueur totale moyenne et du poids moyen entre chaque zone et aux mêmes dates de l'année 1999 ne montre pas de différences notables entre les zones étudiées. La zone Pont Misère serait tout de même une zone où les alevins de perche ont une croissance plus marquée. Les trois autres zones, mais surtout la zone barrage (ZB), possèdent une croissance plus linéaire. En effet, la longueur totale et le poids ne varient quasi pas du 3 août au 17 septembre 1999.

La zone Pont Misère (ZP) comptabilise aussi le plus grand nombre d'individus capturés avec 57 individus en 1999. La zone barrage (ZB) en compte 31, la zone à herbier (ZH) 19 et la zone à genêts (ZG) 16.

Le nombre maximum d'individus capturés par date de prélèvement dans la zone Pont Misère (ZP) est de 12 individus les 6 juillet et 10 août 1999. En zone à herbier (ZH), au maximum 11 individus (le 17 juin 1999) ont été capturés par date d'échantillonnage. Pour les zones à genêts (ZG) et barrage (ZB), 5 (les 17 et 24 août 1999) et 7 (le 24 août 1999) individus ont été respectivement capturés au maximum par date de terrain. Le nombre

d'individus capturés, toutes zones confondues, ne présente aucune évolution : on ne retrouve aucun gradient.

En résumé, on peut constater une relation inverse entre le nombre d'alevins de perche et de gardon. En effet, en début de saison d'échantillonnage, le gardon domine les prélèvements et laisse progressivement la place à la perche en fin de saison.

On peut aussi aisément déclarer que la zone Pont Misère est une zone propice au développement et à la survie des alevins puisque c'est dans cette zone qu'ils y sont les plus grands à la fois en taille et en poids mais aussi les plus abondants.

Pour l'année 2003, l'évolution de la longueur totale en mm et du poids moyen en mg pour les alevins de perche et de gardon dans la zone Pont Misère (ZP) est présentée dans le tableau 4-I.

Pour les prélèvements de l'année 2003, seules trois dates de terrain sur les cinq prévues ont été fructueuses. En effet, les 13 et 27 juin 2003 aucun alevin n'a été pêché ni même vu.

En ce qui concerne les alevins de gardons, seules deux dates de prélèvements (les 24 juin et 8 juillet 2003) sur les cinq ont révélé la présence de gardons.

La comparaison des longueurs moyennes et poids moyens des gardons aux mêmes dates de prélèvement dans la zone Pont Misère (ZP) nous montre quelques tendances. L'année 2003 semble être plus favorable à la croissance que l'année 1999. En effet, le 24 juin 2003, la longueur moyenne et le poids moyen d'un gardon est de 28 mm pour 232 mg ; tandis qu'ils n'ont respectivement que 22 mm et 85 mg le 22 juin 1999. Le 8 juillet 2003, la longueur moyenne est de 37 mm pour un poids de 525 mg ; alors que le 6 juillet 1999 la longueur est de 31 mm pour un poids de 245 mg.

En terme de nombres d'individus capturés, on ne peut pas vraiment observer une différence entre ceux-ci : on passe de 4 individus capturés le 24 juin 2003 à 7 individus le 8 juillet 2003. Si on compare à présent le nombre de captures de 2003 avec celles de 1999 dans la zone Pont Misère (ZP), on remarque immédiatement le gouffre qui sépare les deux valeurs. Le 7 juin 1999, 1089 gardons ont été pêchés ; tandis que le 11 juin 2003, aucun alevin n'a été récolté.

Les perches ont été capturées pour la première fois le 11 juin 2003. Le début de la saison de capture 2003 se déroule donc plus ou moins à la même date qu'en 1999 (7 juin 1999).

Si on compare à présent les longueurs moyennes et les poids moyens des perches de la zone Pont Misère (ZP) des deux années d'échantillonnage, on peut en tirer différentes informations. Le 7 juin 1999, la longueur moyenne d'une perche était de 28 mm pour un poids moyen de 216 mg. Le 11 juin 2003, la longueur moyenne est de 32 mm pour un poids moyen de 327 mg. En début de saison, l'alevin de perche né en 2003 est donc à la fois plus grand en taille et en poids que celui né en 1999. Par contre pour les deux autres dates d'échantillonnage de 2003, à la fois la longueur moyenne et le poids moyen d'un alevin sont plus faibles que celles aux mêmes dates en 1999. En effet, la longueur moyenne et le poids moyen le 22 juin 1999 sont respectivement de 47 mm et 917 mg ; tandis que le 24 juin 2003 la longueur moyenne et le poids moyen sont respectivement de 40 mm et 683 mg. L'observation peut aussi être faite pour le 8 juillet 2003. A cette date, la longueur moyenne est de 44 mm pour un poids moyen de 952 mg. Par contre, le 6 juillet 1999, la longueur moyenne est de 49 mm pour un poids de 1091 mg. La croissance des alevins de perche nés en

2003 est donc plus rapide qu'en 1999 au début de la saison d'échantillonnage, mais progressivement la tendance s'inverse avec l'avancement dans la saison.

En terme de nombre d'individus capturés, on peut remarquer qu'au fur et à mesure de l'avancement dans la saison le nombre de captures ne fait qu'augmenter : on passe de 28 perches capturées le 11 juin 2003 à 40 le 24 juin 2003 puis à 51 le 8 juillet 2003. Si on compare maintenant avec les résultats de 1999, on remarque que le nombre de captures est nettement supérieur en 2003. En effet, seulement 5 perches ont été pêchées le 7 juin 1999, 4 le 22 juin 1999 et 12 le 6 juillet 1999.

Tableau 4-I : Evolution de la longueur totale moyenne L (mm) et du poids moyen P (mg) pour les alevins de perche et de gardon dans la zone du Pont Misère (ZP) du lac d'Esch-sur-Sûre en 2003 ainsi que le nombre d'alevins capturés à chaque date d'échantillonnage.

| GARDON-ZP | | | | | |
|------------------|------------|------------|------------|------------|----------|
| Date | L moy (mm) | ecart-type | P moy (mg) | ecart-type | Nbr ind. |
| 13/05/2003 | | | | | 0 |
| 27/05/2003 | | | | | 0 |
| 11/06/2003 | | | | | 0 |
| 24/06/2003 | 28,5 | 3,64005494 | 231,85 | 98,0056503 | 4 |
| 8/07/2003 | 37,2857143 | 3,77334006 | 524,842857 | 191,100775 | 7 |

| PERCHE-ZP | | | | | |
|------------------|------------|------------|------------|------------|----------|
| Date | L moy (mm) | ecart-type | P moy (mg) | ecart-type | Nbr ind. |
| 13/05/2003 | | | | | 0 |
| 27/05/2003 | | | | | 0 |
| 11/06/2003 | 31,8214286 | 2,21198037 | 326,982143 | 73,5230881 | 28 |
| 24/06/2003 | 39,525 | 3,0465407 | 683,3675 | 183,137801 | 40 |
| 8/07/2003 | 44,1568627 | 4,4871931 | 951,833333 | 330,851694 | 51 |

En résumé, le nombre d'alevins de perches pêchés en 2003 est supérieur au nombre pêché en 1999. Par contre, la croissance est plus rapide en 1999.

Pour les gardons, les tendances sont inverses : le nombre d'alevins pêchés est supérieur en 1999 et la croissance est plus rapide en 2003.

L'échantillonnage de 2003 prenait aussi en compte l'analyse de la zone située autour de la passerelle de Lultzhausen. Aucun résultat n'est présenté dans ce manuscrit car aucun alevin de l'année n'a été prélevé dans cette zone. Les seuls individus vus sont des poissons plus âgés, des 1+ ou 2+. Nous avons donc décidé d'échantillonner une zone de gabions située non loin de la passerelle. Notre pêche s'est révélée fructueuse une seule fois sur les cinq dates (le 8 juillet 2003) de terrain et 5 alevins de perches ont été capturés. Des alevins de brochet ont également été observés entre des gabions. Aux dires des chercheurs du CRPGL, la présence de poisson 0+ autour de la passerelle est plus tardive et se déroulerait vers le fin août et au mois de septembre.

IV.4. Indice d'occurrence et d'abondance

Afin d'étudier le régime alimentaire des alevins, les indices d'occurrence et d'abondance par dates de prélèvement ont été calculés. Chaque indice possède ses avantages et inconvénients. L'indice d'occurrence permet une évaluation qualitative rapide des préférences alimentaires du poisson. Par contre, il ne donne aucune information des proportions relatives des différentes catégories alimentaires dans le régime de l'espèce. L'indice d'abondance, lui, permet d'estimer le nombre d'individus consommé par le poisson mais ne tient pas compte de la biomasse des différentes catégories alimentaires, risquant ainsi

d'exagérer l'importance prise par les individus de petite taille qui peuvent être très nombreux dans un échantillon sans pour autant représenter une fraction majoritaire de son volume.

Les figures 4-8 présentent une sélection des indices d'occurrence et d'abondance des alevins de gardon et de perche du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999. Seules les graphes les plus représentatifs ont été présentés et discutés en détails. Les autres se trouvent dans l'annexe 5 et n'ont pas été sélectionnées afin de ne pas énoncer d'informations redondantes.

Commençons tout d'abord par analyser les indices d'occurrence et d'abondance pour les gardons.

Pour les gardons pêchés le 17 juin 1999, ce sont les espèces *K. quadrata* et *K. cochlearis* qui présentent l'indice d'occurrence le plus élevé avec des valeurs proches de 60 %. Un deuxième ensemble peut être détecté avec des valeurs de plus ou moins 30 %. Il contient des taxa tels que *Trichocerca* sp., les cyclopoïdes et nauplii, *Chydorus* sp. et *Polyarthra* sp.. Loin derrière, les autres taxa présentent tous des valeurs de moins de 10 %. Les résultats des indices d'abondance montrent aussi la dominance de *K. quadrata* et *K. cochlearis* (respectivement 55 et 25 %). Les valeurs des autres taxa sont minimales.

Le 6 juillet 1999, l'indice d'occurrence est le plus élevé pour *K. cochlearis* et *Bosmina* sp. avec respectivement 100 et 90 %. Les autres taxa possèdent un indice inférieur à 10 % sauf pour les diatomées dont la valeur est de 35 %.

L'indice d'abondance de *K. cochlearis* et *Bosmina* sp. est quasi identique avec plus ou moins 40 %. Les diatomées possèdent un indice de 15 %; tandis que l'indice des autres taxa est quasi nul.

Le 13 juillet 1999, *Bosmina* sp. et les cyclopoïdes possèdent les indices d'occurrence les plus élevés avec respectivement 90 et 55 %. *K. cochlearis* et *Chydorus* sp. arrivent en troisième position avec 40 %. Les autres espèces ne dépassent pas les 20 %.

L'indice d'abondance est plus catégorique. Il est de plus de 90 % pour *Bosmina* sp. et quasi nul pour les autres taxa zooplanctoniques ingérés.

Passons maintenant à l'analyse des indices pour la perche.

Les perches capturées le 7 juin 1999 ont à la fois un indice d'occurrence et d'abondance très marqué. L'indice d'occurrence est de 80 % pour les cyclopoïdes. Pour tous les autres taxa zooplanctoniques (*Bosmina* sp., *Diaphanosoma* sp., *Trichocerca* sp. ...) l'indice est de 20 %. Les cyclopoïdes dominent aussi les valeurs d'abondance avec plus de 90 %. Les autres espèces ne dépassent même pas chacune les 2 %.

Pour les perches pêchées le 3 août 1999, les cyclopoïdes possèdent toujours l'indice d'occurrence le plus élevé avec 100 %. Les insectes et *A. nana* possèdent quant à eux une valeur de respectivement 75 et 45 %. En troisième position arrive les *Bosmina* sp., némathelminthes, simuliidae et diatomées avec une valeur commune de 25 %. Les autres taxa présentent des indices inférieurs ou égaux à 10 %.

En terme d'indice d'abondance, ce sont à présent les *Ceriodaphnia* sp. qui possèdent les valeurs les plus hautes avec 40 %. Tandis que les cyclopoïdes présentent une valeur presque deux fois moindre et que les autres espèces possèdent des valeurs inférieures à 15 %.

Le 17 août 1999, les indices d'occurrence et d'abondance montrent un changement dans les préférences alimentaires de la perche, alors que jusque maintenant c'était les cyclopoïdes qui dominaient ces deux indices. C'est *Bosmina* sp. qui possède à présent la valeur la plus haute avec 80 % en indice d'occurrence. Les taxa secondaires sont les ostracodes,

némathelminthes, cyclopoïdes, *Ceriodaphnia* sp., insectes, *Chydorus* sp., oligochètes et chironomidae avec des valeurs allant de 25 à 50 %. Les autres espèces présentent des valeurs inférieures à 10 %.

L'indice d'abondance des *Bosmina* sp. (70 %) est nettement supérieur à celui des autres taxa. En effet, leurs valeurs ne dépassent pas les 10 %.

Pour les perches capturées le 17 septembre 1999, l'indice d'occurrence est de 100 % pour les cyclopoïdes et de 65 % pour les chironomidae, insectes, némathelminthes et *Diaphanosoma* sp.. Pour les autres taxa (oligochète, ostracode, *Acroperus* ou *Camptocercus*, *Bosmina* sp.), la valeur de cet indice est de 35 %.

L'indice d'abondance à cette même date est le plus grand pour les chironomidae avec 40 %. Les cyclopoïdes possèdent une valeur de 35 %, et tous les autres taxa une valeur inférieure ou égale à 10 %.

En résumé, une évolution des indices d'occurrence et d'abondance en fonction du temps est visible.

Au début de la saison d'échantillonnage, les préférences alimentaires du gardon se portent surtout sur les rotifères ; les espèces les plus ingérées étant *K. cochlearis*, *K. quadrata*, *Trichocerca* sp. Au fur et à mesure de l'avancement dans la saison, les rotifères sont progressivement remplacés par les cladocères et surtout *Bosmina* sp.. Le manque de données pour la mi- et fin de saison ne permet pas de préciser cette évolution.

Les données sur les perches étant plus nombreuses, l'évolution des préférences alimentaires est donc réalisable. Au début de la saison de prélèvement, ce sont les copépodes cyclopoïdes qui composent principalement le régime alimentaire du poisson. Au fur et à mesure de l'avancement dans la saison, l'importance des cyclopoïdes est de moins en moins marquée. Ils vont être progressivement remplacés tout d'abord par le cladocère *Ceriodaphnia* sp. puis par un autre cladocère, *Bosmina* sp.. A la fin de la saison, ce sont les chironomidae qui sont les plus ingérés.

Les figures 4-9 présentent les indices d'occurrence et d'abondance des alevins de gardon et de perche du lac d'Esch-sur-Sûre en 2003.

Le 11 juin 2003, aucun alevin de gardon n'a été capturé.

Les perches pêchées le 11 juin 2003 possèdent un indice d'occurrence élevé pour les espèces *Chydorus* sp. et cyclopoïdes avec des valeurs proches de 90 %. Les chironomidae se placent en deuxième position avec une valeur de 75 %. Quant à toutes les autres espèces, leurs valeurs se situent en dessous de 40 %.

La valeur la plus élevée pour l'indice d'abondance est attribuée à *Chydorus* sp. avec près de 60 %. Les cyclopoïdes arrivent second avec une valeur de 25 % ; tandis que les autres espèces ont des valeurs inférieures à 10 %.

Le 24 juin 2003, seuls trois taxons sont présents dans les estomacs des gardons. L'indice d'occurrence maximum pour les *Chydorus* sp. avec 100 %. *Bosmina* sp. et *K. cochlearis* possèdent respectivement des valeurs d'indice d'occurrence de 50 et 25 %.

L'indice d'abondance est beaucoup plus catégorique que l'indice d'occurrence en ce qui concerne la supériorité des *Chydorus* sp.. En effet sa valeur est de plus de 90 %. Les deux autres taxons arrivent loin derrière avec moins de 10 %.

Pour les perches du 24 juin 2003, les *Chydorus* sp. possèdent toujours un indice d'occurrence de 100 %. Les cyclopoïdes et Chironomidae ont quant à eux des valeurs

comprises entre 75 et 85 %. Les *Diaphanosoma* sp. et les jeunes cladocères se retrouvent en troisième position avec des valeurs avoisinant les 50 %. Les autres espèces ont des valeurs inférieures à 25 %.

L'indice d'abondance est encore plus marqué pour les *Chydorus* sp. que celui de la date d'échantillonnage précédente. Cette fois, il est de plus de 85 %. Ce sont toujours les cyclopoïdes qui arrivent en deuxième position mais maintenant leur valeur n'est plus qu'à peine de 10 %. Les valeurs des autres espèces ne dépassent pas les 3 %.

Pour les gardons pêchés le 8 juillet 2003, la dominance de *Chydorus* sp. en terme d'indice d'occurrence et d'abondance est nettement moins marquée. En effet, sa valeur est descendue respectivement à moins de 60 % et 35 %. L'indice d'occurrence des cyclopoïdes se rapproche de plus en plus de celui des *Chydorus* sp. avec une valeur de 45 %. *Bosmina* sp., *K. cochlearis* et les ostracodes arrivent en troisième position avec moins de 30 % et tous les autres taxa possèdent des valeurs inférieures à 15 %.

En ce qui concerne l'indice d'abondance des gardons et comme mentionné ci-dessus, ce sont toujours *Chydorus* sp. qui dominent mais dans une moindre mesure. L'indice de *Bosmina* sp. se trouve être très proche de celui de *Chydorus* sp. avec une valeur de 25 %. Les autres taxa ont des valeurs inférieures ou proches de 10 %.

Pour les perches, les chironomidae possèdent la valeur la plus élevée des différents indices d'occurrence avec près de 80 %. Les cyclopoïdes se retrouvent en deuxième position avec un peu moins de 60 %. Les autres taxa sont tous inférieurs à 50 %.

L'indice d'abondance pour les perches est presque identique pour les cyclopoïdes et chironomidae avec des valeurs de respectivement 34 et 32 %. A cette date, l'importance de *Chydorus* sp. est minime. En effet, sa valeur n'est plus que de 2,5 %.

En résumé, l'évolution des différentes espèces ingérées peut se décrire comme ceci.

Pour les gardons, *Chydorus* sp. compose principalement le régime alimentaire du 11 juin 2003. Le 8 juillet, on remarque que l'importance de *Chydorus* sp. diminue.

Pour les perches, ce sont aussi les *Chydorus* sp. qui dominent le régime alimentaire les premières dates de prélèvement. Ensuite, ce taxon est semblé subitement remplacé par les cyclopoïdes et chironomidae. L'échantillonnage toutes les deux semaines est à l'origine de ce changement d'habitude alimentaire. Un changement progressif a sans doute eu lieu.

Si on compare à présent avec l'année d'échantillonnage 1999, la première différence de taille est l'importance prise par *Chydorus* sp. dans les régimes alimentaires de la perche et du gardon en 2003. La comparaison entre les perches du 6 juillet 1999 et du 8 juillet 2003 montre des résultats plus ou moins identiques avec la dominance des cyclopoïdes dans les deux cas. L'année 2003 semble être aussi plus favorable au développement des chironomidae qui se retrouvent en plus grand nombre dans les estomacs des poissons.

IV.5. Indice de sélectivité

Contrairement aux indices d'occurrence et d'abondance, l'indice de sélectivité tient compte des densités (ind/l) de chaque taxon zooplanctonique présent dans l'eau. Ainsi, il reflète mieux la réalité quant à la sélectivité des alevins par rapport à un taxon zooplanctonique. L'indice de sélectivité est calculé par date et par zone échantillonnée.

Dans ce manuscrit, nous n'allons traiter que l'indice de sélectivité moyen. En annexe vous trouverez un indice de sélectivité individuel (calculé pour chaque individu). Celui-ci

n'est pas présenté dans ce manuscrit car la variabilité entre poissons est beaucoup trop importante pour permettre une comparaison des résultats

IV.5.1. Les gardons

La figure 4-10 présente les différents indices de sélectivité pour les gardons pêchés dans la zone Pont Misère (ZP) du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999.

Remarque : les astérisques sur les graphes de sélectivité veulent simplement dire que le taxon zooplanctonique a été retrouvé dans le contenu stomacal mais pas dans les analyses d'eau.

Le 31 mai 1999, ce sont sur les nauplii et *Polyarthra* sp. que la sélectivité est la plus forte avec une valeur de 0,45. *K. cochlearis* est la troisième espèce sélectionnée pour cette date avec un indice de 0,10.

Le 7 juin 1999, *K. cochlearis* détient la sélectivité la plus haute avec 0,6 et *K. quadrata* arrive second avec 0,3. Les autres taxa se partagent les 0,1 qui reste.

Le 17 juin 1999, ce sont toujours les *K. cochlearis* et *K. quadrata* qui ont la sélectivité la plus haute. Cette fois-ci, *K. quadrata* possède une valeur de 0,55, tandis que celle de *K. cochlearis* est de 0,25. Le taxon *Lecane* sp. fait son apparition avec une valeur de plus ou moins 0,2.

Le 22 juin 1999, *K. quadrata* est toujours l'espèce qui possède la plus grande sélectivité avec un peu plus de 0,5. Les autres taxa se diversifient de plus en plus. On remarque ainsi l'apparition de *Bosmina* sp. avec 0,1, *Trichocerca* sp. et *Kellicotia longispina* avec un peu plus de 0,1 chacun.

Le 6 juillet 1999, *Bosmina* sp. détient la sélectivité la plus grande avec une valeur de plus de 0,8. On notera aussi l'apparition de *Pleuroxus* sp. avec un peu plus de 0,1.

Le 13 juillet 1999, *Bosmina* sp. possède toujours la sélectivité la plus haute avec un peu moins de 0,8. *K. cochlearis* prend quant à lui beaucoup plus d'importance et atteint une valeur d'un peu moins de 0,2.

Le 20 juillet 1999, *K. cochlearis* domine l'indice de sélectivité avec une valeur de 0,7. *Bosmina* sp. et *Ceriodaphnia* sp. sont les deux autres taxa et détiennent un indice de plus ou moins 0,1.

Après avoir analysé les divers indices de sélectivité de cette zone (ZP), une évolution de ces mêmes indices au cours du temps peut être mise sur pied. Au début de la saison d'échantillonnage, les rotifères dont *Polyarthra* sp., *Kellicotia longispina*, *K. cochlearis* et *K. quadrata* sont principalement sélectionnés. Au fur et à mesure de l'avancement dans la saison, les cladocères vont être de plus en plus sélectionnés et surtout les espèces *Bosmina* sp..

En 1999, aucun gardon n'a été récolté dans la zone à genêts (ZG).

La figure 4-11 présente les différents indices de sélectivité des gardons capturés dans la zone à herbier (ZH) du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999.

Le 31 mai 1999, *K. cochlearis* et *Polyarthra* sp. sont les deux seuls taxa repris pour le calcul de l'indice de sélectivité. *K. cochlearis* possède une valeur de 0,7 et *Polyarthra* sp. une valeur de 0,3.

Le 7 juin 1999, *K. cochlearis* domine toujours l'indice de sélectivité avec 0,8 ; mais c'est *K. quadrata* qui se trouve être la seconde espèce la plus sélectionnée avec un peu moins de 0,2.

Le 17 juin 1999, les rotifères ont laissé place aux copépodes cyclopoïdes et au cladocère *Bosmina* sp.. Les cyclopoïdes possèdent une valeur de 0,8 et *Bosmina* sp. une valeur de presque 0,2.

Le 13 juillet 1999, *A. nana* est l'espèce la plus sélectionnée avec 0,9 d'indice de sélectivité. Les cyclopoïdes n'ont plus que 0,1 comme valeur. Le manque de données pour les 22 juin et 6 juillet 1999 ne nous permet pas de voir le remplacement progressif des cyclopoïdes par *A. nana*.

Même si toutes les dates de la saison d'échantillonnage n'ont pas entraîné la capture de gardon pour la zone à herbier (ZH), une évolution des indices peut être réalisée. Les gardons sélectionnent tout d'abord des rotifères dont *K. cochlearis* et *Polyartha* sp.. Ensuite ce sont successivement les cyclopoïdes et *A. nana* qui vont posséder les indices les plus grands.

Dans la zone Barrage (ZB), seuls trois gardons ont été capturés le 17 septembre 1999. A cette seule date, *Bosmina* sp. présente un indice de sélectivité de 0,4 ; tandis que les cyclopoïdes en possède un de 0,6.

La figure 4-12 présente les différents indices de sélectivité des gardons pêchés dans la zone Pont Misère (ZP) du lac d'Esch-sur-Sûre en 2003.

Le 24 juin 2003, *Bosmina* sp. possède un indice proche de 1. Par contre le 8 juillet 2003, ce sont les cyclopoïdes qui dominent la sélectivité avec un indice proche de 1.

Aucune évolution n'est détectable pour les gardons en 2003. Il semble que ceux-ci passent subitement d'une sélectivité quasi-totale envers les *Bosmina* sp. à une sélectivité quasi-totale aussi pour les cyclopoïdes. L'évolution est moins visible qu'en 1999 car l'échantillonnage de 2003 s'est fait toutes les deux semaines ; tandis qu'en 1999, il était réalisé toutes les semaines. Ces résultats sont à prendre au deuxième degré car l'échantillonnage de zooplancton ne représente pas toutes les espèces présentes réellement dans l'eau. En effet, certains taxa zooplanctoniques telles que *Chydorus* sp. n'ont pas été récoltés car ils vivent sur les fonds et donc ne sont pas pris en compte dans les indices de sélectivité. Et si on se réfère aux indices d'occurrence et d'abondance, on observe que *Chydorus* sp. est le taxon le plus ingéré par les gardons en 2003.

IV.5.2. Les perches

La figure 4-13 représente les différents indices de sélectivité des perches pêchées dans la zone Pont Misère (ZP) du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999.

Le 7 juin 1999, l'indice de sélectivité des cyclopoïdes atteint quasi 1. L'autre taxon est *Bosmina* sp.

Le 17 juin 1999, les cyclopoïdes dominent toutes les autres espèces avec une sélectivité totale.

Le 22 juin 1999, trois taxons se partagent l'indice de sélectivité. Il s'agit de *Ceriodaphnia* sp. avec une valeur de 0,6, *Kellicottia longispina* avec un peu moins de 0,2 et des cyclopoïdes avec un peu plus de 0,2.

Le 6 juillet 1999, l'indice n'est pas catégorique et trois taxa se le partagent toujours. Cette fois-ci, il s'agit de *Pleuroxus* sp. avec une valeur de 0,5, *Chydorus* sp. avec un peu moins de 0,2 et des cyclopoïdes avec un peu plus de 0,2.

Le 13 juillet 1999, la dominance des cyclopoïdes est de nouveau d'actualité. L'indice de sélectivité de cette espèce est de 0,9. L'autre taxon zooplanctonique pris en compte dans cet indice est *Bosmina* sp.

Le 20 juillet 1999, Les cyclopoïdes ont un indice proche de 1. *Bosmina* sp. est toujours l'espèce secondaire.

Le 3 août 1999, la dominance des cyclopoïdes est moins visible avec une valeur de plus ou moins 0,3. Cette fois-ci, ce sont les *Ceriodaphnia* sp. qui dominent l'indice avec 0,5. Comme le 6 juillet 1999, *Pleuroxus* sp. fait partie de l'indice de sélectivité avec une valeur de plus de 0,2.

Le 10 août 1999, les cyclopoïdes possèdent de nouveau la plus grande valeur de sélectivité avec près de 0,8. L'autre taxon est toujours *Bosmina* sp. avec un peu plus de 0,2.

Le 17 août 1999, les cyclopoïdes ne sont plus du tout présents dans la sélectivité. Celle-ci se partage entre *Ceriodaphnia* sp. et *Bosmina* sp. avec respectivement des valeurs de 0,8 et 0,2.

Le 31 août 1999, la sélectivité est totale pour *Bosmina* sp.

Une évolution de la sélectivité n'est pas vraiment observable pour cette zone. En effet, les copépodes cyclopoïdes dominent presque toujours l'indice de sélectivité. On peut tout de même remarquer qu'en fin de saison d'échantillonnage, les cladocères *Ceriodaphnia* sp. et *Bosmina* sp. sont les taxa qui dominent l'indice de sélectivité et les cyclopoïdes ne sont plus du tout sélectionnés.

La figure 4-14 représente les différents indices de sélectivité des perches pêchées dans la zone à herbier (ZH) du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999.

Le 17 juin 1999, l'indice de sélectivité de *Bosmina* sp. est proche de 0,9. L'autre taxon qui subit une sélectivité est le cyclopoïde et sa valeur de sélectivité est de 0,1.

Le 3 août 1999, trois taxa sont sélectionnés par les alevins de perche. Il s'agit de *Chydorus* sp. avec une valeur d'indice de 0,7, les cyclopoïdes avec un peu moins de 0,3 et *Bosmina* sp. avec moins de 0,1.

Le 10 août 1999, *Bosmina* sp. subit une sélectivité totale de la part de la perche.

Trois dates sont insuffisantes pour réaliser une évolution correcte de la sélectivité de la perche dans cette zone. On peut simplement remarquer que les cladocères sont plus sélectionnés que les copépodes cyclopoïdes.

La figure 4-15 représente les différents indices de sélectivité des perches capturées dans la zone à genêts (ZG) du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999.

Le 20 juillet 1999, deux taxa se partagent principalement la sélectivité. Il s'agit des cyclopoïdes avec une valeur proche de 0,7 et *Ceriodaphnia* sp. avec une valeur proche de 0,3. L'autre taxon est *Bosmina* sp.. Son indice de sélectivité est quasi nul.

Le 3 août 1999, c'est *Chydorus* sp. qui est le plus sélectionné par les alevins. La valeur de son indice est de 0,8. Les 0,2 restants sont partagés entre les cyclopoïdes, *Pleuroxus* sp. et *Daphnia* sp.

Les trois dates d'échantillonnage suivantes c'est-à-dire les 10, 17 et 24 août 1999 possèdent toutes un indice de sélectivité quasi total pour *Bosmina* sp..

Le 31 août 1999, ce sont les cyclopoïdes qui deviennent les espèces sélectionnées totalement par les perches.

Une évolution n'est pas non plus vraiment détectable pour cette zone (ZG). En effet, les cladocères sont sélectionnés quasi totalement pendant toute la période d'échantillonnage. Les cyclopoïdes sont, quant à eux, sélectionnés seulement les 20 juillet et 31 août 1999.

La figure 4-16 décrit les différents indices de sélectivité pour les perches capturées dans la zone barrage (ZB) du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999.

Le 13 juillet 1999, les cyclopoïdes possèdent un indice de sélectivité de 0,7. L'autre taxon, *Bosmina* sp., en possède un de 0,3.

Le 3 août 1999, trois taxa se partagent l'indice de sélectivité. Les cyclopoïdes détiennent toujours l'indice le plus haut avec 0,65. Par contre, *Bosmina* sp. n'est plus sélectionné. Ce taxon est remplacé par *Ceriodaphnia* sp. et *K. quadrata* avec chacun une valeur proche de 0,2.

Le 10 août 1999, l'indice de sélectivité est quasi-total pour les cyclopoïdes. L'autre taxa sélectionné est *Bosmina* sp..

Le 17 août 1999, quatre taxa subissent une sélection de la part des alevins de perche. Il s'agit des cyclopoïdes avec une valeur de 0,1, *Chydorus* sp. avec 0,8, *Ceriodaphnia* sp. et *Bosmina* sp. avec un total de 0,1.

Le 24 août 1999, la sélectivité est totale pour les cyclopoïdes.

Le 7 septembre 1999, seuls *Bosmina* sp. et les cyclopoïdes sont sélectionnés par les perches. *Bosmina* sp. possède un indice de 0,9 et les cyclopoïdes en possède un de 0,1.

Par contre, le 17 septembre 1999, la tendance s'est inversée et ce sont maintenant les cyclopoïdes qui détiennent la sélectivité la plus grande. *Bosmina* sp., quant à elle, ne possède qu'une valeur légèrement supérieure à 0,1.

En résumé, les cyclopoïdes sont sélectionnés majoritairement pendant presque toute la saison d'échantillonnage. A certaines dates, cependant, ce sont les cladocères *Bosmina* sp. (07/09/1999) et *Chydorus* sp. (17/08/1999) qui dominent l'indice de sélectivité.

La figure 4-17 présente les différents indices de sélectivité des perches pêchées dans la zone Pont Misère (ZP) du lac d'Esch-sur-Sûre en 2003.

Le 11 juin 2003, trois taxa composent principalement l'indice de sélectivité. Il s'agit des cyclopoïdes avec une valeur de 0,4, de *Brachionus* sp. avec 0,3 et de *Bosmina* sp. avec 0,3.

Le 24 juin 2003, seuls deux des trois taxa précédents subsistent. Les cyclopoïdes possèdent à présent une valeur de 0,7 et *Bosmina* sp. une valeur de 0,3.

Le 8 juillet 2003, la sélectivité des perches pour les cyclopoïdes est totale.

En résumé, on peut affirmer que les alevins de perche possèdent une forte sélectivité pour les cyclopoïdes quelle que soit la date d'échantillonnage en 2003. Comme cela a déjà été mentionné pour les gardons, les perches de 2003 avaient aussi dans leur contenu stomacal un cladocère qui a échappé à l'échantillonnage de zooplancton, *Chydorus* sp.. Celui-ci est en quantité nettement supérieure aux autres espèces ingérées. Donc, dire que les cyclopoïdes dominent la sélectivité n'est pas tout à fait juste car on ne tient pas compte de tous les taxa présents dans le milieu.

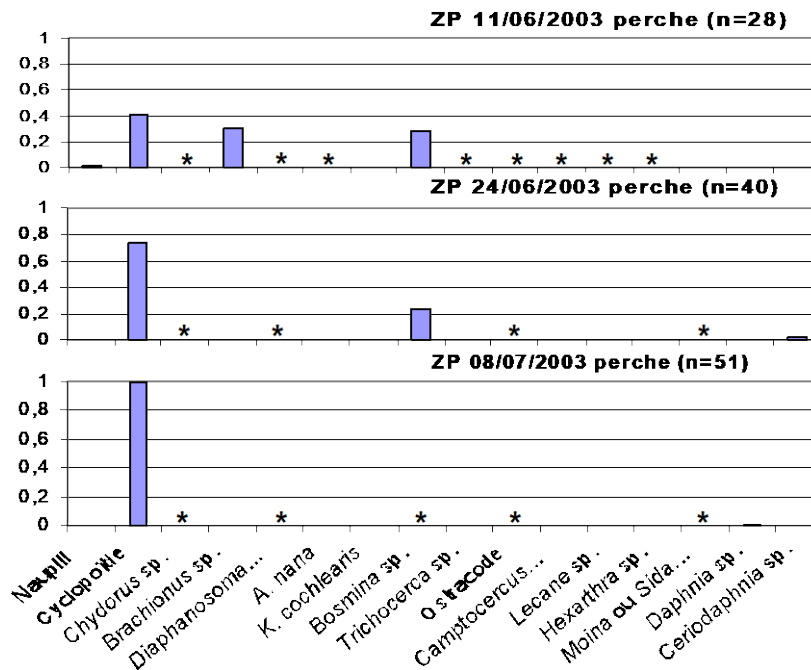


Figure 4-17 : Indice de sélectivité des perches capturées dans la zone Pont Misère (ZP) du lac d'Esch-sur-Sûre en 2003.

IV.6. Moyenne des taxa ingérés

Après avoir analysé les différents indices, la moyenne et l'écart type de chaque catégorie alimentaire ingérée a été calculé pour chaque zone et chaque espèce de poisson. Seuls les résultats les plus parlant et concernant la zone Pont Misère (ZP) échantillonnée en 1999 et en 2003 seront analysés dans ce chapitre. Les autres tableaux se trouvent en annexe 8.

Le tableau 4-II reprend les moyennes ingérées des principales espèces de zooplancton et macro-invertébrés pour les gardons et les perches par date d'échantillonnage pour la zone Pont Misère (ZP) du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999.

On commence tout d'abord par analyser les moyennes ingérées par les gardons pêchés en 1999 (tableau 4-IIa).

Le 31 mai 1999, même pas 1 *K. cochlearis* n'est consommé par poisson. Par la suite, on peut remarquer que la consommation de *K. cochlearis* ne fait qu'augmenter au fur et à mesure de l'avancement dans la saison. Un pic de consommation est visible le 22 juin 1999 avec plus ou moins 23 *K. cochlearis* ingérés par gardon. Ensuite, on assiste à un déclin d'ingestion de *K. cochlearis*. En effet, le 20 juillet 1999, la moyenne ingérée de *K. cochlearis* est quasi identique à celle de la première date d'échantillonnage c'est-à-dire en moyenne 0,6 *K. cochlearis* par gardon.

Bosmina sp. est consommée, quant à elle, par le gardon plus tard dans la saison de prélèvement. En effet, aucune *Bosmina* sp. n'a été ingérée les 31 mai et 17 juin 1999. Une

évolution dans le nombre d'individus ingérés est aussi visible pour *Bosmina* sp. : le pic d'ingestion se déroule cette fois-ci le 13 juillet 1999, soit plus ou moins 15 jours après celui de *K. cochlearis*.

Les cyclopoïdes commencent aussi à être ingérés plus tard dans la saison, probablement pour la même raison que *Bosmina* sp.. Le 17 juin 1999, à peine un cyclopoïde est ingéré par alevin. L'évolution de l'ingestion de cyclopoïdes ne présente pas de pic de consommation comme les deux espèces précédentes.

En analysant le tableau 4-IIIb concernant les alevins de perche pêchés en 1999, on peut remarquer que *Bosmina* sp. est ingéré de façon irrégulière. Il n'y a aucune évolution dans sa consommation. Trois pics d'ingestion peuvent tout de même être détectés les 13 juillet, 3 août et 17 août 1999 avec respectivement 23, 11 et 281 *Bosmina* sp. ingérées en moyenne par individu. Les autres valeurs sont insignifiantes par rapport à ces trois là.

En ce qui concerne la consommation de *Chydorus* sp., un pic est visible le 6 juillet 1999 avec en moyenne 10 individus consommés par perche.

Les cyclopoïdes sont ingérés en quantité remarquable par les perches. Un pic d'ingestion semble être présent le 17 juin 1999 avec en moyenne 51 cyclopoïdes ingérés par individu. Après ce pic, l'ingestion de cyclopoïdes devient de plus en plus faible et pour finalement atteindre une valeur de 2 cyclopoïdes mangés en moyenne par la perche. Deux dates de prélèvement sont cependant en dehors de cette évolution. Il s'agit des 22 juin et 20 juillet 1999. Le fait que les estomacs ne soient pas remplis pour chaque poisson peut en être la cause.

Les chironomidae et insectes constituent une part assez importante dans le régime alimentaire des perches. Au vu du tableau 4-IIIb, on peut remarquer que deux vagues d'ingestion des chironomidae sont présentes. La première se déroule de la mi-juin à début juillet 1999 et la deuxième de la mi-juillet à la mi-août 1999. A chaque vague, un pic de consommation est détectable avec une valeur de plus ou moins 3 chacun.

Pour les insectes, on observe clairement une augmentation de leur nombre au fur et à mesure de l'avancement dans la saison d'échantillonnage. Un pic de consommation est visible le 20 juillet 1999 avec en moyenne 5 insectes ingérés par poisson.

Pour toutes les dates confondues, on remarque que l'écart type est énorme et peut quelquefois posséder une valeur supérieure à la moyenne ingérée. Ceci est fréquemment observable chez toutes les espèces de poissons. Le seul moyen de remédier à cela serait d'analyser plus d'estomacs et donc de réaliser plus de pêches.

Les résultats sont donc à prendre en compléments des indices d'occurrence et d'abondance car des tests statistiques n'ont pu être réalisés vu le peu d'individus capturés.

Le tableau 4-III reprend les moyennes ingérées des principales espèces de zooplancton et macro-invertébrés ingérées pour les gardons et les perches par date d'échantillonnage pour la zone Pont Misère (ZP) du lac d'Esch-sur-Sûre en 2003.

L'analyse du tableau 4-IIIa nous montre que *K. cochlearis* est consommé par les gardons de manière régulière avec en moyenne plus ou moins 0,25 *K. cochlearis* ingérés par poisson.

Bosmina sp. est ingérée en quantité de plus en plus grande au fur et à mesure de l'avancement dans la saison d'échantillonnage.

Les cyclopoïdes sont ingérés plus tard que les autres espèces zooplanctoniques, sans doute à cause de la limitation par la taille.

En analysant le tableau 4-IIIb, on remarque que le peu de valeurs ne sera pas suffisant pour réaliser une évolution correcte des moyennes ingérées. On peut tout de même en tirer quelques informations.

La consommation de *Bosmina* sp. diminue à chaque échantillonnage, mais on ne peut pas déterminer quand le pic de consommation a eu lieu ou aura lieu.

Pour les *Chydorus* sp., on peut remarquer que le nombre ingéré est assez important les deux premières dates d'échantillonnage. La dernière date possède, quant à elle, une valeur presque nulle.

Comme *Bosmina* sp., le nombre de cyclopoïdes ingérés ne fait que diminuer au fur et à mesure de l'échantillonnage.

L'ingestion des chironomidae et insectes est plus ou moins stable pour les trois dates de récolte avec des valeurs se trouvant respectivement aux alentours de 6-7 et 1-1,5. Cependant dans les deux cas, c'est le 24 juin 2003 que les valeurs sont les plus faibles.

Pour toutes les dates confondues de 2003, on remarque que comme en 1999, l'écart type est énorme et peut quelquefois posséder une valeur supérieure à la moyenne ingérée.

Tableau 4-III: Moyennes ingérées des principales espèces zooplanctoniques et macro-invertébrés pour les gardons (a) et les perches (b) par date d'échantillonnage pour la zone Pont Misère (ZP) du lac d'Esch-sur-Sûre en 2003 (le première valeur correspond à la moyenne ; tandis que la deuxième représente l'écart type).

a

| ZP-GARDON | 24/06/2003 | 8/07/2003 |
|-----------------------------|-------------|-------------|
| | n=4 | n=7 |
| <i>Keratella cochlearis</i> | 0,25 | 0,285714286 |
| | 0,5 | 0,755928946 |
| <i>Bosmina</i> sp. | 2 | 3,714285714 |
| | 2,309401077 | 7,846746368 |
| cyclopoïdes | | 1,714285714 |
| | | 2,751622898 |

b

| ZP-PERCHE | 11/06/2003 | 24/06/2003 | 8/07/2003 |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|
| | n=28 | n=40 | n=33 |
| <i>Bosmina</i> sp. | 1,24137931 | 0,475 | 0,212121212 |
| | 1,253566341 | 1,300640868 | 1,053493467 |
| <i>Chydorus</i> sp. | 86,48275862 | 136,15 | 0,606060606 |
| | 42,00119676 | 207,4396483 | 0,826868866 |
| cyclopoïdes | 33,65517241 | 15,125 | 8,090909091 |
| | 12,96270597 | 26,48675286 | 21,36492984 |
| chironomidae | 6,857142857 | 4,85 | 7,545454545 |
| | 3,297240493 | 5,046196842 | 8,062610112 |
| insecte | 1,517241379 | 0,625 | 1,363636364 |
| | 1,19743995 | 1,426624131 | 2,315952582 |

Une comparaison des résultats obtenus pour les mêmes dates en 1999 et 2003 peut être réalisée. Le 7 juin 1999 sera comparé au 11 juin 2003, le 22 juin 1999 au 24 juin 2003 et le 6 juillet 1999 au 8 juillet 2003

Pour les gardons, on remarque que la quantité de *K. cochlearis* ingérés est supérieure en 1999, quelle que soit la date considérée. Par contre pour *Bosmina* sp., une des dates de prélèvement de 2003 (24 juin 2003) possède une valeur supérieure à celle de 1999 ; tandis que l'autre (8 juillet 2003) en possède une inférieure à celle de 1999. En ce qui concerne les cyclopoïdes, c'est en 2003 qu'ils ont été le plus consommés.

Pour les perches, on remarque que la quantité de *Bosmina* sp. ingérée est supérieure pour l'année 2003 et ce pour les deux premières dates de 2003 (11 et 24 juin 2003) ; tandis qu'elle est inférieure pour la troisième date de 2003 (8 juillet 2003).

Chydorus sp. possède des valeurs de moyenne ingérée nettement supérieures en 2003 et ce pour n'importe quelle date de récolte.

Pour les cyclopoïdes, les valeurs de moyenne sont supérieures en 1999, les 7 juin et 6 juillet 1999. Par contre, le 22 juin 1999 les valeurs sont inférieures à celles de 2003.

En ce qui concerne les chironomidae, les valeurs de moyenne sont supérieures en 2003 et ce pour les trois dates comparées. Il ne faut pas oublier l'écart type énorme qui ne peut nous permettre de considérer ces données comme réalistes. Les résultats montrent juste une tendance à l'ingestion de certains taxa.

Pour les insectes, les deux premières dates de comparaison ont des valeurs supérieures en 2003. Par contre, la dernière date possède une valeur inférieure en 2003.

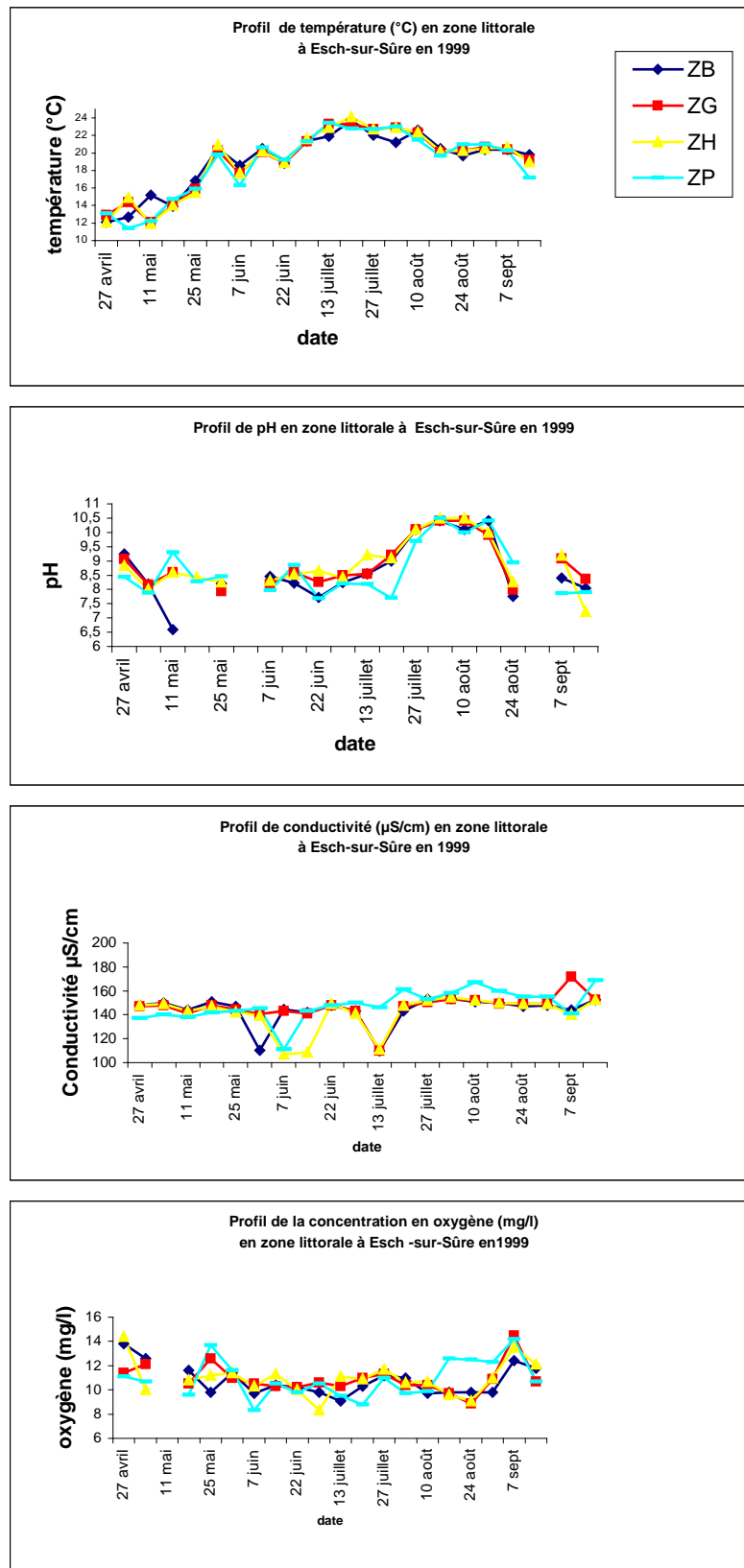


Figure 4-1: Evolution temporelle des profils de température (°C), de pH, de conductivité (µS/cm) et de concentration en oxygène dissous (mg/l) dans les 4 zones littorales du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999 (ZB = zone barrage; ZG = zone à genêts; ZH = zone herbier; ZP = zone Pont Misère) (d'après Mergen, 2002).

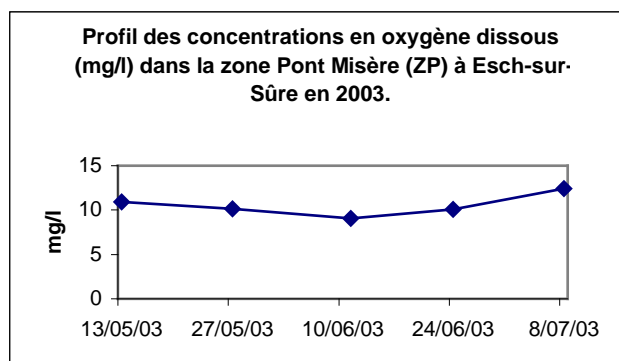
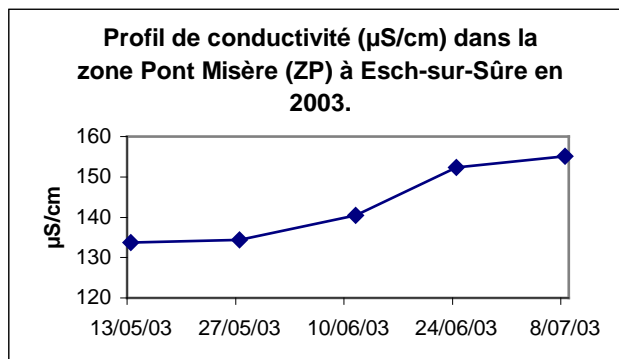
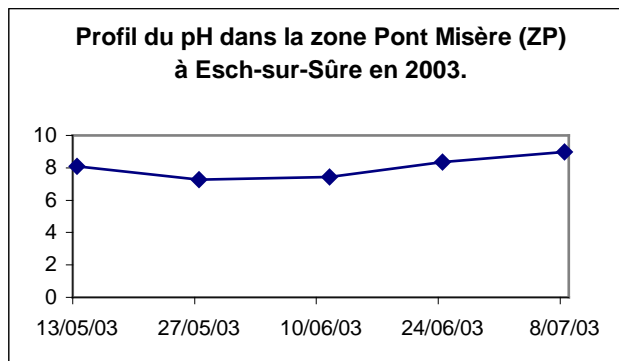
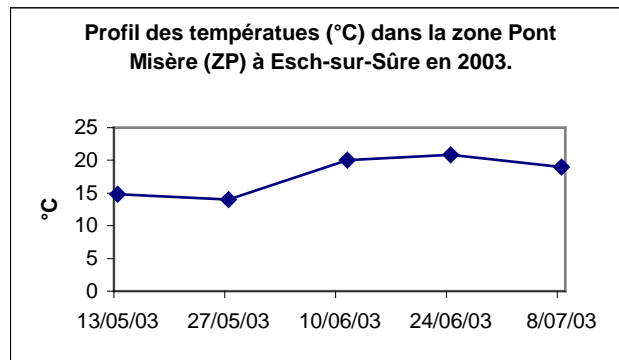


Figure 4-2: Evolution temporelle des profils de température (°C), de pH, de conductivité (µS/cm) et de concentration en oxygène dissous (mg/l) dans la zone Pont Misère (ZP) du lac d'Esch-sur-Sûre en 2003 (d'après les données du CRPGL, Luxembourg).

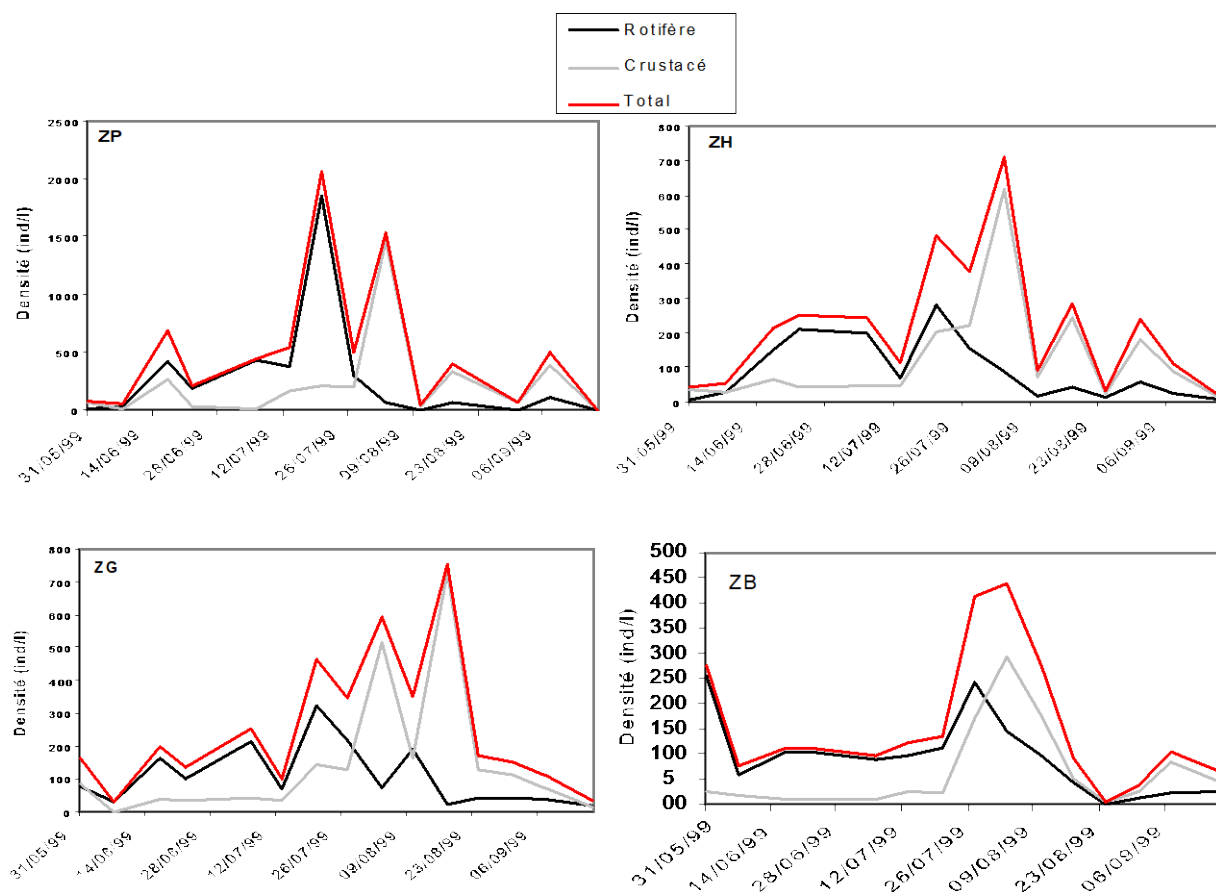


Figure 4-3 Evolution temporelle de la densité (ind/l) du zooplancton total, des rotifères et des crustacés dans les quatres sites littoraux du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999 (ZP = zone Pont Misère ; ZH = zone à herbier ; ZG = zone à genêts ; ZB = zone barrage).

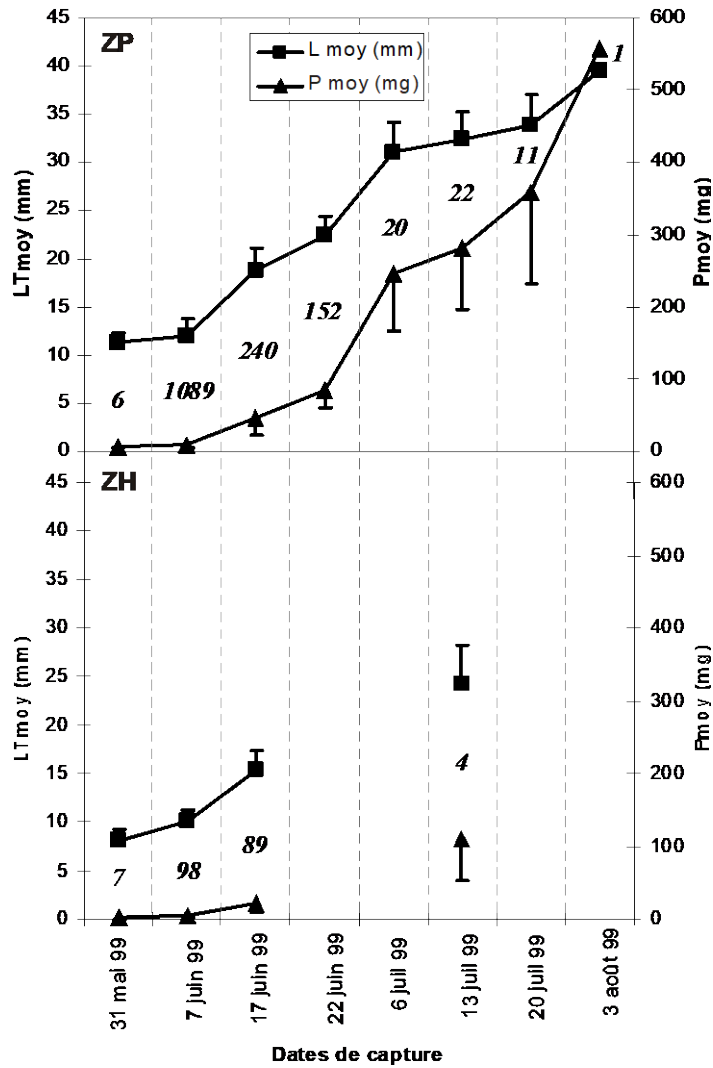


Figure 4-6 : Evolution de la longueur totale moyenne LT (mm) et du poids moyen P (mg) des alevins de gardon dans les zones littorales (ZP = zone Pont Misère ; ZH = zone à herbier ; ZG = zone à genêts ; ZB = zone barrage) du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999 ainsi que le nombre d'alevins capturés à chaque date (d'après Mergen, 2002).

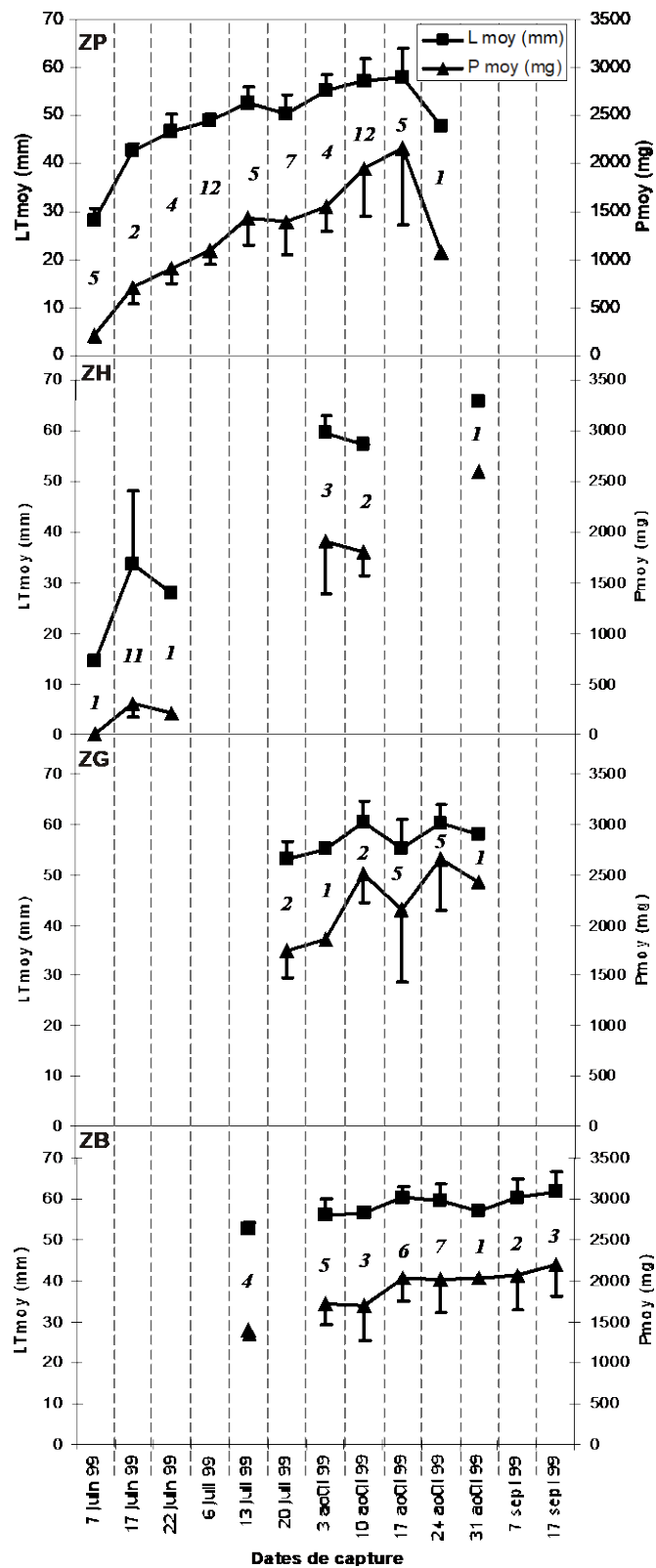


Figure 4-7 : Evolution de la longueur totale moyenne LT (mm) et du poids moyen P des alevins de perche dans les zones littorales du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999 (ZP = zone Pont Misère ; ZH = zone à herbier) ainsi que le nombre d'alevins capturés à chaque date (d'après Meren, 2002).

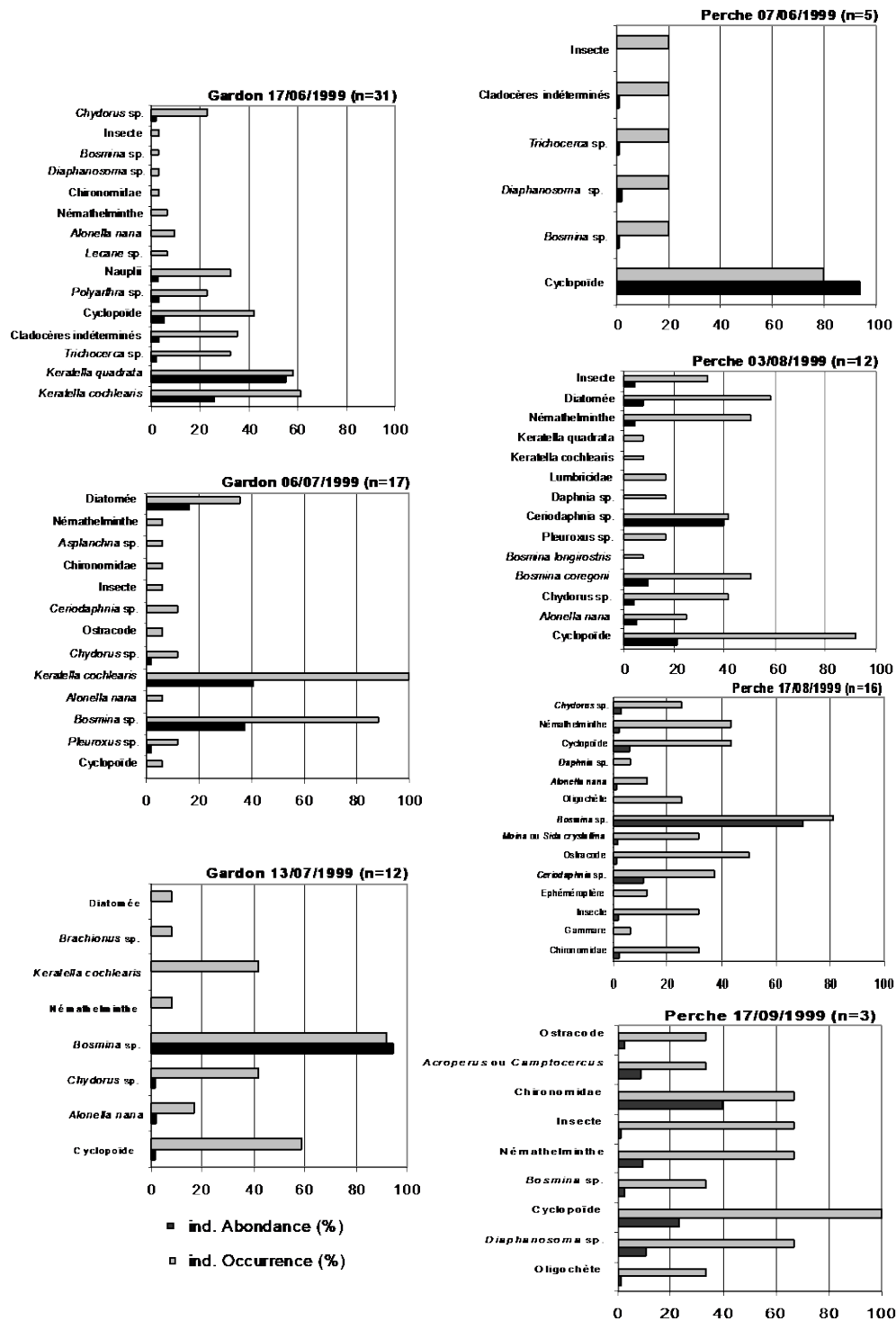


Figure 4-8 : Sélection des indices d'occurrence et d'abondance des alevins de perche et de gardon du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999.

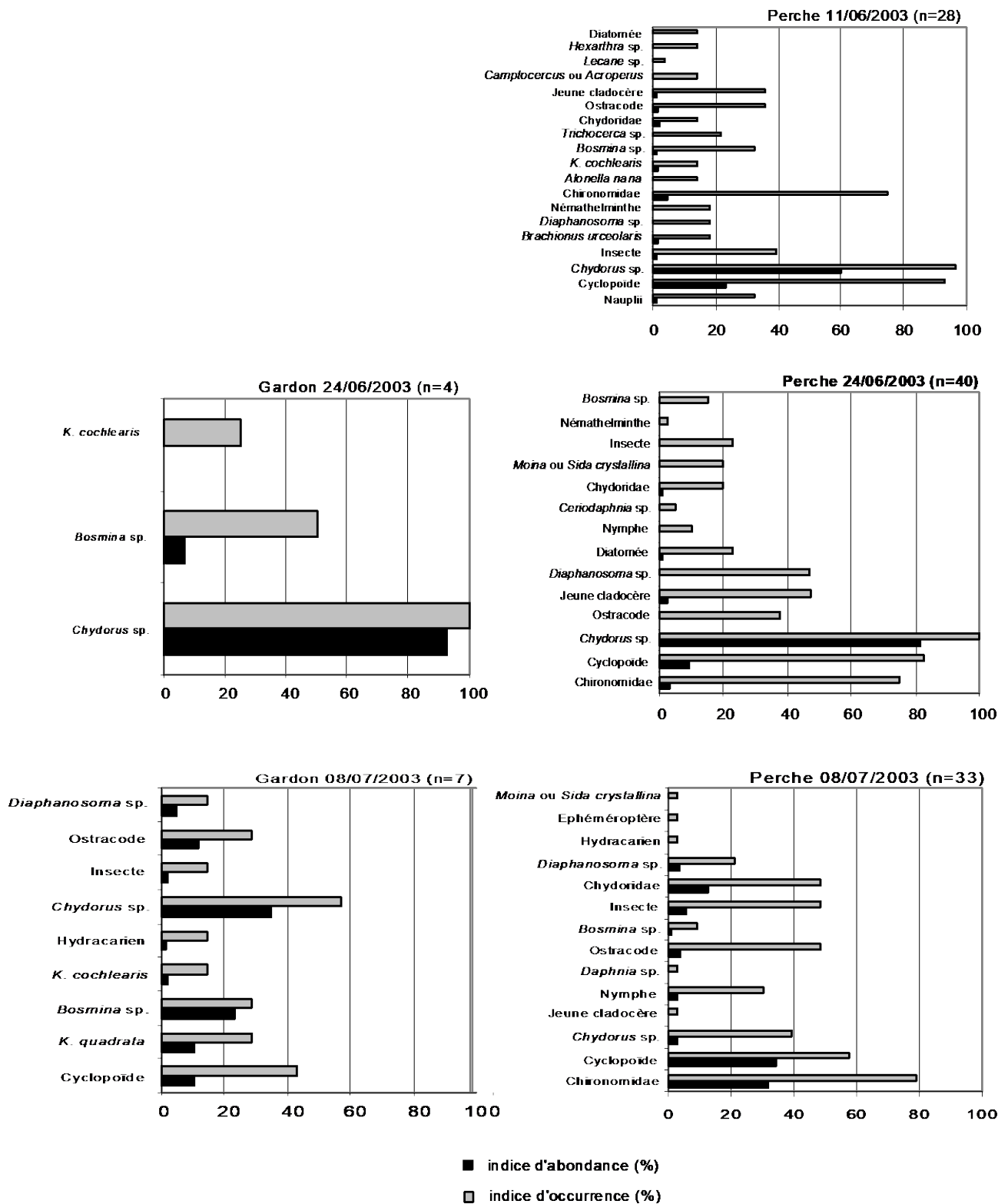


Figure 4-9 : Indices d'occurrence et d'abondance des alevins de perche et de gardon du lac d'Esch-sur-Sûre en 2003.

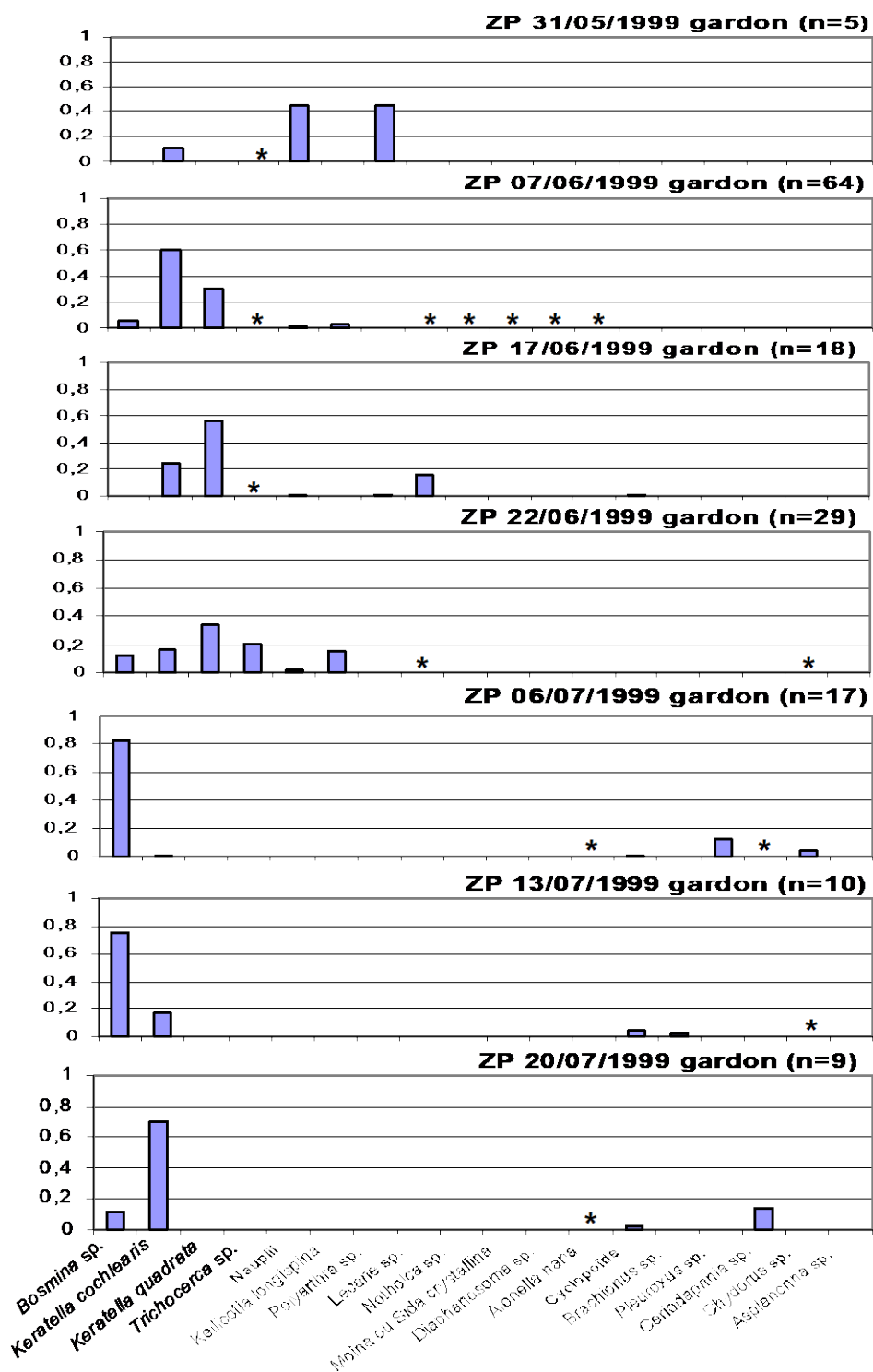


Figure 4-10 : Indice de sélectivité des gardons pêchés en zone Pont Misère (ZP) du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999 (les astérisques indiquent que le taxon zooplanctonique est présent dans le contenu stomacal mais pas dans l'eau).

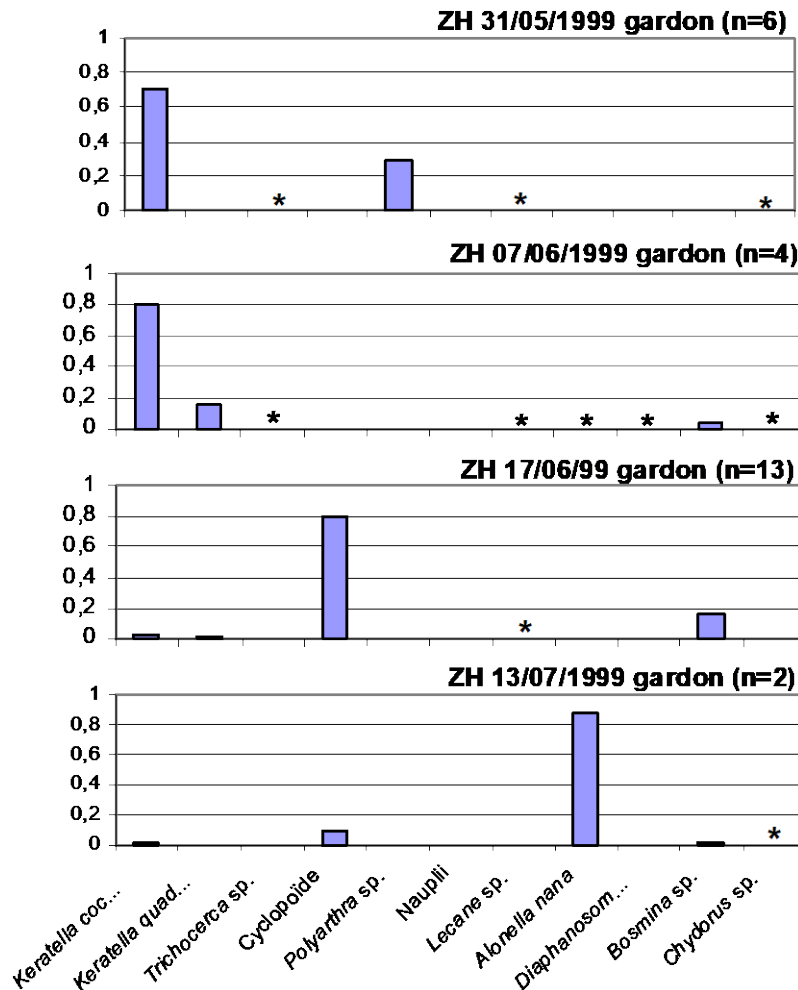


Figure 4-11 : Indice de sélectivité des gardons pêchés en zone à herbier (ZH) du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999 (les astérisques indiquent que le taxon zooplanctonique est présent dans le contenu stomacal mais pas dans l'eau).

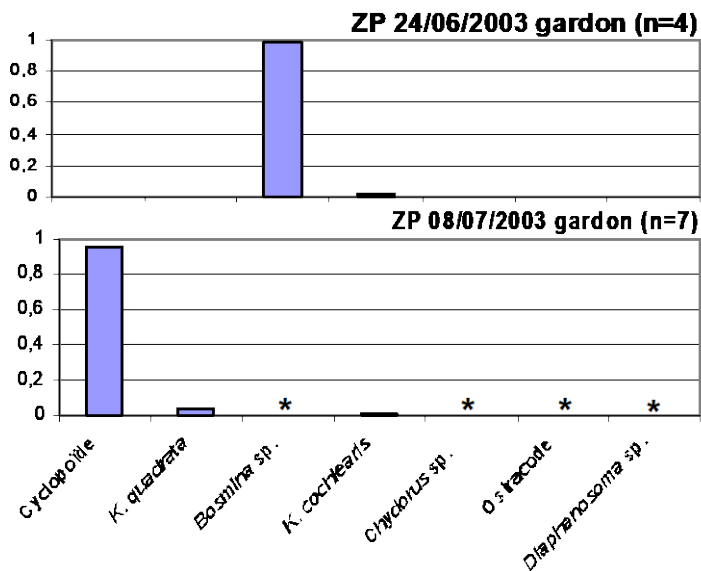


Figure 4-12 : Indice de sélectivité des gardons pêchés en zone Pont Misère (ZP) du lac d'Esch-sur-Sûre en 2003 (les astérisques indiquent que le taxon zooplanctonique est présent dans le contenu stomacal mais pas dans l'eau).

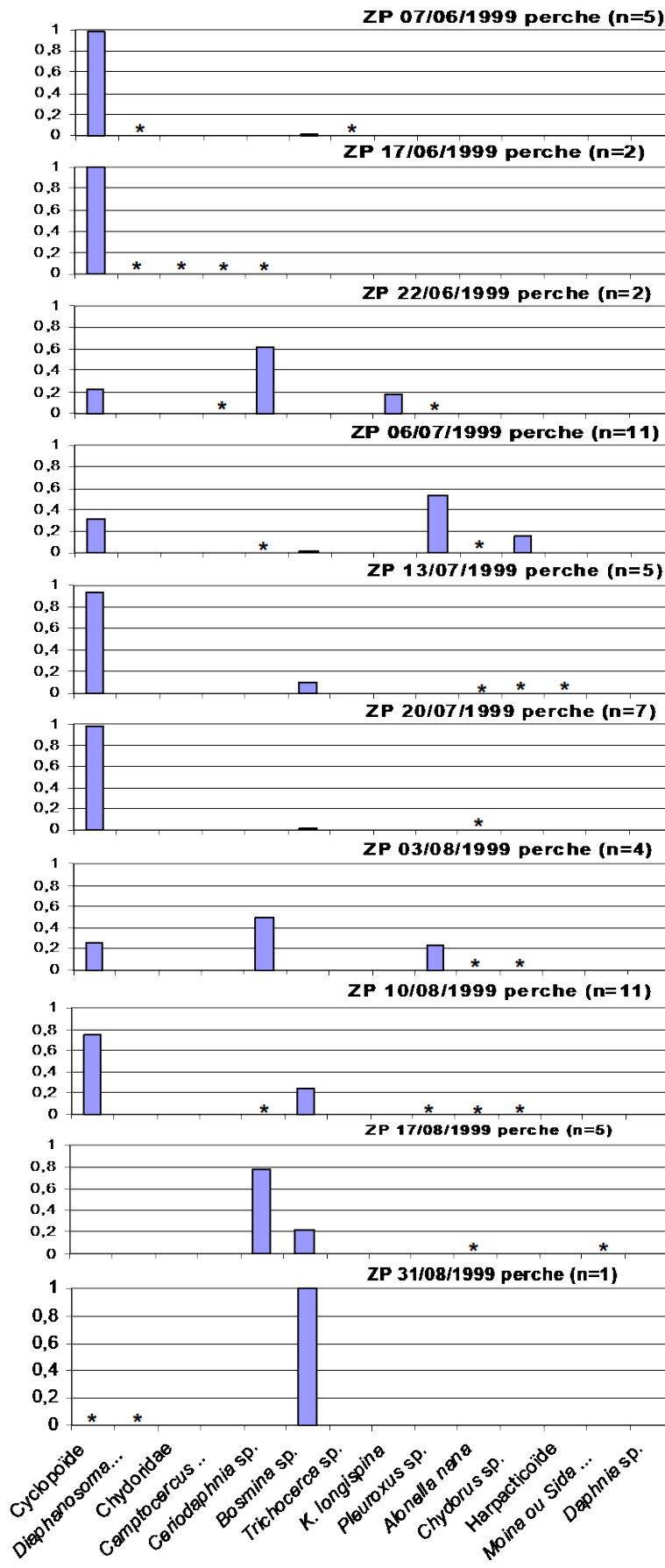


Figure 4-13 : Indice de sélectivité des perches pêchées en zone Pont Misère (ZP) du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999 (les astérisques indiquent que le taxon zooplanctonique est présent dans le contenu stomacal mais pas dans l'eau).

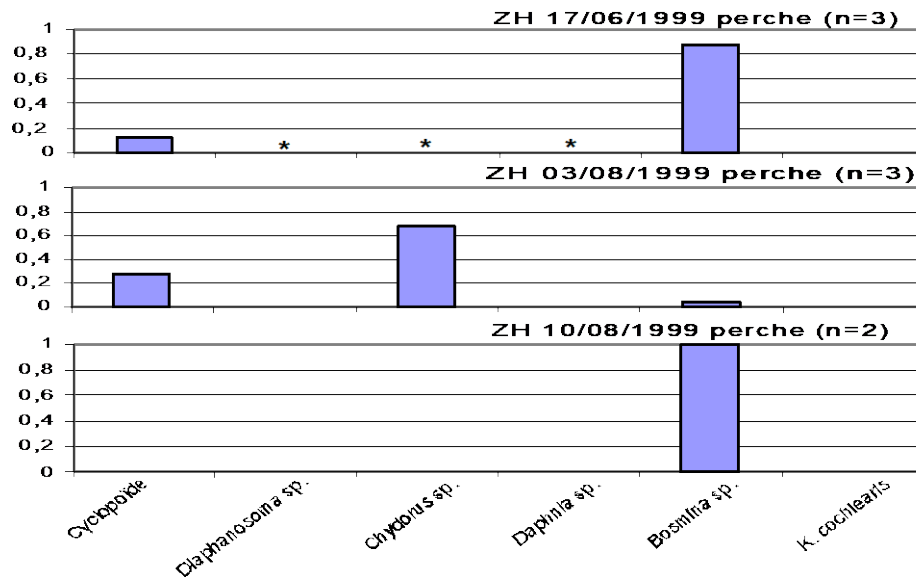


Figure 4-14 : Indice de sélectivité des perches pêchées en zone à herbier (ZH) du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999 (les astérisques indiquent que le taxon zooplanctonique est présent dans le contenu stomacal mais pas dans l'eau).

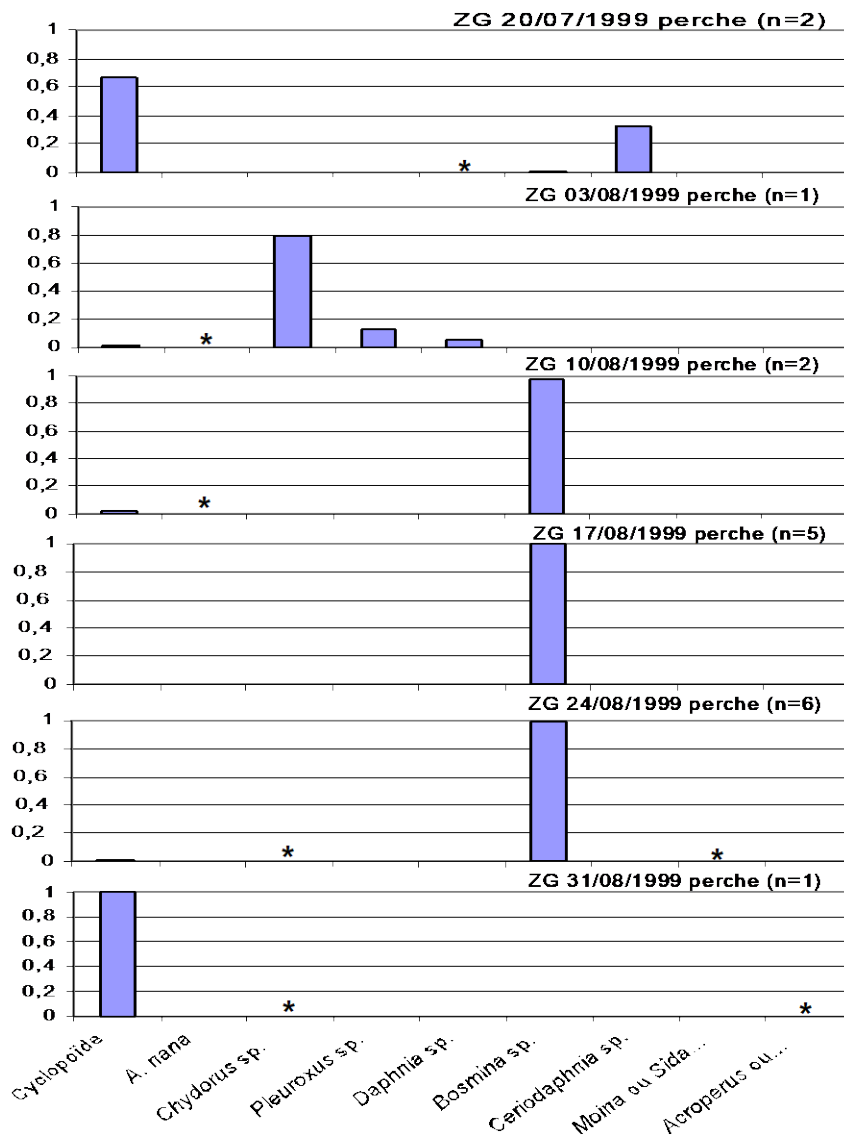


Figure 4-15 : Indice de sélectivité des perches pêchées en zone à genêts (ZG) du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999 (les astérisques indiquent que le taxon zooplanctonique est présent dans le contenu stomacal mais pas dans l'eau).

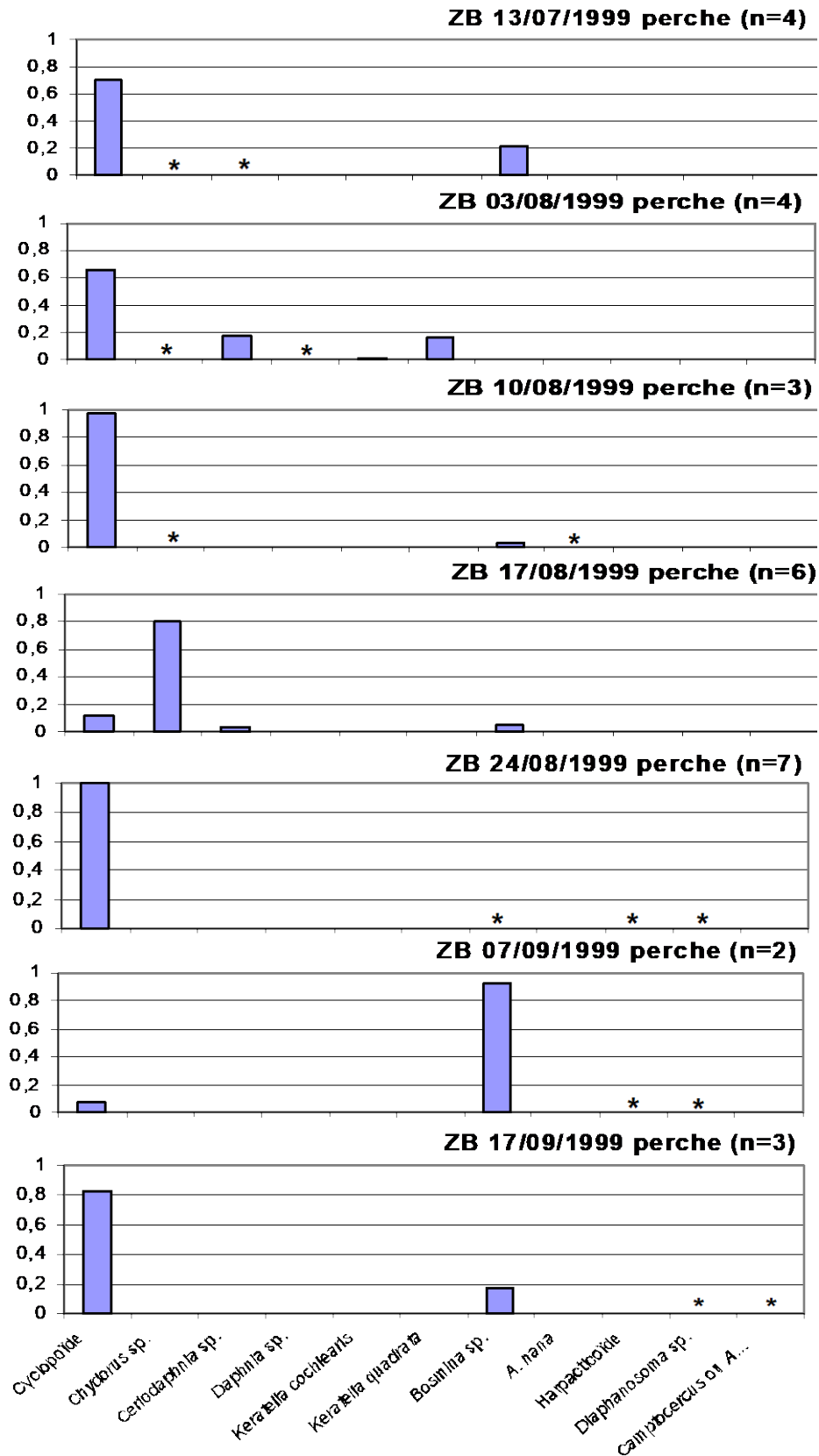


Figure 4-16 : Indice de sélectivité des perches pêchées en zone barrage (ZB) du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999 (les astérisques indiquent que le taxon zooplanctonique est présent dans le contenu stomacal mais pas dans l'eau).

Tableau 4-II: Moyennes ingérées pour les gardons (a) et les perches (b) des principales espèces zooplanctoniques et macro-invertébrés par date d'échantillonnage pour la zone Pont Misère (ZP) du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999 (le première valeur correspond à la moyenne ; tandis que la deuxième représente l'écart type).

a

| ZP-GARDON | 31/05/1999 | 7/06/1999 | 17/06/1999 | 22/06/1999 | 6/07/1999 | 13/07/1999 | 20/07/1999 |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | n=5 | n=64 | n=18 | n=29 | n=17 | n=10 | n=9 |
| <i>Keratella cochlearis</i> | 0,6 | 1,953125 | 11,22222222 | 23,37931034 | 6,705882353 | 0,5 | 0,666666667 |
| | 1,341640786 | 1,922545333 | 10,29309052 | 20,58850892 | 4,454838744 | 0,707106781 | 1 |
| <i>Bosmina sp.</i> | | 0,34375 | | 0,172413793 | 7,066666667 | 81,3 | 2,777777778 |
| | | 0,739342265 | | 0,539110744 | 6,227435458 | 25,54320958 | 1,922093766 |
| cyclopoïdes | | | 0,388888889 | 0,034482759 | 0,058823529 | 0,6 | 0,555555556 |
| | | | 0,697802339 | 0,185695338 | 0,242535625 | 0,699205899 | 0,527046277 |

b

| ZP-PERCHE | 7/06/1999 | 17/06/1999 | 22/06/1999 | 6/07/1999 | 13/07/1999 | 20/07/1999 | 3/08/1999 | 10/08/1999 | 17/08/1999 |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | n=5 | n=2 | n=3 | n=11 | n=5 | n=7 | n=4 | n=11 | n=5 |
| <i>Bosmina sp.</i> | 0,4 | | 0,172413793 | 0,545454545 | 23,2 | 0,142857143 | 11,25 | 0,454545455 | 281,4 |
| | 0,894427191 | | 0,539110744 | 1,809068067 | 48,05933832 | 0,377964473 | 9,673847907 | 1,507556723 | 169,0644847 |
| <i>Chydorus sp.</i> | | | 0,068965517 | 9,545454545 | 6,2 | | 5,5 | 2 | |
| | | | 0,257880715 | 11,16569421 | 6,534523701 | | 9,110433579 | 2,75680975 | |
| cyclopoïdes | 34,8 | 51 | 0,034482759 | 33 | 40,8 | 8,714285714 | 28,5 | 4 | 2,2 |
| | 21,93627133 | 15,55634919 | 0,185695338 | 14,16333294 | 35,09558377 | 5,154748158 | 27,23355773 | 3,577708764 | 3,492849839 |
| chironomidae | | 3 | | 1,090909091 | 0,2 | 0,857142857 | | 3,545454545 | 6,6 |
| | | 2,828427125 | | 1,758098146 | 0,447213595 | 1,463850109 | | 4,107642544 | 10,57355191 |
| insecte | 0,2 | 1,5 | | 1,818181818 | 2,8 | 4,857142857 | 2,5 | 3,727272727 | 2 |
| | 0,447213595 | 2,121320344 | | 2,227921983 | 2,588435821 | 3,891382421 | 5 | 4,027180381 | 4,472135955 |

V. Discussion

Dans ce chapitre discussion, nous allons tout d'abord mettre en relation les trois compartiments du réseau trophique étudié c'est-à-dire les facteurs physico-chimiques, les densités en zooplancton et les données concernant les alevins. Ensuite, le régime alimentaire du gardon et de la perche sera analysé. Nous parlerons aussi quelque peu de la présence d'un gradient amont-aval au sein du lac. Finalement nous terminerons par une explication des problèmes d'échantillonnage survenus pendant l'année 2003.

V.1. Relation entre les différents composants du réseau trophique

Dans la partie concernant les résultats, les trois compartiments du réseau trophique c'est-à-dire la physico-chimie, le zooplancton et les alevins ont simplement été décrits. Dans cette partie nous allons les mettre en relation et de là en émettre certaines hypothèses.

V.1.1. Constatations pour les échantillonnages de 1999

Nous allons tout d'abord nous intéresser à l'effet de la température sur les populations zooplanctoniques et d'alevins en 1999.

Après analyse du graphe de la température, on peut voir une diminution de température le 7 juin 1999 pour toutes les zones échantillonnées. En effet, elle passe de plus ou moins 20°C à 16°C.

A cette date, la densité des rotifères est faible pour toutes les zones et forme même une dépression sur le graphe s'y référant pour les zones à genêts (ZG) et barrage (ZB). Le taxon majoritaire à cette date et pour toutes les zones est *Polyarthra* sp.. Le fait qu'il soit le seul indique qu'il subit moins les changements de température que les autres taxa. Il faudra bien sûr vérifier ces dires pour les autres changements de température. En ce qui concerne les crustacés, une diminution minime de leur densité est visible à cette date pour toutes les zones. La catégorie alimentaire uniquement présente en quantité remarquable est le stade nauplii. Par sa présence, il indique qu'il subit moins les diminutions de température.

Le nombre d'alevins de gardon capturés le 7 juin 1999 est de 1089 pour la zone Pont Misère (ZP) et de 98 pour la zone à herbier (ZH). C'est à cette date que les captures sont les plus abondantes. Pour les perches, 5 et 1 individus ont été respectivement capturés dans les zones Pont Misère (ZP) et à herbier (ZH). Ce nombre se situe dans la moyenne. Pour les deux autres zones, aucune perche n'a été pêchée. On pourrait donc imaginer que les perches sont plus sensibles aux diminutions de température que les gardons. Les autres variations de température vont peut être nous conforter dans cette idée.

Il semble donc que la diminution de température du 7 juin 1999 a une répercussion plus marquée sur la densité de zooplancton que sur le nombre d'alevins récoltés.

On remarque que le pic de rotifères et crustacés, pour toutes les zones confondues, a lieu quand la température est la plus haute c'est-à-dire entre le 13 juillet et le 10 août 1999. Les taxa dominants chez les rotifères pour cette période sont *Polyarthra* sp., *Keratella cochlearis*, *Conochilus* sp. et *Filinia* sp.. A eux seuls, ils constituent la quasi totalité des taxa présents dans l'eau pendant cette période. Ce qui peut nous amener à penser que les autres taxa sont sans doute plus affectés par les hautes températures.

Pour la capture des gardons dans les zones Pont Misère (ZP) et à herbier (ZH), le maximum ne correspond pas à cette période. En effet, la maximum de capture a lieu au mois de juin et donc avant le pic de zooplancton. La température de juin permettrait un meilleur développement des populations d'alevins. Quand les chaleurs maximales font leur apparition,

les gardons vont se réfugier dans des endroits plus frais et donc moins accessibles lors de l'échantillonnage. Ce qui expliquerait leur faible capture pendant cette période. La capture des perches, quant à elle, ne diffère pas vraiment des captures aux autres dates et ce pour les quatre zones étudiées. La perche présenterait donc une meilleure résistance aux augmentations de température.

Il semble donc que les températures plus hautes soient à l'origine du pic de zooplancton. Les hautes températures auraient donc plus de répercussions sur les populations de gardon que sur celles de perche.

Entre le 10 août et le 17 septembre 1999, une diminution progressive de température est visible. On passe, en effet, de 22°C à plus ou moins 18°C.

Pendant cette période, on peut observer une diminution progressive de la densité de rotifères. Le 10 août 1999 coïncide avec la fin du pic de rotifères pour les zones à herbier (ZH), à genêts (ZG) et barrage (ZB). Tandis que pour la zone Pont Misère (ZP), le pic de densité est terminé depuis quinze jours. Les taxa dominants pour cette longue période sont toujours *Polyarthra* sp., *K. cochlearis* et *Pompholyx* sp.. On peut donc confirmer de plus en plus l'hypothèse selon laquelle ces espèces (surtout *Polyarthra* et *Bosmina* sp.) sont beaucoup moins sensibles aux variations de température. Pour ce qui est des crustacés, le 10 août 1999 coïncide avec la fin du pic de densité dans les zones Pont Misère (ZP) et à herbier (ZH). Pour les deux autres zones, le 10 août 1999 se situe en plein dans le pic de densité. Si on observe de plus près les densités en crustacés, on remarque la présence de pics secondaires aux alentours du 24 août et du 7 septembre. C'est également pendant cette période qu'une légère ré-augmentation de la température est visible. Les taxa qui dominent le prélèvement sont le stade nauplii, *Bosmina* sp. et *Pleuroxus* sp. L'apparition de *Bosmina* sp. et *Pleuroxus* sp. peut nous faire penser que ces taxa ont besoin d'une température plus élevée que les nauplii pour se développer.

Seuls trois gardons ont été capturés et ce dans la zone barrage uniquement (ZB) entre le 10 août et le 17 septembre 1999. Ceci s'explique par le fait que les gardons quittent la zone de pêche à partir du 20 juillet 1999 et n'y reviennent qu'au mois de septembre. Les raisons de ce changement de territoire sont expliquées plus loin. Pour les perches, on se rend compte que le nombre de captures diminue progressivement pendant cette période, mais aussi que la croissance en taille et en poids semble diminuer ou se stabiliser selon les zones. Comme mentionné précédemment, les perches semblent plus sensibles aux diminutions de température qu'elles soient subites ou étalées sur une plus longue période. Les données de la littérature confirment en effet cette hypothèse. La perche possède une température optimale de développement entre 22 et 28 °C (Craig, 1987), celle du gardon n'est que de 15 à 20 °C (Tans, 2000). La diminution de température affectera donc plus la perche que le gardon et vis versa.

La diminution de température semble donc avoir plus d'effet sur les populations d'alevins qu'une augmentation de celle-ci. L'effet des changements de température sur les densités en zooplancton est plus marqué lors de variations brutales de la température. Une diminution subite (une seule date) affectera plus les populations zooplanctoniques; tandis qu'une diminution progressive affectera plus les populations d'alevins. On peut l'expliquer par la capacité que possèdent ceux-ci à fuir plus rapidement une zone subissant un changement quelconque. Si ce changement se poursuit dans le temps, les poissons vont donc en être directement atteints, alors que les populations zooplanctoniques se seront adaptées au milieu.

En résumé, on peut donc affirmer que les populations zooplanctoniques subissent de façon importante les variations de température. En effet, leur densité diminue toujours lors

d'un changement de température. Les études de Neuman (1976) confirme que c'est la température qui régule les densités en zooplancton. Pour les alevins, l'influence de la température est à nuancer : ce sont surtout les diminutions progressives de température sur une longue période qui affecte leur nombre. Une diminution de température à un moment donné a peu d'influence directe sur les alevins.

Une autre piste à ne pas perdre de vue est l'influence indirecte exercée par la température sur les alevins. En effet, ce n'est pas seulement la température elle-même qui influence les populations d'alevins, mais surtout la diminution de leurs ressources alimentaires (populations zooplanctoniques), qui elle, est due au changement de température.

En complément de tout ceci on peut noter que certaines espèces zooplanctoniques sont plus résistantes aux variations des températures que d'autres. Il s'agit de *Polyarthra* sp., *Pompholyx* sp., *Conochilus* sp., *Filinia* sp., *K. cochlearis* et des nauplii. La littérature (Pourriot, 1965) confirme cette hypothèse pour tous les taxa mentionnés sauf pour *Polyarthra* sp.. Pourriot nous dit que ce taxon supporte des écarts de température très faibles. Or ce n'est pas le cas dans notre étude.

Attardons nous à présent sur l'influence du pH sur les populations de zooplancton et d'alevins.

Le 20 juillet 1999, le pH en zone Pont Misère (ZP) est de 7,5. Alors que pour les trois autres zones, il est de 9. Cette brusque diminution de pH en zone Pont Misère (ZP) ne semble pas avoir d'effet sur les populations de rotifères en général car c'est à cette date que le pic de densité a lieu. Mais si on regarde de plus près les taxa présents le 20 juillet 1999 dans les quatre zones, on remarque que la proportion de *Polyarthra* sp. est nettement moindre dans la zone plus acide (ZP). *Polyarthra* sp. semble donc être une espèce plus sensible aux pH plus acides. Pour les crustacés, on ne remarque pas non plus d'effet global du pH. Par contre si on s'intéresse aux taxa, on remarque que la proportion de cyclopoïdes est plus importante en zone Pont Misère (ZP) que dans les trois autres zones aux mêmes dates. Ce copépode semble donc plus sensible aux eaux plus basiques (en l'occurrence ici les zones à herbier (ZH), à genêts (ZG) et barrage (ZB)). Les travaux de Maier (1997) montre au contraire que les cyclopoïdes sont favorisés dans les eaux plus basiques. Une autre explication pour cette proportion de cyclopoïdes plus importante en zone Pont Misère (ZP) est donc la présence de plus de nutriments en amont. Comme il a souvent été observé dans les lacs de barrage (Kitchell et Carpenter, 1993; Mergen, 2002), on remarque à Esch-sur-Sûre l'existence d'un gradient amont-aval des composants du réseau trophique. En effet, la densité de zooplancton ainsi que le nombre de captures d'alevins sont plus élevés dans les zones en amont. Ceci est dû au gradient d'eutrophisation décroissant d'amont en aval. Les nutriments, en plus grande quantité en amont, favorisent ainsi la prolifération des différents composants du réseau trophique.

Le 20 juillet 1999, on voit que le nombre de captures des gardons a tendance à diminuer pour la zone Pont Misère (ZP) et est même nul pour la zone à herbier (ZH). Les gardons de la zone à herbier (ZH) ont sans doute quitter la zone littorale pour la zone pélagique où ils subissent moins les variations de pH. Pour ce qui est des perches, la diminution de pH n'affecte pas le nombre de captures mais plutôt la croissance en taille et poids. En effet, on remarque que le 20 juillet en zone Pont Misère (ZP), la croissance en taille et poids ne suit plus l'évolution normale, un creux est nettement visible. Pour ce qui est de la diminution de croissance, on pourrait l'expliquer par la diminution de nourriture suite aux variations du pH.

Entre le 27 juillet et le 17 août 1999, le pH atteint des valeurs de 10,5 pour les quatre zones analysées. L'augmentation du pH s'apparente à une augmentation de l'eutrophisation. C'est pendant cette période qu'a lieu la fin du pic de densité des rotifères pour toutes les zones échantillonnées. L'augmentation de pH peut être à l'origine de cette diminution brusque de densité en rotifères. La présence en quantité importante de *Polyarthra* sp. pendant cette période nous conforte dans l'idée que c'est un taxon qui vit préférentiellement dans les eaux basiques. La littérature (Pourriot, 1965) confirme cette hypothèse et nous dit que *Polyarthra* sp. vit dans les eaux à pH supérieur à 7. *Keratella cochlearis* est la deuxième espèce dominante, mais son affinité pour un pH doit être relativisée. En effet, l'espèce est présente dans toutes les zones pendant cette période sauf dans la zone Pont Misère (ZP). On ne peut donc pas affirmer à 100 % qu'elle tolère mieux que les autres taxa les eaux basiques. La littérature (Pourriot, 1965) n'est pas non plus catégorique à ce sujet et nous dit que *K. cochlearis* est une espèce qui vit dans les eaux à pH supérieur à 5,8. En ce qui concerne les crustacés, la période d'augmentation du pH correspond au pic de densité de ceux-ci. Il semble donc qu'une augmentation de pH soit plus destructrice pour les rotifères que pour les crustacés. Le fait que ceux-ci possèdent une carapace de chitine imprégnée de calcaire les protègent des dégâts causés par l'augmentation du pH.

Aucun gardon n'a été capturé entre le 27 juillet et le 17 août 1999. Ceci nous conforte dans l'idée que c'est l'augmentation du pH qui pourrait entraîner un changement de territoire chez les gardons. En effet, un pH de 10 constitue la tolérance maximum pour le gardon (Francisco *et al.*, 1999). En zone pélagique, le pH diminue avec la profondeur. Les poissons vont donc probablement se placer à une profondeur où le pH est moindre. Chose impossible en zone littorale vu la faible profondeur. A cette date, sa taille est telle qu'il peut se permettre de s'aventurer en zone pélagique pour chercher sa nourriture tout en échappant à la prédation. Comme c'est un filtreur par déplacement, il n'a pas vraiment de problème pour se nourrir lors du changement de zone. Mais si on se réfère à l'étude de Horpilla *et al* (2000), les explications de tels changements sont la limitation des ressources alimentaires due à une augmentation des demandes métaboliques durant l'été, l'augmentation de la compétition intraspécifique et une diminution de la compétition interspécifique dans la zone pélagique. De toute évidence, dans notre étude, il n'y a aucune limitation des ressources alimentaires. Si on s'intéresse maintenant aux perches capturées entre le 27 juillet et le 17 août 1999, on peut observer que le nombre de captures ne diffère pas des autres dates. On peut alors se demander pourquoi les perches ne quittent pas la zone littorale pour la zone pélagique comme les gardons. La première hypothèse est que les perches présentent un seuil de tolérance plus haut envers les augmentations de pH que les gardons. Les analyses de Mergen (2002) confirment cette hypothèse. La deuxième hypothèse réside dans l'alimentation et le mode d'alimentation de ce poisson. La perche se nourrit bien sûr de zooplancton mais aussi de macro-invertébrés benthiques comme l'a montrée l'étude de Hammer (1985). En quittant la zone littorale, il lui est alors impossible d'aller se nourrir sur le fond en milieu pélagique car les concentrations en oxygène y sont beaucoup trop basses.

En résumé, on peut affirmer que, comme la température, le pH semble avoir une influence marquée sur les populations d'alevins et sur les populations zooplanctoniques quand la variation de celui-ci est de longue durée. L'impact sur le zooplancton se matérialise aussi par la présence ou non de certains taxa qui sont plus ou moins sensibles à certains pH. En regardant bien les effets majoritaires de la température sur les populations de zooplancton et les effets majoritaires du pH sur les populations d'alevins, on se rend compte que la combinaison des effets de la température et du pH est peut être la clé de ces interactions. D'ailleurs, il est bien prouvé que le coefficient de croissance diminue quand la température diminue et le pH augmente (Mergen, 2002).

En ce qui concerne les variations de conductivité en 1999, elles sont de faible amplitude et donc n'entraîneront aucun effet sur les populations en général. La même constatation est à faire pour la concentration en oxygène dissous. Les concentrations sont telles que le seuil de tolérance des poissons (plus ou moins 6 mg/l) ne sera jamais atteint.

Afin de ne pas prendre uniquement en compte l'influence des facteurs abiotiques sur les populations d'alevins, les facteurs biotiques sont également étudiés, et ce, à travers le régime alimentaire.

D'après les résultats obtenus pour les indices d'occurrence et d'abondance, on remarque en premier lieu que les proies consommées par les deux espèces de poisson sont de plus en plus volumineuses au fur et à mesure de l'avancement dans la saison d'échantillonnage. La taille des proies est en effet en relation directe avec le diamètre de l'ouverture de la bouche du prédateur (Treasurer, 1990; Wang, 1994).

Pour les gardons, les rotifères sont ingérés en premier lieu puis vient ensuite *Bosmina* sp. Peu de cyclopoïdes sont ingérés. Ces résultats concordent avec les travaux de Hammer (1985) qui nous disent que les gardons sont plus sélectifs au point de vue nourriture que les perches. Ils se nourrissent exclusivement de *Chydorus* sp. et *Bosmina* sp. quand ils sont présents dans le milieu. Peu de cyclopoïdes seront ingérés car ceux-ci sont trop difficiles à capturer et entraînerait une perte trop importante d'énergie.

En ce qui concerne les perches, ce sont des individus de plus grandes tailles qui sont ingérés c'est-à-dire, dans notre étude, les cyclopoïdes, *Ceriodaphnia* sp, *Bosmina* sp et les chironomidae. Les perches semblent être moins sélectives que les gardons au point de vue alimentation. Les espèces ingérées sont beaucoup plus diverses. Les études de Hammer (1985) montrent également cette spécificité chez la perche. Celle-ci consomme aussi des proies beaucoup plus grandes que le gardon. On peut attribuer cela au fait que la perche possède une excellente perception visuelle pourvu que les proies soient volumineuses. Les travaux de Chappaz *et al* (1989) sont arrivés à cette même constatation. L'importance croissante prise par les chironomidae dans le régime alimentaire est liée à l'eutrophisation du milieu. En effet, plus le milieu est eutrophe plus la quantité de chironomidae augmente.

L'alevin de perche sera toujours nettement plus grand que l'alevin de gardon. On peut l'expliquer tout d'abord par une reproduction beaucoup plus précoce de la perche (Gillet, 1989) mais aussi par le fait que les perches se nourrissent d'espèces plus volumineuses et donc plus énergétiques.

Les résultats des indices de sélectivité nous permettent, quant à eux, de déterminer les taxa majoritairement sélectionnés par le gardon et la perche. En comparant cet indice avec les données de zooplancton, on va pouvoir émettre quelques hypothèses quant à l'influence des facteurs biotiques sur le recrutement des alevins.

On commence tout d'abord avec les gardons pêchés en zone Pont Misère (ZP) en 1999.

En début de saison, les rotifères sont préférentiellement sélectionnés. Par exemple, le 31 mai 1999, les nauplii et *Polyarthra* sp. sont préférentiellement sélectionnés. En observant à présent, le graphe de zooplancton on remarque que ni les nauplii ni *Polyarthra* sp. ne sont présents à cette date. De même le 17 juin 1999, la sélectivité la plus importante se réalise sur *K. quadrata* et les nauplii sont très peu sélectionnés. Sur le graphe de zooplancton s'y référant, seuls deux taxa sont présents : il s'agit surtout des Nauplii et de quelques cyclopoïdes. Plus tard dans la saison, c'est *Bosmina* sp. qui est le mieux sélectionnée. Le 6 et

13 juillet 1999, l'indice de sélectivité de ce taxon atteint plus ou moins 0,8. Sur le graphe de zooplancton correspondant, aucun *Bosmina* sp. ne fait partie des deux prélèvements.

On peut donc observer la présence d'une corrélation inverse entre la sélectivité pour un taxon et la densité de ce taxon dans l'eau. Cette relation peut être appliquée à chaque espèce, chaque zone et chaque date d'échantillonnage. Seule la zone Pont Misère (ZP) décrite ci-dessus est analysée dans les détails. Les études de Hall (1964 *in* Moss, 1988) et de Francisco et Ray (1994) montrent que la chute de zooplancton est due à la prédation par les jeunes poissons planctonophages. En effet, les années de faible recrutement, la densité de zooplancton est plus importante.

Cette corrélation nous amène vers une autre énigme. La densité de zooplancton présente dans l'eau résulte-t-elle des variations des facteurs physico-chimiques (surtout la température) ou résulte-t-elle de la prédation par les alevins ? Sans conteste, c'est l'association des deux phénomènes qui affecte les densités de zooplancton. Mais alors une autre question se pose : quelle est la part de l'influence des facteurs abiotiques et la part de l'influence des facteurs biotiques sur les populations d'alevins ? En d'autres termes, est-ce les variations de température ou celles de densité zooplanctonique qui influencent les populations d'alevins ? En se basant sur les résultats, on peut dire que la température semble avoir un effet direct sur tous les événements qui précèdent le moment où l'alevin va passer à une nourriture exogène. La température a, entre autre, des effets directs sur le développement des œufs, la maturation des ovocytes (Sandström, 1997), l'intensité du frai (Kayes et Calbert, 1979), le temps d'incubation des œufs (Tans, 2000)... Après avoir passé ce stade, la température effectue seulement un effet indirect sur les populations d'alevins via la quantité de nourriture. Cette hypothèse concorde avec les résultats de Jachner (1989). Il est arrivé à la conclusion que la croissance est dépendante de la température mais que le facteur le plus important est une nourriture abondante et appropriée pendant cette période qualifiée de critique.

Les résultats nous ont montrés que la zone Pont Misère (ZP) est une zone plus propice au développement et à la survie des alevins de gardon et de perche car c'est dans cette zone qu'ils sont les plus grands à la fois en taille et en poids et qu'ils sont aussi les plus abondants.

La première démarche a été de comparer les indices de sélectivité des alevins de la zone Pont Misère (ZP) et des trois autres zones. Nous pensions trouver une relation entre la sélectivité de certains taxa et la taille des alevins. La croissance meilleure dans cette zone (ZP) aurait pu être due à la sélection de taxa plus gros donc plus énergétiques. Or il n'en est rien. Les taxa sélectionnés sont quasi identiques pour les quatre zones. Donc, la seule explication plausible réside dans la situation de cette zone. La zone Pont Misère (ZP) est la plus en amont des quatre zones. Comme mentionné plus haut, l'existence du gradient amont-aval d'eutrophisation permet un développement zooplanctonique supérieur aux autres zones. Si la nourriture est plus abondante, le développement et la survie des alevins ne peuvent y être que meilleur. C'est d'ailleurs une des conclusions des études de Wang et Eckmann (1994) et de Nunn *et al.* (2000).

V.1.2. Constatations pour les échantillonnages de 2003

En ce qui concerne l'analyse du graphe des températures, on peut remarquer que les deux premières dates d'échantillonnage de 2003 ont des températures plus faibles (plus ou moins 15 °C) que les autres (plus ou moins 20 °C).

Cette faible température est peut être à l'origine du fait qu'aucun alevin n'a été pêché ni même vu à ces deux dates. Mais quand on compare avec les températures de 1999 aux mêmes

dates, on se rend compte que celles-ci sont plus faibles encore et que des alevins ont tout de même été capturés. Donc pour moi, la cause première de la non présence d'alevin n'est pas entièrement dû à la température mais surtout au niveau du lac. En effet, à ces dates le niveau est très bas et donc empêche la colonisation de la zone littorale par les alevins.

Les trois autres dates de prélèvement ne présentent pas de variations de température notables. Par contre sur les graphes de zooplancton, la densité des rotifères diminue le 8 juillet 2003. Pour les crustacés, la densité ne fait qu'augmenter. Ce qui est tout à fait normal, un pic de densité se prépare peut-être comme en 1999.

En ce qui concerne la capture des gardons à ces trois dates, elles sont minimales voire même nulles. En 1999, le nombre de capture est faramineux comparé à l'année 2003. Des températures plus fraîches lors du développement des œufs conjuguées au niveau bas du lac peuvent avoir provoqué une mortalité plus élevée en 2003. Les diminutions du niveau des eaux pendant la période du frai et de développement des œufs découvrent les frayères et compromettent l'éclosion et donc par conséquent le recrutement (Francisco et Ray, 1994). La meilleure croissance en 2003 résulte, quant à elle, justement du faible nombre d'individus dans le milieu. Si les gardons sont moins nombreux, ils ont plus facilement accès à la nourriture et donc leur croissance est plus rapide. Ils échappent ainsi plus tôt à la prédation.

Pour les perches, le nombre de captures en 2003 dépasse largement celles de 1999. Les perches pondent sur les branches d'arbres immergées et sont donc moins sensibles aux variations du niveau d'eau. L'explication de différence de croissance entre 1999 et 2003 est la même que pour les gardons. C'est le nombre plus important de perche en 2003 qui induit probablement une croissance plus faible qu'en 1999.

Le pH se révèle être stable pour les cinq dates de prélèvement. On ne peut donc pas observer les effets d'une quelconque variation de celui-ci. Les valeurs sont plus ou moins les mêmes qu'en 1999. Le pH ne permet pas non plus d'expliquer la brusque diminution des rotifères le 8 juillet 2003. L'augmentation de pH qui est apparue fin juillet en 1999 n'est donc pas visible cette année car les échantillonnages de 2003 se sont terminés avant cette date.

En ce qui concerne les variations de conductivité en 1999, elles sont tellement faibles qu'elles n'entraîneront aucun effet sur les populations en général. La même constatation est à faire pour la concentration en oxygène dissous. Les concentrations sont telles que le seuil de tolérance des poissons (plus ou moins 6 mg/l) ne sera jamais atteint.

Le recrutement semble donc meilleur en 2003 pour les perches. Pour les gardons, le recrutement était meilleur en 1999. Ces affirmations sont cependant à relativiser car le peu de pêches effectuées ne permet pas de réel comparaison entre 1999 et 2003.

L'analyse des indices d'occurrence et d'abondance et des moyennes ingérées, nous montre l'importance prise par *Chydorus* sp. dans le régime alimentaire des deux espèces. Pour les gardons, l'ingestion de *Chydorus* sp. concorde avec les données de la littérature (Hammer, 1985). Pour les perches, l'ingestion de ce taxon n'est pas dans leur habitude alimentaire. En effet, elles ingèrent des taxa plus volumineux telles que les cyclopoïdes et *Bosmina* sp. (Hammer, 1985). L'explication de ce changement d'habitude vient du fait que les densités en cyclopoïdes et *Bosmina* sp. dans l'eau sont quasi nulles. Le fait qu'en 2003, les perches se nourrissent de *Chydorus* sp. peut aussi expliquer leur croissance plus faible. En effet, les espèces majoritairement ingérées en 1999 (cyclopoïdes et *Bosmina* sp.) apportent plus d'énergie à l'organisme que celles (*Chydorus* sp.) ingérées en 2003.

On pourrait aussi penser qu'il existe une concurrence entre la perche et le gardon pour la nourriture. Ceci expliquera aussi les différences de croissance entre les deux années. Si à un moment donné, les deux espèces se nourrissent des mêmes taxa zooplanctoniques, une espèce de poisson va dominer l'autre et ainsi sa croissance en sera meilleure. En analysant les graphes de sélectivité de 2003, aucune des deux espèces de poissons ne sélectionnent les mêmes taxa aux mêmes moments. N'oublions pas que les taxa benthiques ne sont pas pris en compte dans cette sélectivité. Et *Chydorus* sp. est justement sélectionné aux mêmes dates par la perche et le gardon. Cette compétition pour la nourriture entraîne dans ce cas-ci une meilleure croissance du gardon par rapport à 1999 où aucune compétition n'est visible. On pourrait l'expliquer par le fait que *Chydorus* sp. constitue déjà une partie de son régime alimentaire. La perche quant à elle voit sa croissance ralentir car elle doit s'adapter à cette nouvelle nourriture.

L'analyse des indices de sélectivité des deux espèces et des densités zooplanctoniques nous amène vers les mêmes conclusions et donc vers les mêmes questions. La densité de zooplancton est-elle due aux variations de températures ou à la prédation par les alevins. Pour l'année 2003, nous répondrions que la prédation par les alevins semblent avoir plus d'effet sur le zooplancton que les variations des paramètres physico-chimiques. En effet, pour les cinq dates étudiées, les variations de physico-chimie sont tellement minimes qu'elles ne peuvent affecter les densités en zooplancton. Ce qui n'était pas le cas pour l'année 1999. Comme la température possède un effet moindre (car elle varie moins) sur les populations zooplanctoniques qu'en 1999, les alevins de 2003 (et surtout les perches) ne pourront en être que plus nombreux.

V.2. Problèmes d'échantillonnage

La zone située autour de la passerelle de Lultzhausen ne nous a pas révélé la présence de poisson 0+. Seul des poissons plus âgés ont été vus. D'après les observations des chercheurs du CRPGL, les alevins s'y trouveraient plutôt vers la fin août et le mois de septembre. A ce moment, ils ont une taille assez importante que pour s'y aventurer et échapper à la prédation. Avant cela, ils trouvent refuge dans les gabions situés non loin de là. En effet, ceux-ci les protègent mieux des prédateurs.

Néanmoins, plusieurs critiques de ce travail peuvent être émises. Les résultats obtenus en 2003 sont bien sûr moins précis que ceux de 1999. En effet, peu de pêches ont été réalisées (seulement 5) et ce toutes les deux semaines. En 1999, les pêches avaient lieu toutes les semaines et se sont terminées vers la mi-septembre. En 2003, les prélèvements se sont terminés début juillet et n'ont pas pu confirmer complètement les données obtenues en 1999. Les données physico-chimiques de 2003 ne présentent pas de variations notables. Les conséquences de la diminution de température conjuguées à l'augmentation de pH vers la fin juillet en 1999 ne pourront pas être vérifiées en 2003. Le fait qu'une seule zone soit analysée en 2003 (zone Pont Misère) rétrécit encore la comparaison avec 1999. Le peu de captures et une variation importante (écart type important) ne nous permettent donc pas de réaliser des tests statistiques.

VI. Conclusions et perspectives

VI.1. Conclusions

Le but de ce travail était de déterminer l'influence des facteurs abiotiques et biotiques sur la survie et la croissance des alevins de deux espèces représentatives de la biocénose ichtyologique du lac d'Esch-sur-Sûre : le gardon et la perche.

Afin d'étudier cette influence, des données physico-chimiques ont été récoltées sur le terrain à l'aide d'une multi-sonde de type Hydrolab. Des échantillonnages de zooplancton et d'alevins ont également été réalisés en utilisant respectivement la trappe de Schindler et la pêche électrique.

Deux des paramètres physico-chimiques (facteurs abiotiques) mesurés semblent avoir une influence majeure :

- Les **variations de la température** affectent négativement la densité de zooplancton mais leurs effets sur les alevins sont plus nuancés. La perche semble plus sensible que le gardon aux diminutions de températures.

- Les **variations du pH** affectent plus la diversité des taxa zooplanctoniques que leur densité totale. On peut citer par exemple la meilleure résistance de *Polyarthra* sp. aux eaux basiques. L'effet du pH sur les alevins sépare encore une fois la perche du gardon. Ce dernier semble quitter la zone littorale pour la zone pélagique quand les valeurs de pH deviennent trop élevées (pH supérieur à 10). Un pH de 10 constitue justement le seuil de tolérance maximum du gardon. Par contre, la perche ne quitte pas la zone littorale. Son seuil de tolérance est, en effet, plus haut que celui du gardon et le fait qu'elle se nourrisse d'animaux benthiques l'oblige à rester en zone littorale.

En regardant bien les effets de la température et du pH, on se rend compte que la combinaison des effets de l'un et de l'autre semble être la clé des interactions entre les trois compartiments du réseau trophique.

Quant aux facteurs biotiques, le régime alimentaire, la densité en zooplancton et en alevins, la compétition inter- et intra-spécifique semblent interagir sur la survie et la croissance des alevins :

- Le **régime alimentaire** de la perche et du gardon n'est pas identique. Le gardon va, en premier lieu, se nourrir de rotifères tels que *Keratella cochlearis* et *Keratella quadrata* puis progressivement *Bosmina* sp. va constituer l'aliment majoritaire. Peu de cyclopoïdes sont ingérés par le gardon. En ce qui concerne la perche, elle se nourrit de taxa plus volumineux et plus divers tels que les cyclopoïdes, *Ceriodaphnia* sp., *Bosmina* sp. et les chironomidae. La perche est une espèce beaucoup moins sélective que le gardon au point de vue alimentation.

L'année 2003 est un peu particulière en terme de régime alimentaire. Le taxon *Chydorus* sp. constitue l'aliment principal de la perche et du gardon. Pour le gardon, l'ingestion de *Chydorus* sp. concorde avec la littérature. Par contre, la perche a changé ses habitudes alimentaires à cause de la densité très faible de *Bosmina* sp. et de cyclopoïdes, les taxa habituellement ingérés.

- Une **relation inverse** existe entre l'indice de sélectivité d'un taxon zooplanctonique et sa densité dans l'eau. Si l'indice de sélectivité d'un taxon est haut, sa densité dans l'eau sera faible. Cette corrélation nous mène donc vers une énigme. La densité de zooplancton présente dans l'eau résulte-t-elle des variations des facteurs physico-chimiques ou de la prédation par les alevins ? On répond que c'est l'association des deux phénomènes qui affectent les densités de zooplancton.

Or ce qui nous intéresse dans cette étude ce sont les populations d'alevins. On peut donc voir clairement que celles-ci subissent à la fois les variations des paramètres physico-chimiques et de la quantité de nourriture présente dans le milieu. Les deux phénomènes sont complémentaires, mais la part exacte de chacun dans le recrutement des poissons ne peut être vérifiée précisément.

A la lumière des résultats obtenus, les paramètres physico-chimiques exercent une influence directe jusqu'aux premiers stades de développement des poissons ce qui incluent le frai, l'incubation des œufs.... Après le passage à une nourriture exogène, les paramètres physico-chimiques n'exercent plus qu'un effet indirect sur les populations d'alevins via la quantité de nourriture présente dans le milieu.

- La **comparaison du recrutement** de la perche et du gardon en 1999 et 2003 est réalisée. Pour l'année 2003, peu de variations des paramètres physico-chimiques sont notés. Mais, le recrutement du gardon semble tout de même être meilleur en 1999. L'explication principale vient du faible niveau des eaux observé en début de saison 2003.

Pour ce qui est de la perche, le recrutement semble être meilleur en 2003. Le fait qu'elle pond sur des branches d'arbres immergées la rend moins sensible aux variations de niveau d'eau. Le peu de pêche en 2003 entraîne une relativisation de ces différences de recrutement. Plus de dates d'échantillonnage auraient été nécessaires pour comparer réellement les deux années.

VI.2. Perspectives

S'il n'y avait qu'une perspective à formuler pour améliorer cette étude, ce serait la suivante. Afin de rendre l'étude du régime alimentaire encore plus précise et ainsi prendre en compte tous les compartiments alimentaires, une analyse des sédiments et des macro-invertébrés dans les zones échantillonnées seraient plus qu'indispensable. En effet, les données actuelles de zooplancton sont insuffisantes. Des taxa tels que *Chydorus* sp. vivent sur le fond et donc une analyse classique à la trappe de Schindler ne permet pas toujours de les prendre en compte dans les calculs des différents indices. Les macro-invertébrés sont aussi ingérés en quantité de plus en plus importante au fur et à mesure de l'avancement dans la saison. Le manque de données ne permet donc pas de calculer les différents indices correctement.

Par ailleurs, l'étude du régime alimentaire et des paramètres physico-chimiques devraient se poursuivre sur plusieurs années. Cela permettrait ainsi de comparer les résultats obtenus pour plusieurs années et de préciser encore plus l'influence des facteurs abiotiques et biotiques sur la survie des alevins et les variations inter-saisonnières et inter-annuelles. Pour ce faire, les échantillonnages devront se dérouler au moins toutes les semaines afin de minimiser la probabilité de « rater » une éventuelle variation des paramètres physico-chimiques, un pic de zooplancton, une sélectivité d'un taxon particulier.... Des cycles de 24 ou 48 heures avec des prélèvements de zooplancton et d'alevins ainsi que la récolte des données physico-chimiques toutes les 3 à 4 heures pourraient également être effectués. Ces cycles devraient se répéter plusieurs fois dans l'année avec au moins un cycle une fois par saison.

Une analyse des nutriments (P, NO₂, NO₃,...) et de la chlorophylle *a* permettrait ainsi de prendre en compte tous les compartiments du réseau trophique. Une analyse des concentrations en ammoniac (NH₃) devrait être réalisée quand les valeurs de pH deviennent trop hautes comme ce fut le cas vers la fin juillet en 1999. En effet, à pH élevé, NH₄ se transforme en NH₃, qui lui, est toxique pour les animaux aquatiques. On pourrait ainsi éventuellement attribuer la faible capture d'alevins aux concentrations trop importantes de NH₃.

On pourrait aussi inclure dans cette étude les données chiffrées concernant les variations du niveau des eaux. Pour l'année 2003, seule une estimation visuelle du niveau d'eau a été réalisée, faute de données. Les niveaux exacts permettraient de préciser davantage l'effet de ce paramètre sur la survie des œufs et des alevins.

Des mesures de la turbidité de l'eau pourraient aussi être effectuées. En effet, comme la perche est un chasseur visuel, la turbidité va donc modifier son efficacité de capture des proies.

On pourrait même pousser l'étude jusqu'à l'analyse taxonomique des espèces phytoplanctoniques ingérées par les alevins et présentes dans l'eau pour vérifier leur importance dans le régime alimentaire.

Pour terminer ces perspectives, il me semble important de réaliser une étude complète du réseau trophique en zone littorale du lac afin de la comparer avec celle effectuée en zone pélagique par les chercheurs du CRPGL. Les compartiments à prendre en compte sont les alevins et le zooplancton mais aussi le phytoplancton, les protozoaires, bactéries...

VII. Bibliographie

- Billard R. Les poissons d'eau douce des rivières de France : identification, inventaire et répartition des 83 espèces. Edition : Delachaux et Niestlé: Pages 102 et 173 (1997).
- Boulet P. C. Contribution à l'étude expérimentale de la perception visuelle du mouvement chez la perche et la seiche. *Mém. Mus. Natl. Hist. Nat. Paris*, Ser. A. Zool. **17**, 131p. (1958).
- Brett J. R., Randall D. J., Hoar W. S. "Fish Physiology. Volume VIII Bioenergetics and growth". Academic press New York, San Francisco, London, 599-675 (1979).
- Bry C., Hollebecq M. G., Gino V., Israel G., Manelphe J. Growth of pike (*Esox lucius* L.) larvae and juveniles in small ponds under various natural temperature regimes. *Aquaculture* **97**, 155-168 (1991).
- Cerny K. Mortality of the early developmental stages of the roach-*Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758). *Vest. Cesk. Spol. Zool.* **39** (2), 81-93 (1975).
- Cerny K. The early development of chub – *Leuciscus cephalus* (L. 1758), rudd – *Scardinius erythrophthalmus* (L. 1758) and roach – *Rutilus rutilus* (L. 1758). *Acta Univ. Carol. – Biologica* **1-2**, 1-149 (1977).
- Chambers R. C., Witting D. A., Lewis S. J. Detecting the critical periods in larval flatfish populations. *Journal of Sea Research* **45**, 231-242 (2001).
- Chappaz R., Brun G., Olivari G. Contribution à l'étude du régime alimentaire, de la croissance et de la fécondité de la perche (*Perca Fluviatilis* L.) dans un lac oligotrophe de région tempérée. *Revue des Sciences de l'Eau* **2**, 95-107 (1989).
- Chesson J. Measuring preference in selective predation. *Ecology* **59**, 211-215 (1978).
- Christensen B., Persson L. Species-specific antipredatory behaviours : effects on prey choice in different habitats. *Behav. Ecol. Sociobiol.* **32**, 1-9 (1993).
- Clady M. D. Influence of temperature and wind on the survival of early stages of yellow perch, *Perca flavescens*. *J. Fish. Res. Board Can.* **33**; 1887-1893 (1976).
- Collignon P. Contribution à l'étude de l'ingéré et des rythmes alimentaires de la perche commune, *Perca fluviatilis*, élevée en cages flottantes. Mise au point méthodologique. Mémoire en Sciences Biologiques FUNDP, Namur (1998).
- Cook M.P., Burgis M.J. The diet and growth of juvenile fish in a gravel pit lake. *Verh. Internat. Verein. Limnol* **23**, 1719-1723 (1988).
- Copp G. H. Recognition of cohorts and growth of larval and juvenile roach *Rutilus rutilus* (L.), using size-class ordination of developmental steps. *Journal of Fish Biology* **36**, 803-819 (1990).
- Cowx I. G. The reproductive tactics of roach, *Rutilus rutilus* (L.) and dace, *Leuciscus leuciscus* (L.) populations in the rivers Exe and Culm, England. *Polskie Archiwum Hydrobiologii* **37**, 1-2, 193-208 (1990).
- Cowx I. G. Factors influencing coarse fish population in rivers. Edition The University of Hul, International Fisheries Institute Hul Hu 76 Rx, 185 p (1995).
- Cowx I. G., Welcomme R. L. Rehabilitation of rivers for fish. *FAO- Fishing News Books, Blackwell Science*, Oxford, Grande- Bretagne: 260 p. (1998).
- Craig J. F. Population dynamics of perch, *Perca fluviatilis* in Slapton Ley Devon. *Freshwater Biology* **4**, 417-444 (1974).
- Craig J. F., Kipling C. Reproduction effort versus the environment; case histories of Windermere perch, *Perca fluviatilis* L., and pike, *Esox lucius* L. *Journal of Fish Biology* **22**, 713-727 (1983).
- Craig J. F. The biology of perch and related fish. Croom Helm (London and Sidney) and Timber Press (Oregon): 333 p. (1987).
- Dajoz R. Précis d'écologie. Dunod, 7^{ième} édition, Paris (2000).

- Demaël A., Peres G. Influence de la température sur le métabolisme des poissons. *Cahiers du Laboratoire de Montereau* **1**, 21-26 (1974).
- Dohet A., Hoffmann L. Seasonal succession and spatial distribution of the zooplankton community in the reservoir of Esch-sur-Sûre (Luxembourg). *Belg. J. Zoo.* **125**, 1, 109-123 (1995).
- Fiogbe E. D. Contribution à l'étude des besoins nutritionnels chez les larves et juvéniles de la perche fluviatile (*Perca fluviatilis* L.). Dissertation présentée en vue de l'obtention du grade de docteur en sciences. FUNDP, Facultés des Sciences, Presses Universitaires de Namur, 334 p (1996).
- Francisco P., Ray J. Etude du peuplement zooplanctonique de la retenue de Pareloup (Aveyron, France). *Hydroecol. Appl.* **6**, 175-196 (1994).
- Francisco P., Escorihuela D., Tourenq J. N., Parent J. P. Ammoniac et poissons lors de la vidange d'une retenue. *Hydroecol. Appl.* **11**, 153-163 (1999).
- Garner P. Microhabitat use and diet of 0+ cyprinid fish in a lentic regulated reach of the River Great Ouse, England. *Journal of Fish Biology* **48**, 367-382 (1996).
- Gerritsen J., Strickler J. R. Encounter probabilities and community structure in zooplankton: a mathematical model. *J. Fish. Res. Board Canada* **34**, 73-82 (1977).
- Gillet C. Le déroulement de la fraie des principaux poissons lacustres. *Hydroécol. Appl.* **1/2**, 117-143 (1989).
- Gillet C., Dubois J. P., Bonnet S. Influence of temperature and size of female on the timing of spawning of perch, *Perca fluviatilis*, in Lake Geneva from 1984 to 1993. *Environmental Biology of Fishes* **42**, 355-363 (1995).
- Gliwicz Z.M. On the different nature of top-down and bottom-up effects in pelagic food webs. *Freshwater Biology* **47**, 2296-2312 (2002).
- Gophen M., Pollinger U. Relationship between food availability, fish predation and the abundance of the herbivorous zooplankton community in Lake Kinneret. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.* **21**, 397-405 (1985).
- Grandjean T. Etude de l'incidence des noues sur le devenir des alevins de brochets (*Esox lucius*) et de gardons (*Rutilus rutilus*) éclos en leur sein. Mémoire en sciences biologiques (1993).
- Grenouillet G., Hugueny B., Carrel G. A., Olivier J. M., Pont D. Large-scale synchrony and inter-annual variability in roach recruitment in the Rhône River: the relative role of climatic factors and density-dependent processes. *Freshwater Biology* **46**, 11-26 (2001).
- Griffiths D., Kirkwood R.C. Seasonal variation in growth, mortality and fat stores of roach and perch in Lough Neagh, Northern Ireland. *Journal of Fish Biology* **47**, 537-554 (1995).
- Guma'a S.A. The food and feeding habits of young perch, *Perca Fluviatilis*, in Windermere. *Freshwater Biology* **8**, 177-187 (1978).
- Guti G. Mortality, growth and diet of perch *Perca Fluviatilis* L. in the Cikola branch of the Szigetköz, River Danube. *Arch. Hydrobiol.* **128**, 3, 317-327 (1993).
- Hall D. J. An experimental approach to the dynamics of a natural population of *Daphnia galeata mendotae*. *Ecology* **45**, 94-111 (1964).
- Hammer C. Feeding behaviour of roach (*Rutilus rutilus*) larvae and the fry of perch (*Perca Fluviatilis*) in Lake Lankau. *Arch. Hydrobiol.* **103**, 61-74 (1985).
- Hellowell J.M. The growth, reproduction and food of the roach *Rutilus rutilus* L., of the River Lugg, Herefordshire. *Journal of Fish Biology* **4**, 469-486 (1972).
- Hoestland H. La perche en France: biologie et nanisme. *La Pisciculture Française* **60**, 39-48 (1980).
- Hokanson K. E. F., Kleiner C. F., Effects of constant and rising temperatures on survival and developmental rates of embryonic and larval yellow perch, *Perca flavescens*

- (Mitchill). J. H. S. Blaxter, editor. The early life history of fish. Springer-Verlag, N-Y. p. 437-448 (1974).
- Horpilla J., Ruuhijärvi J., Rask M., Karppinen C., Nyberg K., Olin M. Seasonal changes in the diets and relative abundances of perch and roach in the littoral and pelagic zones of a large lake. *Journal of Fish Biology* **56**, 51-72 (2000).
 - Hyslop E. J. Stomach content analysis-a review and their application. *Journal of Fish Biology* **17**, 411-429 (1980).
 - Jachner A. Growth of fry of three fish species from pelagical of mezotrophic lake. *Polskie Archiwum Hydrobiologii* **36** (3), 359-371 (1989).
 - Jamet J.-L., Garavaglia C., Dal Molin R., Sargos D. Fécondité, croissance et régime alimentaire de la perche adulte (*Perca fluviatilis* L.) du Lac Monate (Italie du nord). *Riv. Idrobiol.* **29**, 2, 597-615 (1990).
 - Jamet J. L., Desmolles F. Growth, reproduction and condition of roach (*Rutilus rutilus* L.); perch (*Perca fluviatilis* L.) and ruffe (*Gymnocephalus cernuus* L.) in eutrophic Lake Aydat (France). *Int. Revues ges. Hydrobiol.* **79**, 305-322 (1994).
 - Jobling M. Society for experimental biology seminar series 61: global warning: implication for freshwater and marine fish. Edition C. M. Wood et D. G. Mc Donald. Cambridge university press (1991).
 - Jobling M. Environmental Biology of Fishes. Edition Chapman et Hall. Fish and Fisheries Series 16 , 391-403 (1995).
 - Kayes T. B., Calbert H. E. Effects of photoperiod and temperature on the spawning of yellow perch (*Perca flavescens*). *Proc. World Maricul. Soc.* **10**, 306-316 (1979).
 - Keith P., Allardi J. Atlas des poissons d'eau douce de France. Edition: Museum National d'Histoire Naturelle. Pages 196 et 308-309 (2001).
 - Kestemont P., Baras E. Environnemental factors and feed intake: mechanisms and interactions. "Food intake in fish" Edited by D. Houlihan, T. Boujard and M. Jobling, 131-155 (2001)
 - Kestemont P., Mélard C., Fiogbé E., Vlavourou R., Masson G. Nutritional and animal husbandry aspects of rearing early stages of Eurasian perch *Perca fluviatilis*. *J. Appl. Ichthyol.* **12**, 157-165 (1996).
 - Kitchell J. F., Carpenter S. R. The trophic cascade in lakes. Cambridge Studies in Ecology. Cambridge University Press, 385 p. (1993).
 - Krier A., Lauff M., Molitor G., Madeleine Molitor A. M. La récupération des poissons lors de la vidange du lac de barrage d'Esch-sur-Sûre en 1991. Aspects physico-chimiques et biologiques. *Bull. Soc. Nat. Luxemb.* **93**, 71-82 (1992).
 - Kubecka J. Models for comparing average first-year growth in length of freshwater fish. *Fisheries Management and Ecology* **1**, 45-56 (1994).
 - Lessmark O. Competition between perch (*Perca fluviatilis*) and roach (*Rutilus rutilus*) in south Swedish lakes. Ph. D. Thesis, Institute of Limnology, University of Lund (1983).
 - Livertoux E. La perche fluviatile (*Perca fluviatilis*): sa biologie, son élevage. Thèse de doctorat en médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Nantes, Nantes, France, 278 p. (1995).
 - Maier G. Differential success of cyclopoïd copepods in the pelagic zone of eutrophic lakes. *Journal of Marine Sciences* **15**, 135-138 (1998).
 - Mann R. H. K. Growth and reproduction. In: Winfielf I. J., Nelson J. S. (Eds.): "Cyprinid fishes: systematics, biology and exploitation". Chapman et Hall, Oxford, Grande-Bretagne: 456-482 (1991).
 - Mann R. H. K. Environmental requirements of European non-salmonid fish in rivers. *Hydrobiologia* **323**, 223-235 (1996).

- Mehner T., Wieser W. Effects of temperature on allocation of metabolic energy in perch (*Perca fluviatilis*) fed submaximal rations. *Journal of Fish Biology* **45**, 1079-1086 (1994).
- Mergen P. Distribution spatio-temporelle des communautés ichtyologiques dans les lacs de barrage de Nisramont (Belgique) et d'Esch-sur-Sûre (Grand-Duché du Luxembourg). Dissertation doctorale, Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix, Presses Universitaires de Namur, Namur, 416 p. (2002).
- Mills E. L., Confer J. L., Ready R. C. Prey selection by young yellow perch: the influence of capture success, visual acuity, and prey choice. *Trans. Am. Fish. Soc.* **113**, 579-587 (1984).
- Mills E. L., Pol M. V., Sherman R. E., Culvier T. B. Interrelationships between prey body size and growth of age-0 yellow perch. *Trans. Am. Fish. Soc.* **118**, 1-10 (1989).
- Mills C. A., Hurley M. A. Long-term studies on Windermere populations of perch (*Perca fluviatilis*), pike (*Esox lucius*) and Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *Freshwater Biology* **23**, 119-136 (1990).
- Mills C. A. Reproduction and life history. In: Winfield I. J., Nelson J. S. (Eds.): "Cyprinid fishes: systematics, biology and exploitation". Chapman et Hall, Oxford, Grande-Bretagne: 483-508 (1991).
- Mooij W. M., Van Tongeren O. F. R. Growth of 0+ roach (*Rutilus rutilus*) in relation to temperature and size in a shallow eutrophic lake: comparison of field and laboratory observations. *Can. J. Fish. Aquatic. Sci.* **47**, 960-967 (1990).
- Mooij W. M. Recruitment of fish in shallow eutrophic lake. Tjeukemeer, The Netherlands. PhD Thesis, Netherlands Institute of Ecology, Centre for Limnology, The Netherlands, 141 p. (1992).
- Mooij W. M., Lammens E. H. R. R., Van Densen W. L. T. The growth rate of 0+ fish in relation to temperature, body size and food in shallow eutrophic Tjeukemeer. *Can. J. Fish. Aquatic. Sci.* **51**, 516-526 (1994).
- Mooij W. M. Variation in abundance and survival of fish larvae in shallow eutrophic lake Tjeukemeer. *Environmental Biology of Fishes* **46**, 265-279 (1996).
- Molitor G. Le barrage d'Esch-sur-Sûre : Les raisons de la vidange du lac et les travaux d'assainissements (1987).
- Muus B. J., Dahlström P. Guide des poissons d'eau douce et pêche. Edition: Delachaux et Niestlé. Pages 86-87 et 156-157 (1981).
- Neuman E. The growth and year-class strength of perch (*Perca fluviatilis* L.) in some Baltic Archipelagoes, with special reference to temperature. *Institute of Freshwater Research* **55**, 51-70 (1976).
- Nunn A. D., Cowx I. G., Frear P. A., Harvey J. P. Is water temperature an adequate predictor of recruitment success in cyprinid fish populations in lowland rivers? *Freshwater Biology* **48**, 579-588 (2003).
- Papageorgiou N.K. Fecundity and reproduction of perch (*Perca Fluviatilis* L.) in Lake Agios Vasilios, Greece. *Freshwater Biology* **7**, 559-565 (1977).
- Parker R. R. Effects of formalin on length and weight of fishes. *J. Fish. Res. Bd. Canada* **20** (6), 1441-1445 (1963).
- Perrow M. R., Irvine K. The relationship between cladoceran body size and the growth of underyearling roach (*Rutilus rutilus* (L.)) in two shallow lowland lakes: a mechanism for density-dependent reduction in growth. *Hydrobiologia* **241**, 155-162 (1992).
- Persson L., Greenberg L.A. Interspecific and intraspecific size class competition affecting resource use and growth of perch, *Perca Fluviatilis*. *Oikos* **59**, 97-106 (1990).
- Persson L., Johansson L. On competition and temporal variation in temperate freshwater fish populations. *Netherlands Journal of Zoology* **42** (2-3), 304-322 (1992).
- Pivnicka K. Poissons. 256 illustrations en couleur. Edition: Gründ, p. 104 et 195 (1987).

- Pourriot R. Recherches sur l'écologie des rotifères. Supplément n° 21 à « Vie et milieu ». Laboratoire Arago Banyuls-sur-Mer, édition Masson et C^{ie}, Paris, 75-94 (1965).
- Post J. R., Mc Queen D.J. Variability in first-year growth of yellow perch (*Perca flavescens*): predictions from a simple model, observations, and an experiment. *Can. J. Fish. Aquatic. Sci.* **51**, 2501- 2512 (1994).
- Rask M. A note on the diet of roach, *Rutilus rutilus* L., and other cyprinids at Tvärminne, northern Baltic Sea. *Aqua Fennica* **19**, 19-27 (1989).
- Ricker W. E. Growth rates and models. In Hoar W. S., Randall D. J., Brett J. R. (Eds): "Fish physiology VIII" . Academic press, New-York, U.S.A, 677-743 (1979).
- Romare P. Growth of larval and juvenile perch; the importance of diet and fish density. *Journal of Fish Biology* **56**, 876-889 (2000).
- Sandström O., Neuman E., Thoresson G. Effects of temperature on life history variables in perch. *Journal of Fish Biology* **47**, 652-670 (1995).
- Sandström O., Abrahamsson I., Anderson J., Vetemaa M. Temperature effects on spawning and egg development in Eurasian perch. *Journal of Fish Biology* **51**, 1015-1024 (1997).
- Sarvala J., Helminem H., Hirvonen A., Miinalainen M., Saarikari V. Spring development of zooplankton and spatial pattern of planktivorous fish larvae in a mesotrophic lake. *Verh. Internat. Verein. Limnol* **25**, 3132-3138 (1994).
- Schiemer F., Wieser W. Epilogue: food and feeding, ecomorphology, energy assimilation and conversion in cyprinids. *Environm. Biol. Fishes* **33**, 223-227 (1992).
- Specziar A., Tölg L., Biro P. Feeding strategy and growth of cyprinids in the littoral zone of Lake Balaton. *Journal of Fish Biology* **51**, 1109-1124 (1997).
- Tans M. Utilisation des noues de la Meuse en tant que sites de reproduction et de nurseries par les poissons du fleuve. Dissertation Doctorale, Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix, Presses Universitaires de Namur, Namur, 337 p. (2000).
- Tatrai I., Padisak J., Simonian A. Impact of juvenile cyprinid fish on the food availability and zooplankton community. *Verh. Internat. Verein. Limnol* **24**, 2519-2522 (1991).
- Thorpe J.E. Daily ration of adult perch, *Perca Fluviatilis* L., during summer in Loch Leven, Scotland. *Journal of Fish Biology* **11**, 55-68 (1977).
- Tonn W. M., Paszowski C.A., Moermond T.C. Competition in *Umbra- Perca* fish assemblages- experimental and field evidence. *Oecologia* **69**, 126-133 (1986).
- Tonn W. M. Climate change and fish communities: a conceptual framework. *Transactions of the American Fisheries Society* **119**, 337-352 (1990).
- Treasurer J. W. Some aspects of the reproductive biology of perch *Perca fluviatilis*. Fecundity, maturation and spawning behaviour. *Journal of Fish Biology* **18**, 729-740 (1981).
- Treasurer J. W. Mortality and production of 0+ perch, *Perca fluviatilis* L., in two Scottish lakes. *Journal of Fish Biology* **34**, 913-928 (1989).
- Treasurer J.W. The food and daily food consumption of lacustrine 0 + perch, *Perca Fluviatilis* L. *Freshwater Biology* **24**, 361-374 (1990).
- Treasurer J.W. The predator-prey relationship of perch, *Perca fluviatilis*, larvae and zooplankton in two Scottish lochs. *Environmental Biology of Fishes* **35**, 63-74 (1992).
- Wang N. Food and feeding of young perch (*Perca fluviatilis* L.) in Lake Constance. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* **25**, 2148-2152 (1994).
- Wang N., Eckmann R. Effects of temperature and food density on egg development, larval survival and growth of perch (*Perca Fluviatilis* L.). *Aquaculture* **122**, 323-333 (1994).
- Whiteside M. C., Swindoll C. M., Doolittle W. L. Factors affecting the early life history of yellow perch, *Perca flavescens*. *Environmental Biology of Fishes* **12**, 47-56 (1985).

- Whiteside M.C. 0+ fish as major factors affecting abundance patterns of littoral zooplankton. . *Verh. Internat. Verein. Limnol* **23**, 1710-1714 (1988).
- Wieser W., Forstner H., Schiemer F., Mark W. Growth rates and growth efficiencies in larvae and juveniles of *Rutilus rutilus* and other cyprinid species: effects of temperature and food in the laboratory and in the field. *Can. J. Fish. Aquatic. Sci.* **45**, 943-950 (1988).
- Wieser W., Medgyesy N. Aerobic maximum for growth in the larvae and juveniles of a cyprinid fish, *Rutilus rutilus* (L.): implications for energy budgeting in small poikilotherms. *Functional Ecology* **4**, 233-242 (1990).
- Wootton R. J., Ecology of Teleost Fishes. Edition Chapman and Hall. Fish and Fisheries Series 1 (1990).
- Zeh M., Ritter E., Ribi G. Spawning and egg development of *Perca fluviatilis* in Lake Zürich. *Aquatic Sciences* **51** (2), 99-107 (1989).

Liste des figures

- Figure 1-1 : Interactions majeurs dans la cascade trophique dans un lac expérimental
- Figure 1-2 : Relation entre la biomasse de phytoplancton et de zooplancton
- Figure 1-3 : Relation entre la température et l'abondance en zooplancton
- Liste 1-1 : Synonymes des noms latins de la perche commune
- Figure 1-4 : Distribution de la perche
- Figure 1-5 : *Perca fluviatilis*
- Figure 1-6 : Distribution du gardon
- Figure 1-7 : *Rutilus rutilus*
- Figure 1-8 : Changement dans le régime alimentaire de la perche pendant le premier été de vie
- Figure 1-9 : Composition de l'alimentation de la perche leur première année de vie
- Figure 1-10 : Sélection des types de proies par les jeunes perches dans des environnements différents
- Figure 1-11 : variations mensuelles du nombre des proies principales consommées par la perche
- Figure 1-12 : Composition du régime alimentaire de la perche selon la taille de son corps
- Figure 1-13 : Stratégie alimentaire du gardon
- Figure 1-14 : Changements saisonniers en abondance des alevins trois années successives
- Figure 1-15 : Contrôle de la température sur différentes fonctions du jeune saumon sockeye
- Figure 1-16 : Distribution d'une espèce en fonction de ses préférences thermiques
- Figure 1-17 : Effet de la ration alimentaire et de la température sur le taux spécifique de croissance
- Figure 1-18 : Relation entre la température et le temps moyen de développement des embryons de *Perca flavescens*
- Figure 1-19 : Pourcentage de mortalité dans les premiers stades de développement du gardon
- Figure 1-20 : Courbes de survie des larves de *Pseudopleuronectes americanus* élevées à différentes températures
- Figure 1-21 : Relation entre l'abondance moyenne annuelle des 0+ et la température de l'eau en juin
- Figure 1-22 : Changement dans le log de la longueur moyenne du gardon et de la perche
- Figure 1-23 : Production moyenne d'œufs de perche en fonction de l'âge
- Figure 1-24 : Courbe de réponse fonctionnelle
- Figure 1-25 : Relation entre le taux de croissance journalier de *Perca flavescens* et la biomasse de zooplancton

- Figure 2-1 : Situation du lac d'Esch-sur-Sûre dans le Grand-Duché de Luxembourg
- Figure 2-2 : Limite des deux zones du lac d'Esch-sur-Sûre

- Figure 3-1 : Position des sites littoraux étudiés en 1999 et 2003

- Figure 4-1 : Evolution temporelle des profils de température de pH, de conductivité et de concentration en oxygène dissous dans les quatre zones étudiées du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999
- Figure 4-2 : Evolution temporelle des profils de température de pH, de conductivité et de concentration en oxygène dissous dans la zone Pont Misère du lac d'Esch-sur-Sûre en 2003

- Figure 4-3 : Evolution temporelle de la densité du zooplancton total, des rotifères et des crustacés dans les quatre sites étudiées du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999
- Figure 4-4 : Evolution temporelle de la densité des taxa zooplanctoniques dans les quatre zones littorales étudiées du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999
- Figure 4-5 : Evolution temporelle de la densité des taxa zooplanctoniques dans la zone Pont Misère du lac d'Esch-sur-Sûre en 2003
- Figure 4-6 : Evolution de la longueur totale moyenne et du poids moyen pour les alevins de gardon dans les zones littorales du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999
- Figure 4-7 : Evolution de la longueur totale moyenne et du poids moyen pour les alevins de perche dans les zones littorales du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999
- Figure 4-8 : Sélection des indices d'occurrence et d'abondance des alevins de perche et de gardon du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999
- Figure 4-9 : Indice d'occurrence et d'abondance des alevins de perche et de gardon du lac d'Esch-sur-Sûre en 2003
- Figure 1-10 : Indice de sélectivité des gardons pêchés en zone Pont Misère (ZP) du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999
- Figure 1-11 : Indice de sélectivité des gardons pêchés en zone à herbier (ZH) du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999
- Figure 1-12 : Indice de sélectivité des gardons pêchés en zone Pont Misère (ZP) du lac d'Esch-sur-Sûre en 2003
- Figure 1-13 : Indice de sélectivité des perches pêchées en zone Pont Misère (ZP) du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999
- Figure 1-14 : Indice de sélectivité des perches pêchées en zone à herbier (ZH) du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999
- Figure 1-15 : Indice de sélectivité des perches pêchées en zone à genêts (ZG) du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999
- Figure 1-16 : Indice de sélectivité des perches pêchées en zone barrage (ZB) du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999
- Figure 1-17 : Indice de sélectivité des perches pêchées en zone Pont Misère (ZP) du lac d'Esch-sur-Sûre en 2003

Liste des tableaux

- Tableau 1-I : Détails de l'importance relative des catégories alimentaires dans le régime alimentaire des perches 0+
- Tableau 1-II : Variations du régime alimentaire de la perche en fonction de sa taille
- Tableau 1-III : Pourcentage des larves de gardon contenant les différentes catégories alimentaires en fonction de la longueur de celle-ci
- Tableau 1-IV : Détails de l'importance relative des catégories alimentaires dans le régime alimentaire du gardon 0+
- Tableau 1-V : Variation du régime alimentaire du gardon en fonction de sa taille
- Tableau 1-VI : Effet de la température sur le taux d'éclosion, de nage et la longueur totale à l'éclosion d'embryons de perche
- Tableau 1-VII : Taux de survie et longueur totale des larves de perche après culture à des températures différentes

- Tableau 3-I : Caractéristiques générales des différents sites étudiés au lac d'Esch-sur-Sûre en 1999 et 2003
- Tableau 4-I : Evolution de la longueur totale moyenne et du poids moyen pour les alevins de perche et de gardon dans la zone Pont Misère (ZP) du lac d'Esch-sur-Sûre en 2003 ainsi que le nombre de capture
- Tableau 4-II : Moyenne ingérée pour les gardons et les perches des principaux taxa et macro-invertébrés pour la zone Pont Misère (ZP) du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999
- Tableau 4-III : Moyenne ingérée pour les gardons et les perches des principaux taxa et macro-invertébrés pour la zone Pont Misère (ZP) du lac d'Esch-sur-Sûre en 2003

Liste des annexes

Les annexes sont disponibles sur le CD rom joint au manuscrit :

Annexe 1 : Données de physico-chimie pour les zones Pont Misère (ZP), à herbier (ZH), à genêts (ZG), barrage (ZB) du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999 ainsi que pour la zone Pont Misère en 2003.

Annexe 2 : Données de zooplancton pour les zones Pont Misère (ZP), à herbier (ZH), à genêts (ZG), barrage (ZB) du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999 ainsi que pour la zone Pont Misère en 2003.

Annexe 3 : Tableaux des longueurs moyennes et poids moyens des alevins de perche et de gardon pêchés à Esch-sur-Sûre en 1999 et 2003.

Annexe 4 : Tableaux des comptages des contenus stomacaux des alevins de perche et de gardons pour les années 1999 et 2003 ainsi que les valeurs chiffrées des indices d'occurrence et d'abondance.

Annexe 5 : Graphes représentant les indices d'occurrence et d'abondance pour les perches et les gardons capturés à Esch-sur-Sûre en 1999.

Annexe 6 : Tableaux des indices de sélectivité moyen des gardons pour les zones Pont Misère (ZP), à herbier (ZH), à genêts (ZG), barrage (ZB) du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999 et pour la zone Pont Misère (ZP) en 2003.

Annexe 7 : Tableaux des indices de sélectivité moyen des perches pour les zones Pont Misère (ZP), à herbier (ZH), à genêts (ZG), barrage (ZB) du lac d'Esch-sur-Sûre en 1999 et pour la zone Pont Misère (ZP) en 2003.

Annexe 8 : Tableaux des indices de sélectivité individuels.

Annexe 9 : Tableaux des ingestions moyennes des différents taxa zooplanctoniques par les gardons capturés à Esch-sur-Sûre en 1999 et 2003.

Annexe 10 : Tableaux des ingestions moyennes des différents taxa zooplanctoniques par les perches capturées à Esch-sur-Sûre en 1999 et 2003.