



THESIS / THÈSE

MASTER EN SCIENCES BIOLOGIQUES DES ORGANISMES ET ÉCOLOGIE

Caractérisation des populations piscicoles migrantes en Meuse belge au niveau de la passe migratoire du barrage de Tailfer

Cugnon, Thibaut

Award date:
2006

[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

CARACTERISATION DES POPULATIONS PISCICOLES MIGRANTES DANS LA MEUSE BELGE
AU NIVEAU DE LA PASSE MIGRATOIRE DU BARRAGE DE TAILFER

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

Thibaut CUGNON

Août 2006

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: joelle.jonet@fundp.ac.be - <http://www.fundp.ac.be/fundp.html>

Caractérisation des populations piscicoles migrantes en Meuse belge au niveau de la passe migratoire du barrage de Tailfer

CUGNON Thibaut

Résumé

L'objectif de cette étude est de caractériser les principales populations piscicoles migrantes en Meuse belge ainsi que d'étudier les variations historiques potentielles des caractéristiques majeures de ces populations. Nos données sont collectées par piégeage dans la passe migratoire du barrage de Tailfer.

Le goujon, essentiellement représenté par des individus de trois ans, est la seule espèce présentant une augmentation du nombre de captures par rapport aux données historiques. L'abondance de captures de chevaines s'inscrit parfaitement dans la continuité des valeurs observées durant les années 90. La longueur moyenne de la population migrante est de 39,2 cm, et est influencée par l'absence d'individus de petites tailles dans les remontées. Ceci est également le cas de la brème commune pour qui seule une partie de la population matures (de 4 à 10 ans) semble emprunter la passe.

Il a été observé de très faibles remontées de gardons, d'ablettes et de brèmes bordelières. Ceci étant principalement du aux conditions hydrologiques qui ont perturbé les migrations cette année.

Malgré leur faible abondance, les gardons peuvent tout de même être caractérisés. La population migrante est essentiellement composée d'individus âgés de trois à cinq ans en abondance relative décroissante. Ils restent comparables en terme de taille (moy. = 17,1 cm) et de poids (moy. = 59,5 g) avec ce qui avait été observé par le passé. La seule différence résidant dans l'initiation des remontés qui s'est déroulée fin avril, début mai à 13 °C, tout comme pour l'ablette, au lieu des 8-10 °C généralement observés en haute Meuse.

Mémoire de licence en Sciences biologiques

Août 2006

Promoteur : J-C. Micha

Remerciements

Au terme de cette licence, je me dois de remercier toutes les personnes qui m'ont permis d'accomplir mes études, et ce mémoire en particulier.

Je remercie tout d'abord mon promoteur le professeur Jean-Claude Micha, pour m'avoir dans un premier temps accueilli au sein de l'Unité de Recherche en Biologie des Organismes, et pour m'avoir ensuite offert l'opportunité de réaliser ce travail.

Merci également à Christelle, ma tutrice et co-promotrice de ce travail, pour ses conseils, son aide et sa disponibilité.

Merci aussi à Pierre pour m'avoir accompagné toute la saison à Tailfer.

Toute ma reconnaissance également à Victor Paquay, du service de la Pêche, pour sa disponibilité quand le besoin était.

Je remercie également le professeur Jean-Claude Philippart et toute son équipe pour m'avoir permis d'utiliser une partie des résultats de tout le travail fourni à Lixhe.

Je n'oublie pas non plus Mr Alain Gillet, pour l'accès à ses données ainsi que ses conseils et sa disponibilité.

Toute ma reconnaissance également envers Patricia Mergen, et ses judicieux conseils statistiques.

Merci également à l'ensemble du corps professoral des facultés, avec une mention spéciale aux autres professeurs de l'URBO, Patrick Kestemont, Jean-Pierre Descy et le Révérend Père Pierre Devos.

Merci bien sûr à l'ensemble du personnel de l'URBO.

Et enfin un très grand MERCI à tous ceux et celles (dont la liste est trop longue que pour être énumérée), qui m'ont accompagné durant toutes ces années, que ce soit dans mes péripéties scolaires ou non scolaires. Mention spéciale à l'inévitable « Magic ».

A tous, à bientôt pour de nouvelles aventures !

Table des matières

| | |
|---|----|
| • 1. Introduction | 1 |
| • 2. Synthèse bibliographique : | |
| ○ 2.1. Migration et types de migration | 3 |
| ○ 2.2. Méthodes d'étude du suivi des migrations de poissons | 6 |
| ○ 2.3. Comportement et facteurs déclencheurs de migration | 6 |
| ▪ 2.3.1. Facteurs internes et externes | 6 |
| ▪ 2.3.2. Rythmes migratoires | 7 |
| ▪ 2.3.3. Homing | 9 |
| ○ 2.4. Problématique des remontées | 9 |
| ○ 2.5. Description des espèces étudiées | 11 |
| ○ 2.6. Historique des données : | 14 |
| ▪ 2.6.1. Tailfer | 14 |
| ▪ 2.6.2. Lixhe | 16 |
| ▪ 2.6.3. Tendances | 17 |
| • 2.6.3.1. Structure par taille des populations migrantes | 17 |
| • 2.6.3.2. Périodicité pluriannuelle | 19 |
| • 2.6.3.3. Périodicité saisonnière | 19 |
| • 2.6.3.4. Rythme circadien | 20 |
| ○ 2.7. Conclusion | 21 |
| • 3. Matériel et méthodes | 22 |
| ○ 3.1. Présentation du milieu | 22 |
| ○ 3.2. Description des sites | 22 |
| ○ 3.3. Modes de captures et de collecte des données | 25 |
| ▪ 3.3.1. Piège de Tailfer | 25 |

| | |
|--|----|
| ▪ 3.3.2. Biométrie | 25 |
| ▪ 3.3.3. Scalimétrie | 25 |
| ▪ 3.3.4. Physico-chimie | 26 |
| ▪ 3.3.5. Vidéo-surveillance | 26 |
| ○ 3.4. Analyse des données | 27 |
| ▪ 3.4.1. Encodage des données | 27 |
| ▪ 3.4.2. Traitement des données | 27 |
| ● 4. Résultats | 30 |
| ○ 4.1. Résultats globaux des captures | 30 |
| ○ 4.2. Rythmes migratoires des principales espèces recensées | 30 |
| ▪ 4.2.1. Gardon | 31 |
| ▪ 4.2.2. Chevaine | 31 |
| ▪ 4.2.3. Goujon | 31 |
| ▪ 4.2.4. Brème commune | 32 |
| ▪ 4.2.5. Brème bordelière | 32 |
| ▪ 4.2.6. Anguille | 32 |
| ○ 4.3. Caractérisation des populations migrantes | 32 |
| ▪ 4.3.1. Structure par taille | 33 |
| ● 4.3.1.1. Gardon | 33 |
| ● 4.3.1.2. Chevaine | 33 |
| ● 4.3.1.3. Goujon | 33 |
| ● 4.3.1.4. Brème commune | 33 |
| ● 4.3.1.5. Anguille | 33 |
| ▪ 4.3.2. Classes d'âge | 33 |
| ● 4.3.2.1. Gardon | 33 |
| ● 4.3.2.2. Chevaine | 34 |
| ● 4.3.2.3. Goujon | 34 |
| ● 4.3.2.4. Brème commune | 34 |

| | |
|--|----|
| ▪ 4.3.3. Relation poids-longueur | 34 |
| • 4.3.3.1. Gardon | 34 |
| • 4.3.3.2. Chevaine | 35 |
| • 4.3.3.3. Goujon | 36 |
| • 4.3.3.4. Brème commune | 36 |
| • 4.3.3.5. Anguille | 36 |
| ○ 4.4. Variations inter-annuelles | 38 |
| ▪ 4.4.1. Evolution des captures | 38 |
| ▪ 4.4.2. Rapport rhéophiles / non-rhéophiles | 39 |
| ▪ 4.4.3. Caractéristiques des espèces | 40 |
| • 4.4.3.1. Gardon | 40 |
| • 4.4.3.2. Chevaine | 41 |
| • 4.4.3.3. Goujon | 43 |
| • 4.4.3.4. Brème commune | 44 |
| ▪ 4.4.4. Déplacement des espèces | 46 |
| • 5. Discussion | 48 |
| • 6. Conclusions et perspectives | 54 |
| • 7. Références bibliographiques | 56 |

1. Introduction

1. INTRODUCTION

Les migrations de reproduction sont des phénomènes globalement répandus, voire essentiels, dans le monde piscicole naturel, que ce soit pour la recherche d'un habitat de ponte adéquat, ou dans une optique de dissémination des espèces et de brassage génétique.

Les problèmes rencontrés en Meuse en ce qui concerne les migrations sont principalement la raréfaction des sites naturels propices à la ponte ainsi que la présence d'obstacles infranchissables que sont les barrages présents tout au long du cours du fleuve.

Pour permettre le franchissement de ces derniers par les poissons, la construction de passes migratoires est devenue d'une importance capitale. Ces passes doivent non seulement permettre le passage d'un maximum d'espèces de poissons migrants, mais également être assez attractives pour permettre la localisation de leur entrée par les poissons.

Durant ce travail, nous allons tenter de caractériser les principales espèces piscicoles empruntant les échelles comme mode de franchissement des barrages. Notre étude se déroule au niveau de la passe migratoire du barrage de Tailfer.

Cette passe a déjà fait l'objet de nombreux contrôles par le passé, mais cela n'a plus été le cas depuis 1998. Il est donc intéressant d'effectuer une nouvelle série d'observations en vue de déterminer si les structures de populations ont évolué depuis lors.

Pour ce faire, il est nécessaire de se baser sur les données récoltées dans le passé à Tailfer, mais également de les confronter à des données enregistrées à une autre passe migratoire, en l'occurrence celle de Lixhe qui fait l'objet d'un suivi régulier depuis plusieurs années effectué par l'équipe de l'Ulg.

Nous porterons une attention particulière à sept espèces présentes dans le bassin mosan, le gardon (*Rutilus rutilus L.*) car il représente la biomasse la plus importante parmi les poissons mosans, la brème commune (*Abramis brama L.*) et la brème bordelière (*Blicca bjoerkna L.*) car elles font également partie des cyprins limnophiles les plus abondants en Meuse, l'ablette commune (*Alburnus alburnus L.*) qui représente également une des biomasses théoriques les plus abondantes en Meuse, le chevaine (*Leuciscus cephalus L.*) car c'est le plus abondant parmi les poissons rhéophiles présents en Meuse, le goujon (*Gobio gobio L.*) qui est un rhéophile plutôt acclimaté aux fonds du lit des rivières, et l'anguille européenne (*Anguilla anguilla L.*) qui a été choisie dans une optique de suivi des stocks qui semblent diminuer de façon drastique.

Les rythmes migratoires de ces espèces seront étudiés, et nous tenterons pour le gardon, la brème, le chevaine et le goujon, de les mettre en relation avec les classes d'âge qui seront déterminées par analyse scalimétrique.

Ce travail s'inscrit dans le programme du projet « Meuse saumon 2000 » (Convention d'études pour le suivi scientifique de la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse). Cette étude est conjointement réalisée par les Facultés universitaires Notre-Dame de la Paix de Namur (Unité de Recherche en Biologie des Organismes), l'Université de Liège (Laboratoire de Démographie des Poissons et d'Hydroécologie, Service d'Ethologie), ainsi que le Service de la Pêche de la Région Wallonne (Division de la Nature et des Forêts, Direction générale des Ressources Naturelles).

Initialement, il était également prévu de tester l'efficacité de l'échelle à poissons de Waulsort édifiée en 2000. Cette passe ne permettant pas l'installation d'un système de piégeage des poissons la franchissant, le suivi aurait été effectué grâce à des enregistrements vidéos en continu. Les données récoltées auraient été corrélées avec celles des piégeages

effectués à Tailfer par nos soins et à Lixhe par l'équipe de l'ULg.

Malheureusement ceci n'aura pas été possible suite à un retard dans les délais d'installation du système de rétro-éclairage par le Ministère de l'Équipement et des Transports (M.E.T).

La première partie de ce travail est consacrée à la synthèse bibliographique des écrits traitant des différents types de migrations ainsi que des problèmes rencontrés durant ces périples. Nous présentons ensuite une rapide description des différentes espèces ciblées. Nous terminons cette première partie par la présentation rapide des données préalablement récoltées ainsi que par les tendances qui s'en dégagent.

La deuxième partie sera consacrée à la présentation et à la discussion de nos résultats ainsi qu'à leur confrontation aux données existantes pour l'échelle de Tailfer, ainsi qu'à l'échelle de Lixhe le cas échéant.

Nous terminons par une brève conclusion et par les perspectives qui ressortent de ce travail.

2. Synthèse bibliographique

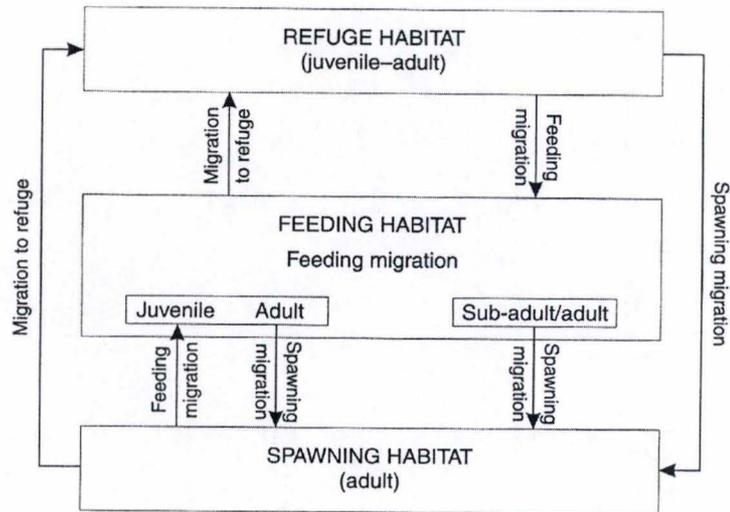


Figure 1 : Représentation schématique des migrations, basée sur les mouvements entre trois habitats fonctionnels (In Northcote, 1978).

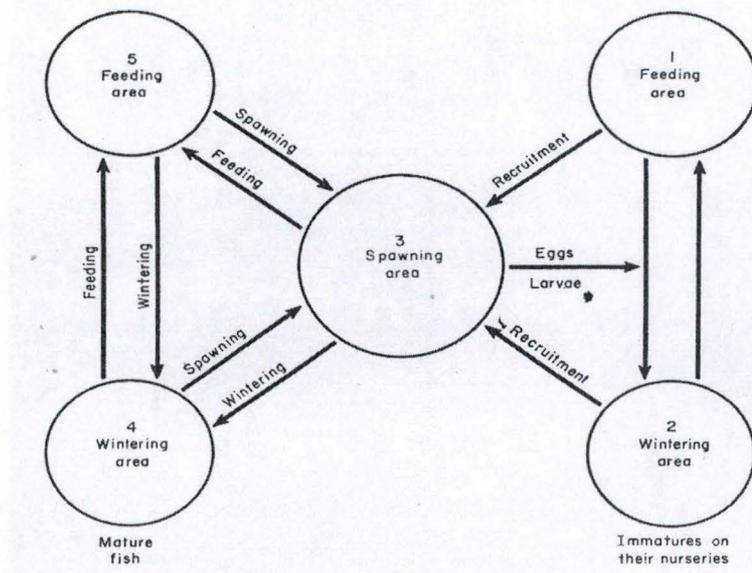


Figure 2 : Représentation schématique des migrations, basée sur les mouvements entre trois habitats fonctionnels (in Harden Jones, 1968).

2. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

2.1. Migration et types de migration

Les migrations peuvent être définies comme étant des mouvements concernant une grande partie de la population, et résultant en une alternance entre deux ou plusieurs habitats séparés. Ces mouvements sont dirigés à certains stades du cycle de vie et se produisent avec une périodicité régulière (Northcote, 1978).

Northcote (1978) définit ensuite trois types d'habitats; un pour la reproduction, un pour l'alimentation et un comme refuge durant les périodes de conditions défavorables. Ces habitats ne sont pas systématiquement les mêmes à différents stades du cycle de vie. Sur base de ces trois types d'habitats, il définit trois types de migrations : migrations de refuge, d'alimentation et de reproduction (figure 1). Ces trois types de migrations entre ces trois types d'habitats sont semblables à ce qu'avait défini Thompson en 1959 (figure 2).

Ces différents types de migration peuvent se définir comme suit :

Migration d'alimentation : Varie en fonction du stade de développement et de la saison.

Stade larvaire : Les larves ont, selon les espèces, des capacités locomotrices très peu développées, ce qui rend par exemple possible la dérive des larves de cyprins sur de longues distances, en fonction notamment des conditions climatiques et hydrologiques. Ceci va permettre une distribution longitudinale des larves dans le milieu à partir des zones de reproduction (Robinson *et al.*, 1998).

Stades juvénile et adulte : Des études de marquage-recapture sur des cyprins, par exemple le chevaine (Allouche *et al.*, 1999), ou le gardon (Baade et Fredrich, 1998), ont montré des mouvements limités durant la période estivale de moins de trois kilomètres, et occasionnellement de plus longues distances. Par contre, chez d'autres espèces, ces migrations peuvent porter sur de beaucoup plus grandes distances. Ceci est notamment le cas chez les juvéniles de salmonidés migrateurs qui dévalent les rivières où ils sont nés pour rejoindre l'océan qui sera leur lieu de croissance principal (Spicer *et al.*, 1994). Ces migrations peuvent être assez rapides et conséquentes en fonction des conditions topographiques et climatiques. Un suivi de la vitesse de dévalaison du saumon atlantique (*Salmo salar L.*) dans une rivière du Maine (U.S.A), a permis d'enregistrer des vitesses moyennes de 3,7 km par jour avec une amplitude de 0,5 à 15,7 km par jour (Spicer *et al.*, 1994).

Migration vers les refuges : Stratégie visant à minimiser les dépenses corporelles durant les périodes de conditions stressantes, d'une durée généralement plus courte qu'un cycle annuel de vie. Cela inclut la période hivernale ainsi que des périodes de fluctuations saisonnières irrégulières comme les crues ou les sécheresses.

Notons que beaucoup de poissons, en particulier au stade juvénile, ont tendance à descendre vers l'aval pour trouver des refuges (Lucas *et al.*, 1999). De plus, le fait de ralentir l'activité métabolique durant la période hivernale peut entraîner des difficultés à se maintenir à sa position dans les rivières à débits élevés. Ces dérives hivernales entraîneraient les remontées printanières et estivales (Lucas *et al.*, 1999), ce qui est défini par certains auteurs comme un quatrième type de migration, la migration de recolonisation (Lucas et Baras, 2001).

Un autre type particulier de migration vers les refuges s'observe notamment en Meuse. C'est ce que l'on appelle les comportements migratoires latéraux, qui consistent en un déplacement du lit principal du fleuve vers des anciens bras morts, appelés noues, se trouvant

en connexion avec le cours d'eau. De nombreuses études comme celles de Tans (2000) ont déjà été menées sur ces phénomènes. Ces zones servent également de zone de reproduction à certaines espèces comme le brochet (*Esox lucius L.*), la perche (*Perca fluviatilis L.*) ou le gardon.

Chez l'anguille, qui est sédentaire durant la majeure partie de sa vie, les changements saisonniers d'habitats sont probablement dus à l'évitement des conditions défavorables en hiver, à savoir glace en surface, eau froide et gelée au sol (Tesch, 1977). Ces mouvements dépendent néanmoins de la disponibilité des habitats appropriés. En effet, si un individu dispose d'un refuge adéquat individuel, la migration n'est plus nécessaire. Par exemple, des anguilles peuvent se réfugier dans des trous ou des crevasses dans les roches des rives ou du fond pour passer l'hiver (Baras *et al.*, 1998).

Migration de reproduction : Les migrations de reproduction sont souvent plus concrètes et plus visibles que les migrations d'alimentation ou de refuge, car chez la plupart des populations de poissons, la reproduction se produit durant une période de l'année relativement limitée, et nécessite souvent une agrégation d'individus des deux sexes (Lucas et Baras, 2001). Beaucoup de poissons d'eau douce manifestent des migrations de reproduction vers l'amont, mais ce n'est pas nécessairement le cas (McKeown, 1984 ; Lucas et Baras, 2001). Ces déplacements ont donc pour but de trouver un habitat approprié à la reproduction, c'est-à-dire un substrat de ponte adéquat, variant selon les espèces, dans un milieu présentant un maximum de chance de survie pour les œufs et les jeunes larves. Ces voyages s'effectuent généralement sur de longues distances. Il n'y a pas que les grands migrateurs comme le saumon ou l'anguille qui peuvent parcourir plusieurs milliers de kilomètres pour atteindre leur zone de reproduction. Plusieurs espèces de cyprins rhéophiles comme le barbeau (*Barbus barbus L.*), le chevaine, le hotu (*Chondrostoma nasus L.*) ou la vandoise (*Leuciscus leuciscus L.*), peuvent parcourir plusieurs dizaines de kilomètres lors de leurs migrations printanières vers l'amont pour trouver un habitat de reproduction adéquat (Lucas *et al.*, 1999). L'esturgeon (*Acipenser sturio L.*), quant à lui, remonte le Danube sur une distance parfois supérieure à 2000 kilomètres pour pondre (McKeown, 1984).

Une autre classification basée sur les différents biomes utilisés, définit trois classes de poissons migrateurs :

- Océanodrome : cycle de vie se déroulant entièrement en milieu marin.
- Potamodrome : cycle de vie se déroulant entièrement en eau douce.
- Diadrome : les migrations se produisent en alternance entre milieu marin et eau douce (ex : *Anguilla anguilla*, *Salmo salar*).

Au niveau des poissons diadromes, certains sont euryhalins (tolérant de fréquentes variations de salinité), mais sont souvent restreints aux zones estuaires et n'ont donc pas spécialement de comportements migratoires bien définis. La plupart sont amphihalins, c'est à dire capables de supporter des changements de salinité uniquement durant les périodes spécifiques liées à la « capacité de réponse physiologique » (Lucas et Baras, 2001). La smoltification du saumon en est un bon exemple. Notons que le passage entre eau douce et eau de mer ne nécessite pas forcément de période d'acclimatation apparente, comme observé par Moore *et al.* (1998) en ce qui concerne la migration de smolts de truite de mer (*Salmo trutta L.*) au Pays de Galles.

Cette définition de poissons diadromes n'est pas toujours absolue en ce sens que les mouvements entre eau douce et eau de mer ne sont pas toujours obligatoires et prévisibles. Par exemple, certains mâles de saumon atlantique sont matures à un stade juvénile et ne gagneront jamais la mer. Il en va apparemment de même en ce qui concerne une partie non

négligeable de géniteurs d'anguille à un stade sub-adulte qui n'entre jamais en eau douce (Tsukamoto *et al.*, 1998).

D'autre part, dans certaines régions, certaines espèces de poissons, comme le brochet ou la perche montrant un comportement de migration nutritive dans la partie supérieure de la mer Baltique, où la salinité est rarement supérieure à 10 ‰, ne peuvent pas être classés comme migrateurs diadromes, bien que ce comportement permette un meilleur potentiel de croissance que ce qui aurait été possible si ils étaient restés là où ils sont nés (Muller et Berg, 1982 ; Lucas et Baras, 2001).

En fonction du stade de vie où se produisent les modifications physiologiques au changement de salinité et de la direction des migrations, le comportement diadrome est généralement divisé en trois groupes (from Myers, 1949 in McKeown, 1984 and in McDowall, 1997) :

- anadrome : poisson diadrome chez qui la majeure partie de l'alimentation et de la croissance se passe en milieu marin avant que l'adulte mature ne se reproduise en eau douce.
- catadrome : poisson chez qui la phase principale de croissance et d'alimentation se déroule en eau douce avant la migration des adultes matures en milieu marin pour se reproduire.
- amphidrome : poisson chez qui il y a une migration des larves vers la mer après éclosion, suivie par un début d'alimentation et de croissance en mer, ensuite, il y a une migration d'individus au stade post-larvaire ou juvénile de la mer vers l'eau douce où ils poursuivent leur nutrition et leur croissance jusqu'au stade adulte mature et la reproduction. Ce comportement est toutefois assez rare, ex : *Leptocottus armatus* G. (Lucas et Baras, 2001).

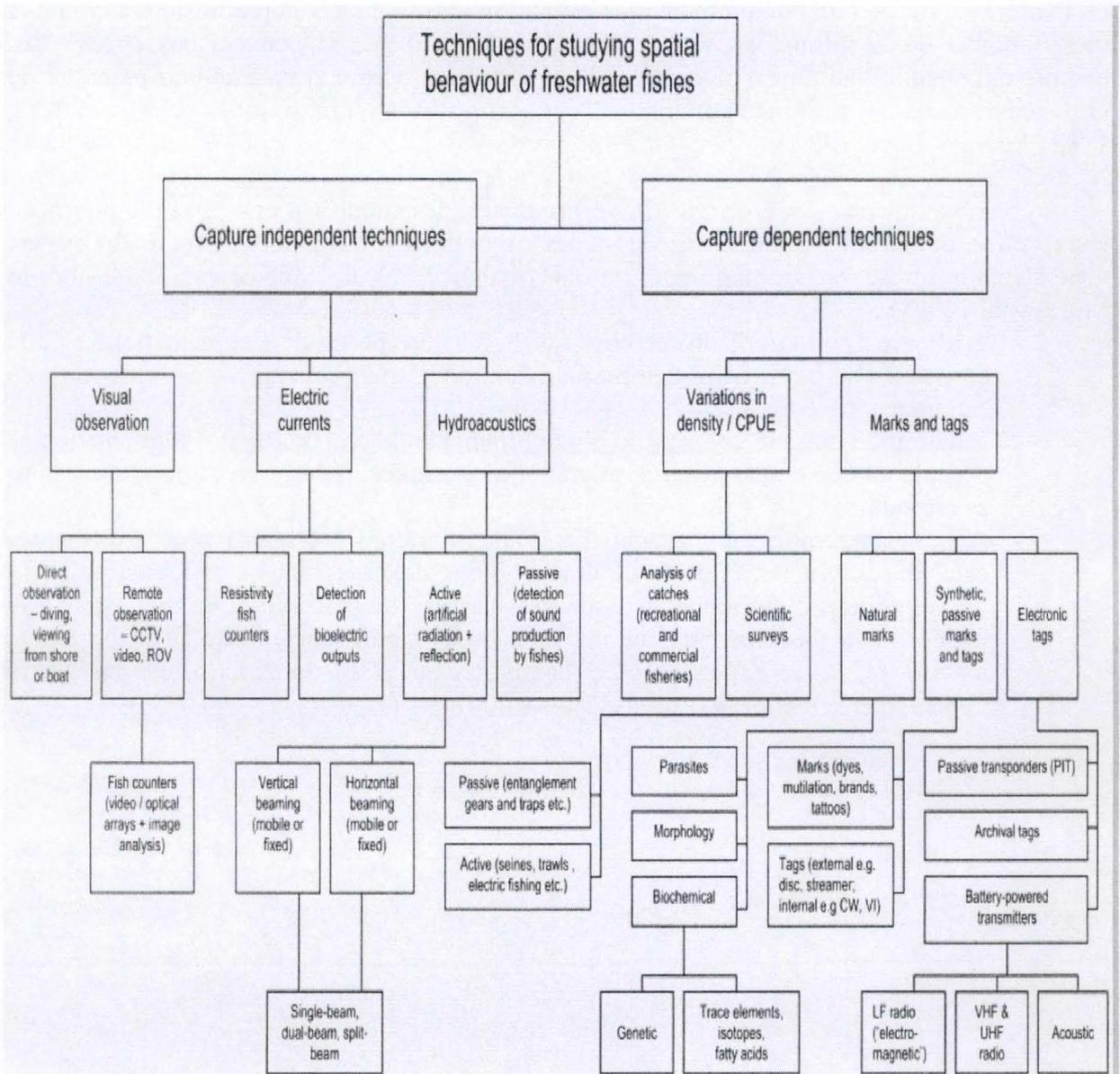


Figure 3 : Classification des méthodes disponibles pour étudier le comportement migratoire des poissons d'eau douce (in Lucas et Baras, 2001).

2.2. Méthodes d'étude du suivi des migrations de poissons

Il existe de nombreuses techniques permettant l'étude des migrations de poissons. On choisira préférentiellement l'une ou l'autre en fonction de l'espèce étudiée et du type d'étude effectuée. Lucas et Baras (2001) résument très bien toutes ces techniques dans la figure 3, divisées en deux catégories principales : les méthodes dépendantes des captures et les méthodes non-dépendantes des captures.

2.3. Comportements et facteurs déclencheurs de migration

2.3.1. Facteurs internes et externes

L'initiation et le contrôle du comportement migratoire sont basés sur des interactions complexes entre l'état physiologique interne du poisson et des facteurs environnementaux externes tels que la température de l'eau, le débit, la photopériode et le cycle lunaire (Northcote, 1998 ; Prignon *et al.*, 1998).

Les mouvements des poissons sont également des réponses à d'autres facteurs externes tels que les variations de la disponibilité de nourriture, la présence de compétiteurs et la prédation (Krumme et Saint-Paul, 2003).

La figure 4 résume les signaux externes et internes qui peuvent stimuler un poisson à migrer.

En climat tempéré, la plupart des mouvements migratoires effectués par les poissons d'eau douce sont fortement corrélés aux variations environnementales (Lucas et Baras, 2001). Cependant, ceux-ci varient selon les espèces, mais également en fonction du stade de développement du poisson.

Le comportement migratoire des anguilles dans les estuaires est pour sa part lié à la photopériode, la température de l'eau, les phases lunaires ainsi que le passage de dépressions nuageuses (Okamura *et al.*, 2002). Par contre, chez les smolts de truites de mer, une fois présents dans les estuaires, aucune relation n'a pu être mise en évidence entre la température, la salinité, la qualité de l'eau, et les changements de comportements migratoires. Tous les mouvements suivent alors la marée descendante, en se positionnant dans les courants les plus rapides près de la surface (Moore *et al.*, 1998).

Chez le hareng (*Clupea harengus L.*), les mouvements migratoires peuvent être programmés génétiquement, mais le timing et la direction sont aussi influencés par d'autres facteurs comme l'état de maturité, l'état physiologique, la densité alimentaire ou les conditions environnementales telles que limite entre eaux chaudes et eaux froides, avec certaines isothermes froides préférentielles, les courants ou la topographie (Hubbart *et al.*, 2003).

On peut dire que l'apparition du comportement migratoire a une base partiellement génétique chez beaucoup de poissons d'eau douce, bien qu'il ait été démontré dans de nombreuses études que le signal génétique peut être fortement influencé par les facteurs environnementaux (Lucas et Baras, 2001).

Néanmoins, les stimuli ne sont probablement significatifs que quand le poisson a développé un seuil physiologique tel qu'une maturation gonadale. Ainsi, les gardons remontant la Meuse au niveau de l'échelle de Tailfer sont principalement en phase de vitellogenèse exogène. Ces derniers ne sont pas au stade final de maturation contrairement à ceux migrant vers les annexes fluviales qui sont à un stade plus avancé (Kestemont *et al.*, 1999). Les poissons prêts à se reproduire auraient tendance à réduire leur activité migratoire.

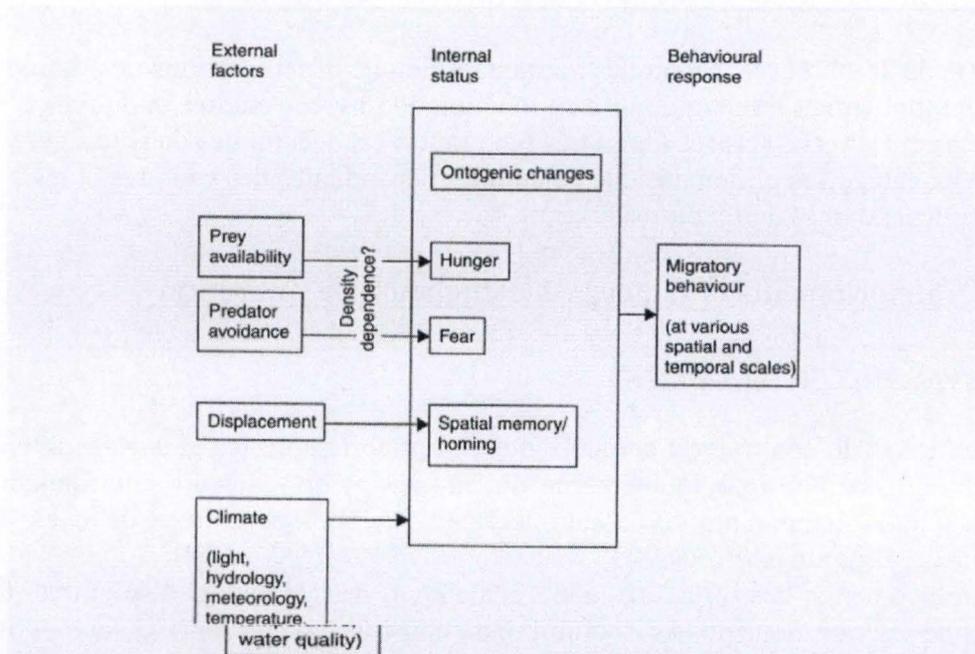


Fig. 4 : Diagramme schématisant la nature et l'influence des facteurs externes et internes qui peuvent stimuler un comportement migratoire. (in Lucas et Baras, 2001).

Les facteurs internes sont également essentiels dans les mécanismes d'initiation des migrations. Iwata (1995) a notamment mis en évidence le rôle des hormones de croissance, du cortisol et des hormones thyroïdiennes sur la smoltification et le comportement de dévalaison des salmonidés migrateurs.

Les stimuli qui poussent à migrer en quête de nourriture concernent, quant à eux, à la fois un facteur gastrique basé sur le volume du contenu intestinal, et un facteur systématique reflétant la balance métabolique. Ceci est bien évidemment à mettre en relation avec la disponibilité de nourriture dans le milieu. Mais peu d'études ont été réalisées sur ce sujet (Lucas et Baras, 2001).

L'évitement des prédateurs est également un facteur important dans la détermination de l'habitat utilisé (L'Abée Lund et Vollestad, 1985). Et bien que les prédateurs puissent être considérés comme des facteurs externes, leur évitement par les proies peut être initié ou influencé par l'expérience et l'apprentissage (Lucas et Baras, 2001).

Pour que la migration reproductive soit réussie, elle doit être initiée au moment opportun et doit se terminer quand le but final est atteint. Donc, en plus des capacités d'orientation, les poissons doivent avoir les réponses appropriées pour commencer et terminer la migration aux moments opportuns par rapport aux contraintes environnementales (McKeown, 1984). Ces mécanismes d'orientation peuvent eux aussi changer au cours des migrations, comme c'est le cas pour le saumon chez qui les courants, le magnétisme et les planètes lui permettent de s'orienter en mer, alors qu'une fois en eau douce, c'est l'olfaction qui va devenir le principal mécanisme d'orientation (McKeown, 1984).

Notons que d'autres comportements peuvent changer, comme pour les smolts de truite de mer, chez qui la migration en eau douce s'effectue avec une nette prédominance nocturne, avec des maxima aux alentours de minuit, et qui vont progressivement changer ce comportement en se rapprochant des estuaires où les déplacements s'effectueront autant de nuit que de jour (Moore *et al.*, 1998).

2.3.2. Rythmes migratoires

Baker (1978) distingue migration individuelle et spécifique. Par exemple certains individus peuvent migrer plus tôt ou plus tard que l'espèce en général. Certains salmonidés peuvent ainsi migrer un an avant ou après les autres (McKeown, 1984).

Le comportement individuel est gouverné par deux forces, premièrement, la tendance à imiter le comportement des poissons présents dans l'entourage avec éventuellement présence de poissons « leaders », et deuxièmement les facteurs externes tels que la température, l'abondance d'aliments ou la prédation (Hubbart *et al.*, 2003).

Notons que le rythme migratoire peut être annuel, mais aussi mensuel ou journalier, comme les migrations verticales circadiennes des jeunes saumons dans les grands lacs (McKeown, 1984). Ce rythme circadien varie en fonction des espèces: le gardon et la perche ont tendance à migrer le jour alors que le barbeau et l'anguille migrent de nuit. Les mouvements du sandre (*Stizostedion lucioperca L.*) sont, quant à eux, maximum à l'aube et au crépuscule (Tans, 2000). Ceci résulte de nouveau de l'interaction de plusieurs paramètres. Par exemple, la migration diurne du gardon est corrélée à l'intensité lumineuse, mais est aussi certainement en relation avec l'évitement du sandre qui est un de ses principaux prédateurs.

L'alternance jour-nuit a une influence directe sur le comportement et la physiologie des poissons, mais cela influe également fortement sur les variations de température, de concentration en oxygène et d'autres variables physico-chimiques qui à leur tour influent sur le comportement des poissons (Lucas et Baras, 2001). L'interaction de tous ces paramètres induit donc une certaine variabilité dans les rythmes migratoires. Par exemple, les anguilles typiquement nocturnes ne bougent pas de leur cache durant la journée, excepté durant les jours très nuageux (Lucas et Baras, 2001).

Le timing précis des migrations varie en fonction de la latitude selon les conditions locales (Lucas et Baras, 2001). Ainsi, les migrations de gardons s'effectuent à des températures allant de 6 à 15°C selon différentes études réalisées (Vollestad et L'Abée Lund, 1987 ; Molls, 1999 ; Lilja *et al.*, 2002).

Lilja *et al.* (2002), ont étudié le comportement migrateur de cyprinidés dans un chenal reliant deux lacs en Finlande. Ils observent que la migration est induite par la différence de température entre les deux lacs, et que l'activité est régulée par les changements de température de l'eau, pour lesquels ils obtiennent un coefficient de corrélation avec le nombre de migrants de 0,40, et le rythme lumineux circadien. Ce dernier serait un facteur essentiel dans la périodicité du rythme de l'activité diurne (Lucas *et al.*, 1999 ; Lilja *et al.*, 2002). Une des raisons influençant cette activité diurne serait l'évitement de la prédation (Lucas et Baras 2001). Il semblerait également que la pression atmosphérique n'ait aucun effet sur le rythme migrateur des cyprins et de la perche (Lilja *et al.*, 2002).

Pour Vollestad et l'Abée Lund (1987), la photopériode est le facteur principal qui synchronise le début des pontes chez le gardon. Par contre, la température est importante pour réguler la durée et l'intensité des pontes.

Dans les lacs norvégiens, la migration commence début mai avec un niveau d'eau moyen ou décroissant, et une température de l'eau allant de 6 à 10 °C. La migration se poursuit jusque fin mai début juin. Les premiers migrants sont généralement plus gros que ceux migrant par la suite. A noter également que les mâles, en règle générale plus petits que les femelles, sont matures plus tôt que celles-ci (Vollestad et l'Abée Lund, 1987). La ponte débute quant à elle à la mi mai, à des températures avoisinant les 10 °C.

Pour ce qui est des migrations de remontée observées en Meuse, elles sont de trois types (Philippart *et al.*, 1998) :

- Migration de reproduction impliquant essentiellement des individus reproducteurs.
- Migration de pré-reproduction, comme c'est notamment le cas chez les truites d'avril à juin. En ce qui concerne les remontées automnales de gardons, il est difficile à dire s'il s'agit de mouvements de pré-reproduction ou de nutrition.
- Migration de dispersion vers l'amont des alevins et juvéniles. Celle-ci s'observe de mai à août chez l'anguille et de juin à septembre chez le gardon.

Les migrations printanières de reproduction des adultes se déroulent généralement en plusieurs vagues associées à des hausses de température après des périodes de plus basses températures. Mais au cours de certaines années où se produit un réchauffement rapide de l'eau au dessus de 14 °C, les remontées s'effectuent en un seul pic (Philippart *et al.*, 1998).

En Meuse liégeoise, ces dernières s'effectuent début mars à une température de l'eau de 10-12 °C chez le gardon, mi-avril à 13-14 °C chez le chevaine et fin avril début mai à 15-16 °C chez l'anguille (Philippart *et al.*, 1998).

Il a également été observé, à Tailfer, que les déplacements de jeunes chevaines s'effectuaient avec les gardons, et que, plus globalement, les poissons pas encore matures migrent plus tôt (Prignon *et al.*, 1998).

2.3.3. Homing

Le homing reproducteur implique la fidélité de géniteurs aux mêmes sites de fraie plusieurs années d'affilée (Baras, 1992). Cette sélection de zones de fraies où les poissons sont nés s'expliquerait par la reconnaissance de composés chimiques présents dans l'eau, et plus particulièrement de la combinaison de ses éléments chimiques (Smith, 1991).

Il a déjà été démontré que les migrations de cyprins peuvent avoir lieu sur de longues distances, et la précision du homing est élevée (Smith, 1991). L'Abée Lund et Vollestad (1985) ont enregistré, pour le gardon, une précision de retour de 83,5 à 92,0 % selon les années. Ces valeurs sont semblables à celles observées pour d'autres migrateurs printaniers, mais plus faibles que pour les bons nageurs, comme la truite, où la précision avoisine 100 %.

Le phénomène de homing peut être compris comme une méthode pour maximiser le succès reproductif par sélection naturelle, en synchronisant le retour à l'aire de ponte, quand les conditions sont optimales pour les premiers stades de développement (L'Abée Lund et Vollestad, 1985). Le succès reproductif est cependant probablement plus affecté par le timing que par la précision du homing (L'Abée Lund et Vollestad, 1985).

Remarquons également que cette tendance au homing ne s'applique pas qu'au site de ponte, mais également aux zones d'alimentations (L'Abée Lund et Vollestad, 1986).

En ce qui concerne les habitats utilisés par les poissons pour se reproduire, on peut noter que généralement les rhéophiles ont tendance à se déplacer vers les annexes lotiques, les eurytopes et les limnophiles à se déplacer vers les annexes fluviales à caractère semi-lentique et lentique (Tans, 2000). Les zones qui seront colonisées par les migrateurs sont donc différentes selon leurs préférences écologiques.

Généralement, les espèces phytophiles et phytolithophiles ont tendance à se déplacer sur des distances beaucoup plus courtes que les espèces lithophiles (Waidbacher et Haidvogel, 1998), mais ce n'est pas toujours le cas (Tans, 2000).

Notons qu'au sujet des migrateurs diadromes, il est possible d'étudier leurs comportements migratoires et les habitats utilisés en analysant le rapport entre la concentration en strontium et en calcium contenus dans les otolithes. Le taux de croissance, donc de fixation du strontium et du calcium, est positivement corrélé à la température (Secor *et al.*, 1995 ; Gemperline *et al.*, 2002).

2.4. Problématique des remontées

Les obstacles sont considérés comme une des principales causes de la perte de diversité de poissons et de la disparition d'espèces rhéophiles dans les rivières (Lucas *et al.*, 1999). Ils peuvent également perturber la voie migratoire naturelle des poissons et retarder la reproduction (Prignon *et al.*, 1998). Ces obstacles, parmi lesquels on recense les chutes, les radiers, les barrages, et les centrales hydroélectriques, sont aussi bien naturels qu'artificiels (Gowans *et al.*, 2003).

Les centrales hydroélectriques présentent un obstacle particulier, en ce sens que certains poissons, comme cela a été observé chez le saumon atlantique par Gowans *et al.* (1998), ne trouvent pas l'entrée de l'échelle, et se retrouvent dans les tubes de sortie des turbines, attirés par le débit. Il semble que ces derniers ne franchiront jamais l'échelle et se laisseront dévaler par la suite. Une solution consiste à placer des grilles à la sortie des turbines

pour en bloquer l'entrée, ainsi qu'à installer des dérives pour augmenter le débit d'attrait à la sortie de l'échelle (Gowans *et al.*, 1998), comme cela a également été le cas sur la Meuse au barrage de Visé-Lixhe (Philippart *et al.*, 2000).

Le comportement des poissons devant les barrages, principalement chez les salmonidés (Gowans *et al.*, 1998, 2003, Philippart *et al.*, 2000-2002), mais aussi au sujet d'autres rhéophiles comme le barbeau ou le chevaine (Baras *et al.*, 1996 ; Philippart *et al.*, 1998-2001), a déjà été étudié à plusieurs reprises, principalement grâce à des suivis par radiopistage. Les poissons se présentant devant un tel obstacle restent bloqués à ce stade durant une période variable pouvant durer plusieurs semaines. Il semble également que les individus qui arrivent en premier attendent plus longtemps avant de franchir l'obstacle que ceux arrivant plus tard (Gowans *et al.*, 1998). Ce délai d'attente peut s'expliquer soit par une période de repos durant la migration, soit comme un échec au franchissement de l'obstacle (Gowans *et al.*, 1998, 2003).

Gowans (1998) distingue trois types de comportement chez le saumon atlantique devant un barrage :

- les poissons faisant une seule visite près du barrage suivie d'un succès dans l'ascension de l'échelle ;
- les poissons effectuant deux ou plusieurs visites espacées d'un intervalle < 24 h avant de franchir l'obstacle avec succès ;
- les poissons effectuant deux ou plusieurs visites espacées d'un intervalle > 24 h avant de franchir l'obstacle avec succès ;

A cela, on peut ajouter un quatrième type de comportement, à savoir les poissons qui ne trouvent pas l'entrée de la passe et qui, si il n'y a pas de zone de fraie disponible, dévalent et arrêtent leur comportement migratoire (Philippart *et al.*, 2000 ; Gowans *et al.*, 2003).

Durant l'étude de Gowans (1998), seulement 38 % des tentatives d'approche de l'entrée de l'échelle se sont conclues par une entrée et un franchissement de la passe. Il y a deux raisons possibles à cela, soit une répulsion par des débits trop élevés ou bien un temps d'acclimatation aux turbulences nécessaire au poisson avant de franchir l'obstacle.

Si les poissons rhéophiles à forte impulsion migratrice comme la truite et le barbeau trouvent aisément l'entrée de l'échelle (Philippart *et al.*, 2000), il n'en est pas toujours de même chez les moins bons nageurs. De plus, le franchissement de tels obstacles représentent une grande dépense énergétique. Il est donc très important de construire des passes migratoires qui soient le plus facilement franchissables par les poissons (Gowans *et al.*, 2003).

Depuis quelques années, des efforts importants ont également été mis en œuvre pour construire des échelles plus appropriées pour les poissons moins bons nageurs que les salmonidés (Lucas *et al.*, 1999).

Au niveau des barrages sur les rivières navigables, les écluses jouent un rôle déterminant dans la migration de remontée des poissons, comme c'est le cas pour les anguilles jaunes ainsi que pour d'autres espèces, dont notamment le chevaine. Par exemple, les résultats du dénombrement par marquage-recapture d'anguilles jaunes ou de chevaines en migration dans la Meuse, à Ampsin-Neuville, permettent de suggérer qu'une petite fraction de la population migrante utilise la passe à poissons et que la plus grande part de la population passe par les écluses (Baras *et al.*, 1996 ; Philippart *et al.*, 1998, 2002).

Il est intéressant de noter que les barrages ne sont pas qu'un obstacle aux déplacements de poissons, mais aussi à la propagation d'autres organismes. Ceci est par

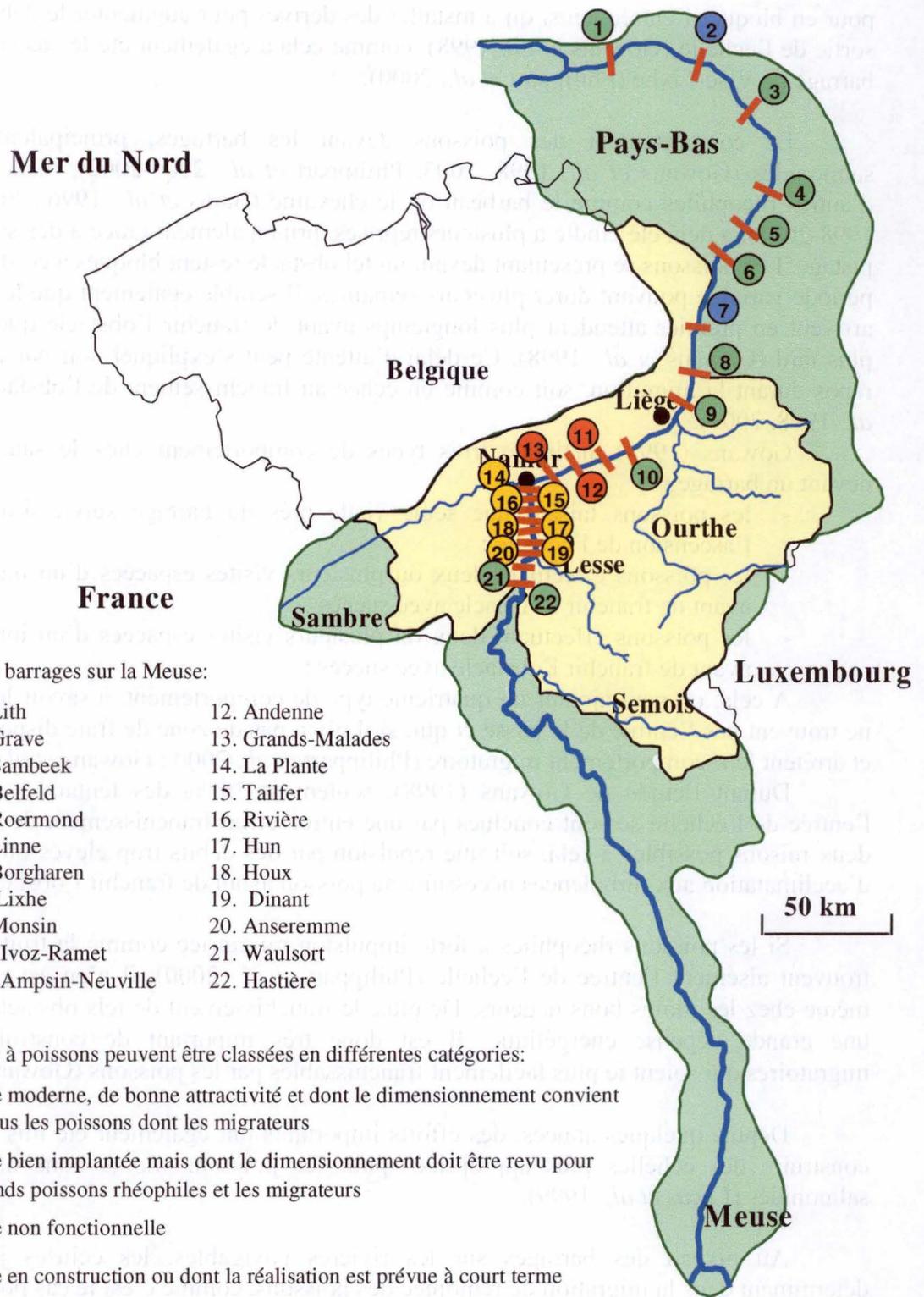


Fig. 5 : Représentation du bassin versant de la Meuse ainsi que de la localisation des 22 barrages belgo-hollandais.

(De Projet Meuse Saumon 2000, « La réintroduction du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse : Synthèse et résultats », 22p., 2006)

exemple le cas pour deux espèces de moule d'eau douce d'Amérique du Nord (*Leptodea fragilis* R. et *Potamilus alatus* S.), qui nécessitent la présence d'un hôte à un certain stade de développement de leur cycle de vie. Si cet hôte ne sait pas franchir l'édifice, et qu'il est absent du cours d'eau au delà du barrage, la moule ne pourra pas se développer au delà non plus (Thomas Watters, 1995).

En Meuse, de très nombreux aménagements ont été réalisés depuis les 150 dernières années. Il s'agit essentiellement de canalisation du cours d'eau, dans une optique principalement commerciale, et d'édification de ponts et de barrages. Au sujet de ces derniers, on en dénombre 22 sur le parcours belgo-hollandais dont 15 dans nos frontières (fig.5). Six des barrages belges mesurant de 4 à 6 mètres de haut, sont localisés en aval de Namur et sont équipés de centrales hydroélectriques (Prignon *et al.*, 1998).

2.5. Description des espèces étudiées

Durant cette étude, nous allons nous focaliser sur sept espèces présentes dans le bassin mosan, le gardon qui représente la biomasse la plus importante parmi les poissons mosans, la brème commune qui représente également une biomasse très importante en Meuse, la brème bordelière, l'ablette commune, le goujon, le chevaine car celui-ci est le poisson rhéophile le plus abondant en Meuse, et l'anguille européenne qui a été choisie dans une optique de contrôle des stocks qui semblent diminuer de façon drastique.

Gardon (*Rutilus rutilus* L.) :



Gardon : <http://www.fishbase.org/Photos/PicturesSummary.cfm?StartRow=3&ID=272&what=species>

Ce cyprinidé ubiquiste peut vivre indifféremment en eau courante ou stagnante et pond ses œufs (entre 20 et 100.000 œufs par femelle) sur une grande variété de supports minéraux (gravier, sable) ou végétaux (Spillmann, 1961 ; Philippart, 1998). La maturité sexuelle est atteinte en moyenne à l'âge de 3 ans, et la durée de vie peut être assez longue. Un poisson de 19 ans a été recensé, et des mâles de 13 ans et des femelles de 17 ans constituent l'âge maximum observé en Norvège (Vollestad et L'Abée Lund, 1987).

Sa physionomie est caractérisée par un corps fusiforme, plus ou moins allongé et comprimé latéralement (en moyenne 15-30 cm et 0,2 à 0,5 kg), des nageoires orange, dont les pelviennes situées à l'aplomb de la dorsale et une bouche terminale relativement petite et sans barbillon (Spillmann, 1961).

Le gardon est omnivore, mais la macrovégétation, principalement des algues et détritiques, constitue la majeure partie de son alimentation et peut représenter 70 % du total ingéré (L'Abée Lund et Vollestad, 1986).

Brème commune (*Abramis brama* L.) :



Brème commune :
<http://www.fishbase.org/Photos/PicturesSummary.cfm?StartRow=4&ID=268&what=species>

Cyprinidé se retrouvant en eaux calmes sur substrat limoneux et légèrement envasé, dans les zones inférieures des cours d'eau (zones larges à courant faible), les lacs et étangs ayant une végétation bien développée. Elle vit généralement dans le fond le jour et près de la surface la nuit.

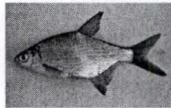
2. Synthèse bibliographique

La reproduction a lieu à la fin du printemps (mai-juin) dans une eau à environ 18 °C. La ponte s'effectue parmi la végétation aquatique ou même parmi les galets. La femelle pond de 20000 à 60000 oeufs dont le développement dure 5-7 jours. Les alevins restent collés aux végétaux les premiers jours (Spillmann, 1961; Muus, B.J. et Dahlström, 1968).

Le corps de l'adulte est bossu et comprimé latéralement. La nageoire caudale est bien développée avec le bord postérieur échancré. Son dos est vert bronze ou brun verdâtre, les flancs sont gris avec des reflets bleutés, le ventre est blanc et les nageoires sont grises. La nageoire anale possède 27-28 rayons, et on dénombre 50-58 écailles le long de la ligne latérale. La longueur moyenne est de 30 à 40 cm (jusqu'à 70 cm) pour un poids moyen de 300-500 g (max. 6 kg).

La brème se nourrit de petits mollusques, vers et larves d'insectes vivant dans la vase. Elle mange également des débris végétaux. Les alevins se nourrissent de zooplancton (Spillmann, 1961; Muus, B.J. et Dahlström, 1968).

Brème bordelière (*Blicca bjoerkna* L.) :



Brème bordelière :

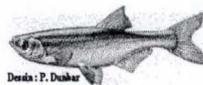
<http://www.fishbase.org/Photos/PicturesSummary.cfm?StartRow=1&ID=4471&what=species>

La brème bordelière partage les mêmes caractéristiques écologiques que la brème commune, et vit en groupe souvent important. La fraie se déroule en mai-juin, en eau peu profonde. La femelle pond de 20000 à 60000 oeufs dans la végétation aquatique. Le développement s'effectue en 4-6 jours (Spillmann, 1961; Muus, B.J. et Dahlström, 1968).

Elle possède un corps haut et comprimé latéralement. Le diamètre de l'œil est plus grand ou aussi long que la longueur du museau. La nageoire dorsale est très haute et pointue, la caudale est échancrée et la nageoire anale est assez longue et possède 22 à 26 rayons. On dénombre 43-55 écailles le long de la ligne latérale. La coloration générale est vert bronze brillant avec des flancs plus gris, et un ventre blanc. La longueur totale moyenne est de 20 à 30 cm pour un poids moyen de 200 g.

Elle se nourrit également de larves d'insectes, mollusques, petits crustacés, et débris végétaux (Spillmann, 1961; Muus, B.J. et Dahlström, 1968).

Ablette commune (*Alburnus alburnus* L.) :



Ablette commune :

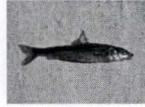
http://mrw.wallonie.be/dgrne/sibw/especes/ecologie/poissons/images/alburnus_alburnus

L'ablette se retrouve en eaux claires et bien oxygénées, à cours lent ou stagnant. Elle vit en groupe très dense près de la surface. Elle fraie d'avril à juin en eau peu profonde sur les graviers et les végétaux, à proximité des rives. La femelle pond environ 1000 à 2000 œufs (Muus, B.J. et Dahlström, 1968).

Elle possède un corps fin comprimé latéralement. La base de la nageoire anale est plus longue que celle de la nageoire dorsale. La nageoire caudale à un bord postérieur très échancré. La ligne latérale compte de 48 à 55 écailles. Le dos est gris-bleu, les flancs sont argentés et traversés par une bande longitudinale verdâtre et le ventre est argenté. Longueur totale moyenne est de 12 à 20 cm pour un poids de 20-50 g (Spillmann, 1961).

Elle se nourrit de petits mollusques, vers, crustacés, larves d'insectes et débris végétaux. Elle capture également de petits insectes adultes à la surface de l'eau (Spillmann, 1961; Muus, B.J. et Dahlström, 1968).

Goujon (*Gobio gobio* L.) :



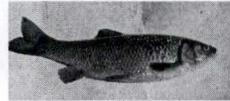
Goujon : photo prise à Tailfer durant notre étude

Ce petit cyprin vit préférentiellement dans les eaux claires et fraîches des cours d'eau rapides sur substrat limoneux ou sableux. Il fréquente également les eaux calmes et riches en matières organiques, y compris certains lacs. Il évite cependant les eaux trop froides. La ponte s'effectue de mai à juin parmi les pierres et la végétation aquatique. Chaque femelle pond de 1000 à 3000 œufs dont le développement dure deux à trois semaines (Spillmann, 1961 ; Muus, B.J. et Dahlström, 1968).

Son corps est allongé et de section presque circulaire. La longueur moyenne est de 10-12 cm (max. : 25 cm) pour un poids de 20-30 g (max. 150 g). La bouche est pourvue de deux barbillons. Le dos est brun foncé, légèrement marron sur les côtés, avec des flancs brun jaunâtre à reflet dorés ou argentés, traversés par une ligne longitudinale brune marquée de taches en forme de losange dans la partie postérieure. Les nageoires anale dorsale et caudale sont tachetées de noir (Spillmann, 1961).

Il se nourrit exclusivement de petits invertébrés aquatiques qu'il repère à l'aide de ses barbillons en fouillant la vase.

Chevaine (*Leuciscus cephalus* L.) :



Chevaine : photo prise à Tailfer durant notre étude

Cette espèce est aussi un cyprin, et il recherche des eaux rapides et dépose ses œufs (environ 57 000 par kg de femelle) sur, ou dans les fonds de graviers (Philippart, 1998). La maturité sexuelle est atteinte à l'âge de 2 ans et plus pour les mâles et à partir de 3 ans pour les femelles.

Sa physionomie est caractérisée par une bouche subterminale, une tête massive, des nageoires dorsale et anale convexes, ainsi que des nageoires pelviennes et anale jaune ou rougeâtre. La taille commune est de 30 à 45 cm pour un poids de 500 g à 1 kg.

Le chevaine est omnivore et se nourrit aussi bien d'insectes que de fruits ou de végétaux (Spillmann, 1961).

Anguille européenne (*Anguilla anguilla* L.) :



Anguille européenne :

<http://www.fishbase.org/Photos/PicturesSummary.cfm?StartRow=4&ID=35&what=species>

L'anguille se nourrit principalement la nuit, de petits poissons, larves d'insectes, vers, etc.. Sa physionomie est caractérisée par un corps allongé, sans nageoire pelvienne ainsi que des nageoires dorsale, anale et caudale fusionnées (Spillmann, 1961).

Elle se reproduit en Mer des Sargasses, tout comme l'anguille américaine (*Anguilla rostra*), à une profondeur de 400 à 700 mètres dans des eaux bien plus profondes encore (Spillmann, 1961 ; McKeown, 1984 ; Lucas et Baras, 2001). Ses œufs sont pélagiques et donneront des larves leptocéphales qui vont dériver avec les courants marins durant 1 à 3 ans selon l'espèce et les conditions météorologiques (McKeown, 1984). Les larves atteignent ensuite les estuaires en hiver, et vont remonter les rivières durant le printemps et l'été, sous forme d'anguilles « jaunes », où elles acquièrent leur pigmentation (Lucas et Baras, 2001). L'anguille passe la majeure partie de sa vie en eau douce, bien que certains individus peuvent rester quelques années (Harden Jones, 1970), voire toute leur vie, en mer (Tsukamoto *et al.*, 1998), principalement en mer Baltique. Il est admis qu'au-delà de 40 cm, l'anguille adopte généralement un mode de vie sédentaire (Lucas et Baras, 2001), excepté lors de conditions

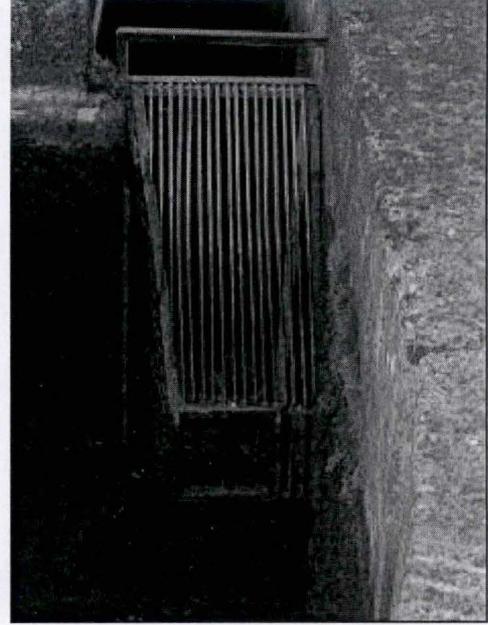
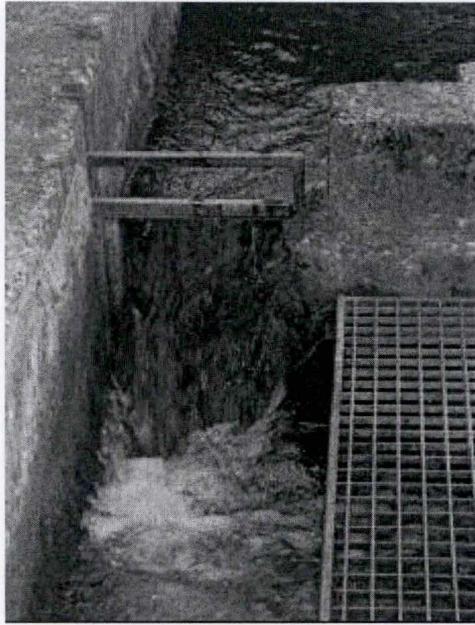


Photo 1 : vue du cône d'entrée, de l'amont lors de la vidange de l'échelle (à gauche), et de l'aval en fonctionnement normal.

particulières, et peut ainsi vivre de nombreuses années avant la migration de retour (McKeown, 1984 ; Lucas et Baras, 2001). Un individu aurait atteint l'âge de 88 ans en captivité (McKeown, 1984).

2.6. Historique des données

Cette partie est consacrée à la synthèse des données existantes en ce qui concerne le gardon, la brème commune, la brème bordelière, l'ablette commune, le chevine, le goujon et l'anguille européenne pour Tailfer et pour Lixhe. Les données ont été récoltées dans le cadre du projet « Meuse saumon 2000 » (Convention d'études pour le suivi scientifique de la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse). Cette étude est conjointement réalisée par les Facultés universitaires Notre-Dame de la Paix de Namur (Unité de Recherche en Biologie des Organismes), l'Université de Liège (Laboratoire de Démographie des Poissons et d'Hydroécologie, Service d'Ethologie), ainsi que le Service de la Pêche de la Région Wallonne (Division de la Nature et des Forêts, Direction générale des Ressources Naturelles).

2.6.1. Tailfer

En ce qui concerne Tailfer, la période de contrôle s'étend de 1989 à 1998. Les captures d'anguille sont assez ponctuelles, mais cela ne veut pas dire que les anguilles n'utilisent pas cette passe. Au contraire, le fait d'obtenir quelques captures ponctuelles montre bien que cette voie de migration est utilisée. De plus, lors d'enregistrements vidéos le passage de nombreuses anguilles a effectivement été répertorié. Simplement, le système de piégeage n'était pas adapté à la capture des anguilles ayant une physionomie filiforme et pouvant donc passer entre les grilles du système.

La partie amont de l'échelle était initialement fermée par une grille métallique dont les ouvertures font 1,6 x 1,7 cm. Cette dernière sera remplacée en 1992 par une grille à barreaux amovibles espacés de 1 cm. Dans la première échancrure est disposé un tronc de pyramide à base rectangulaire, qui fait office de cône d'entrée. La base fait 75 x 35 cm tandis que la sortie fait 15 x 15 cm. Les côtés sont fermés par une grille. Ce système doit empêcher les poissons de redescendre une fois entrés dans le piège (Micha *et al.*, 1990, 1993) (photo 1).

1989 : Le contrôle s'est déroulé en deux étapes : 8 vidanges régulières jusque fin avril et piégeage continu à partir du 3 mai, avec interruption du 16 septembre au 3 octobre pour cause de chômage technique de la Meuse.

Lors des 8 vidanges, 240 gardons, 1 brème bordelière, 2 goujons et 1 chevine ont été recensés.

Lors du piégeage en continu (4445 h), 20618 gardons (87,5 % des captures¹), 321 brèmes communes (1,3%), 793 brèmes bordelières (3,4%), 140-200*10³ ablettes, 349 chevaines (1,7 %), 27 goujons (0,1%) et 173 anguilles ont été capturés (Micha *et al.*, 1990).

1990 : Le contrôle a débuté le 8 janvier, et a été interrompu du 20 janvier au 14 mars durant la période de crue durant laquelle l'échelle n'est plus alimentée suite à la baisse du niveau amont des eaux. Des travaux d'approfondissement de la goulotte d'adduction et de la passe à anguille, ainsi que la suppression du premier bassin, ont également été entrepris. Ceci a permis d'augmenter le débit dans l'échelle, donc d'en augmenter l'attractivité. Ces travaux

¹ Ablettes non comprises

ont été effectués entre le 25 et le 30 mars et du 14 au 30 mai, soit en pleine période de migration. Le piégeage a été interrompu le 21 juillet et a repris en continu du 4 septembre au 10 décembre, soit 2212,5 heures de piégeage.

Au total, 20956 gardons (89,1 % des captures), 27 brèmes bordelières (< 1 %), 23 brèmes communes (< 1 %), 84 chevaines (< 1 %), 16 goujons (< 1 %) et 1106 anguilles (4,7 %) ont été recensés (Micha *et al.*, 1991).

1991 : Le piégeage a été continu du 25 février au 20 décembre, excepté du 21 au 30 mars pour cause de crues (5679 h de piégeage).

Au total, 17752 gardons (88,4 % des captures), 114 brèmes bordelières, 203 brèmes communes (1 %), 389 chevaines (1,9 %), 12 goujons et 266 anguilles (1,3 %) ont été capturés (Micha *et al.*, 1992).

1992 : Début du piégeage fin mars avec relevés biquotidiens (8 h et 17 h) jusqu'en juin. Interruption du 20 septembre au 8 octobre (chômage technique) et du 23 novembre au 1 décembre (travaux) (3747 h de piégeage).

Certains jours, un barreau sur deux a été enlevé et une camera a été placée pour étudier plus précisément les rythmes migratoires. L'inventaire des captures sera donc sous-estimé car il ne tient pas compte des poissons ayant emprunté l'échelle les jours où la caméra était placée.

Au total, 36983 gardons (82,6 % des captures), 5265 brèmes bordelières (11,8 %), 101 brèmes communes, 551 chevaines (1,2 %), 165 goujons et 94 anguilles ont été capturés (Micha *et al.*, 1993).

1993 : Contrôle continu de début mars à fin novembre avec relevés biquotidiens jusque fin juin. Tout comme en 1992 une caméra a été placée environ une fois par semaine en avril et en mai, ce qui entraîne une sous-estimation des données.

Au total, 7854 gardons (73,1 % des captures), 298 brèmes bordelières (2,8 %), 230 brèmes communes (2,1 %), 1735 chevesnes (16,1 %), 44 goujons et 21 anguilles ont été capturés (Micha *et al.*, 1994).

1994 : Les contrôles ont débuté le 1^{er} mars avec relevés biquotidiens jusque fin juin, excepté du 16 au 26 mars et du 2 au 15 avril pour cause de crues, et enregistrements vidéo en avril et mai.

Au total 34344 gardons (94,3 % des captures), 356 brèmes bordelières (1 %), 425 brèmes communes (1,2 %), 977 chevaines (2,7 %), 48 goujons et 13 anguilles ont été capturés (Prignon *et al.*, 1995).

De 1995 à 1998 les données (Gillet, *communication personnelle*) ne sont plus vraiment représentatives des biomasses empruntant réellement l'échelle suite à la mise en place du système d'enregistrement vidéo réalisé régulièrement durant les périodes migratoires printanières ainsi qu'à l'enlèvement fréquent d'un barreau sur deux de la grille amont durant l'année. Les valeurs qui vont suivre ne concernent donc que des individus de grande taille retenus dans le piège, ce qui explique les faibles valeurs en ce qui concerne les gardons et les anguilles principalement.

1995 : Contrôles du 22 avril au 28 juillet et du 15 octobre au 31 décembre (2965,5 h de piégeage).

2. Synthèse bibliographique

Au total, 1039 gardons (35,6% des captures), 273 brèmes communes, 395 brèmes bordelières, 1003 chevaines (34,4%) (un seul de taille < 28 cm), 39 goujons et 3 anguilles ont été capturés (*Gillet communication personnelle*).

1996 : Contrôles du 3 janvier au 17 juillet (3245 h). Au total, 1157 gardons, 443 brèmes communes, 17 brèmes bordelière, 1185 chevaines (7 de taille < 28 cm), 1 goujon et 0 anguille (ce qui ne veut pas dire qu'il n'y en a pas qui sont passées), ont été capturés (*Gillet communication personnelle*).

1997 : Contrôles du 11 mars au 13 juillet et du 22 septembre au 31 décembre (5030h). Au total, 1191 gardons, 123 brèmes communes, 87 brèmes bordelières, 472 chevaines (172 de taille < 28 cm), 3 goujons et 1 anguille ont été capturés (*Gillet communication personnelle*).

1998 : Contrôles du 2 février au 26 octobre avec interruption du 9 au 13 mars et du 3 au 22 avril pour cause de crues et du 26 septembre au 19 octobre pour chômage technique de la Meuse (5373h).

Au total, 5012 gardons, 158 brèmes communes, 193 brèmes bordelières, 644 chevaines (197 de taille < 28 cm), 38 goujons et 0 anguille ont été capturés (*Gillet communication personnelle*).

L'ensemble des captures globales recensées durant la période de suivi est rapporté au Tableau 1.

Tableau 1 : *Captures de gardons, brèmes, chevaines, goujons et anguilles réalisées à l'échelle de Tailfer de 1989 à 1998.*

| | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 |
|------------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|
| Gardon | 20618 | 20956 | 17755 | 36983 | 7856 | 34344 | 1039 | 1157 | 1191 | 5012 |
| Brème commune | 321 | 23 | 203 | 101 | 230 | 425 | 273 | 443 | 123 | 158 |
| Brème bordelière | 793 | 27 | 114 | 5265 | 298 | 356 | 395 | 17 | 87 | 193 |
| Chevaine | 349 | 84 | 389 | 551 | 1735 | 977 | 1003 | 1185 | 472 | 644 |
| Goujon | 27 | 16 | 12 | 148 | 44 | 48 | 39 | 1 | 3 | 38 |
| Anguille | 173 | 1106 | 266 | 94 | 21 | 13 | 3 | 0 | 1 | 0 |

2.6.2. Lixhe

A Lixhe, le barrage est équipé de deux passes migratoires. Les installations sont soumises à un contrôle régulier depuis 1990 en ce qui concerne l'ancienne échelle (Lixhe1), et 1999 pour la nouvelle passe migratoire (Lixhe2), mise en service en octobre 1998.

Les résultats globaux des captures effectuées à Lixhe de 1990 à 2005 (pas de contrôle en 91 et 94 et contrôle partiel en 96) sont rapportés dans les tableaux 2 et 3:

Tableau 2 : *Résultats des captures de gardons, brèmes, ablettes, chevaines, goujons et anguilles à l'ancienne passe migratoire de Lixhe de 1990 à 2005 (Philippart et al., 2005).*

| Espèce | 1990 | 1992 | 1993 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 |
|--------------|------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| Gardon | 2586 | 28849 | 9712 | 10474 | 5115 | 2856 | 39320 | 30406 | 38138 | 79413 | 2491 | 9397 | 5364 | 25807 |
| Brème comm. | 116 | 1571 | 667 | 1183 | 83 | 1796 | 1385 | 359 | 332 | 510 | 755 | 778 | 134 | 867 |
| Brème bord. | 106 | 138 | 6 | 81 | 0 | 71 | 265 | 1150 | 56 | 66 | 11 | 27 | 6 | 61 |
| Ablète comm. | 750 | 7332 | 10863 | 2294 | 483 | 8163 | 31169 | 19737 | 11242 | 20889 | 31668 | 1593 | 5087 | 10620 |
| Chevaine | 141 | 83 | 72 | 225 | 15 | 17 | 17 | 31 | 116 | 273 | 23 | 3 | 5 | 7 |
| Goujon | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 36 | 19 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Anguille | +++ | 5613 | 506 | 4240 | 1032 | 2706 | 3061 | 4664 | 3365 | 2915 | 1790 | 1848 | 423 | 758 |

1990: du 08/03 au 26/06 ; 1992: du 24/01 au 21/12 ; 1993: du 04/01 au 22/07 ; 1995: du 13/02 au 07/08 ; 1996: du 01/01 au 15/04 puis du 26/06 au 13/11

De 1997 à 2005 : contrôles continus toute l'année.

Tableau 3 : Résultats des captures de gardons, brèmes, ablettes, chevaines, goujons et anguilles à la nouvelle passe migratoire de Lixhe de 1999 à 2005 (Philippart et al., 2005).

| | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 |
|---------------|---------|---------|------|----------|------|-------|------|
| Gardon | 1740 | 43 | 113 | 135 | 105 | 152 | 312 |
| Brème comm. | 1281 | 732 | 807 | 868 | 1770 | 1001 | 2140 |
| Brème bord. | 224 | 103 | 162 | 28 | 53 | 40 | 330 |
| Ablette comm. | 1111 | p | P | p | p | p | p |
| Chevaine | 54 | 60 | 28 | 23 | 41 | 23 | 81 |
| Goujon | 2 | 2 | 10 | p | 1 | P (3) | p |
| Anguille | p (651) | p (870) | P | p (1010) | p | p | 85 |

En 1999, un treillis à mailles de 2 cm est placé autour du piège pour retenir les ablettes communes et les gardons. Le signe p se rapporte à des poissons capturés exclusivement dans les bassins mis à sec et dans des nasses de captures placées dans les bassins de repos.

Les faibles valeurs observées à la nouvelle passe migratoire pendant la période allant de 1999 à 2005 s'expliquent de deux manières. Premièrement, le système de piégeage situé à l'amont de la passe est conçu de telle manière qu'il ne retient pas les individus filiformes (anguilles) ou de petite taille (ablettes, jeunes gardons, goujons), excepté lorsqu'un treillis à mailles plus faible est placé devant la grille, mais ceci diminue l'attractivité de l'échelle notamment suite au colmatage du treillis par les débris. Une seconde explication serait que, vu que la passe a été conçue plus spécifiquement pour les grands migrateurs, elle engendrerait plus de turbulences qui deviendraient répulsives pour les individus de petite taille. Par contre, la bonne attractivité de cette nouvelle passe peut être mise en évidence grâce à la plus grande présence de chevaines, bons nageurs rhéophiles, dans la nouvelle passe de 2002 à 2005 (Philippart *et al.*, 2005).

2.6.3. Tendances

L'ensemble des résultats observés permet d'une part de caractériser les populations migrantes au niveau des structures par tailles, et d'autre part de définir le rythme migratoire au niveau de la périodicité annuelle, saisonnière et journalière. Ne seront essentiellement présentés pour Tailfer que les tendances au sujet du gardon, de la brème bordelière et du chevaine, car seules ces trois espèces parmi les sept choisies ont fait l'objet d'une présentation détaillée et d'une publication.

- Structure par taille des populations migrantes :

A Tailfer, les distributions de fréquences de tailles sont calculées sur la période allant de 1990 à 1994 car en 1989 les contrôles ont débuté en mai et les résultats ne sont donc pas représentatifs de l'ensemble des populations empruntant l'échelle durant une année. A partir de 1995 les données disponibles ne reprennent plus le détail des tailles de captures.

- Pour le gardon, hors juvéniles, on observe une distribution unimodale avec un mode centré sur 17,0 cm (moyenne 16,7 cm ; ET 2,8 cm ; tailles de 10 à 35 cm ; N = 5434) (Fig.6) (Prignon *et al.*, 1998). Cette distribution reste assez constante d'année en année.
- La brème bordelière présente, pour sa part, un mode centré sur 18,0 cm (moyenne 19,8 ; ET 4,1 cm ; tailles de 10 à 34 cm ; N = 448) (Prignon *et al.*, 1998).
- Pour le chevaine, hors juvéniles, l'histogramme de fréquence des longueurs est plus étendu, avec deux modes peu distincts centrés sur 29-30 et 33-34 cm pour

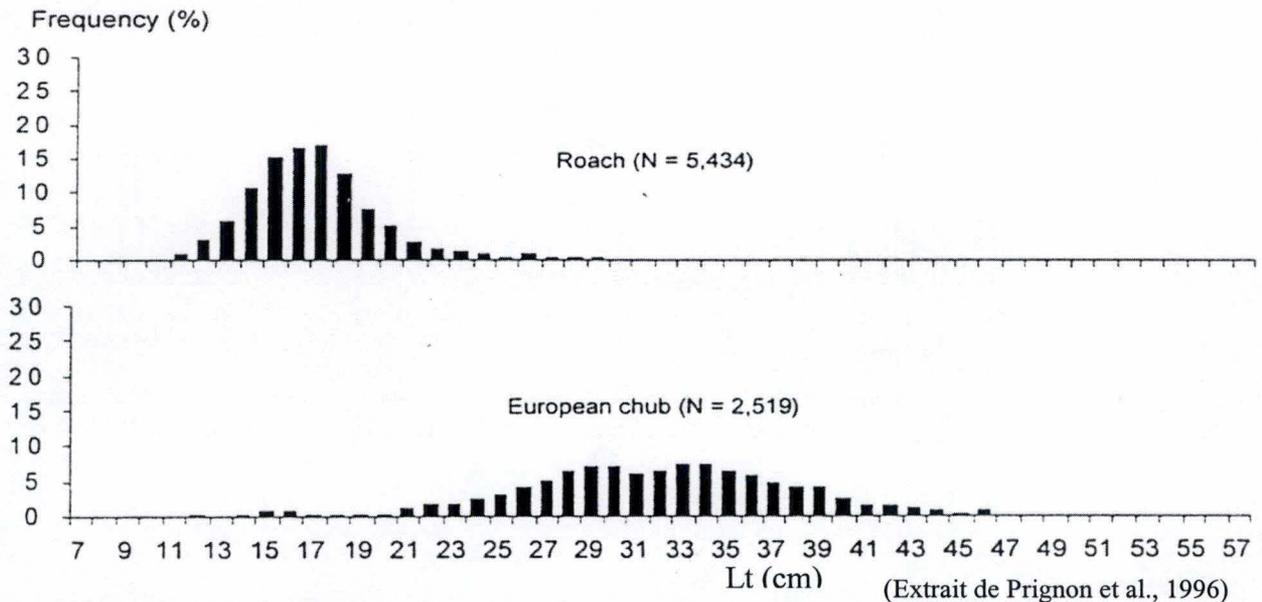


Fig. 6 : Distribution des fréquences de longueurs totale du gardon et du chevaine à l'échelle de Tailfer de 1990 à 1994

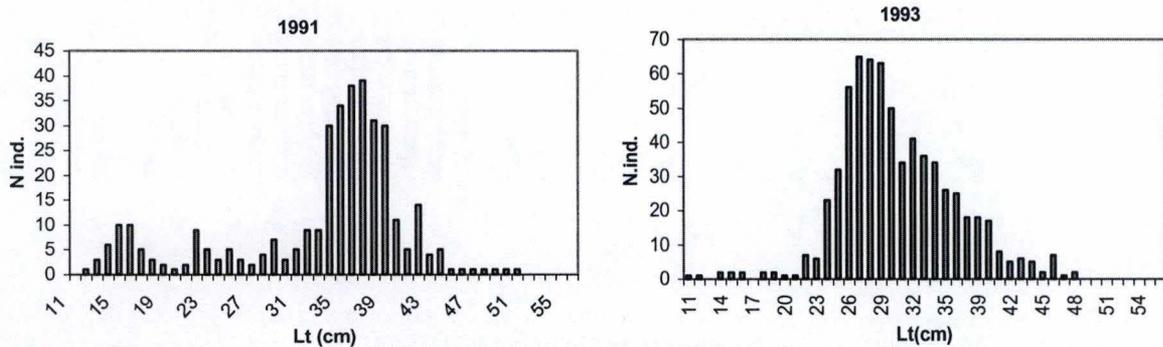


Fig. 7 : Comparaison des distributions de fréquences de longueurs totales enregistrées à Tailfer pour le chevaine en 1991 et 1993 (d'après les données de Gillet communication personnelle).

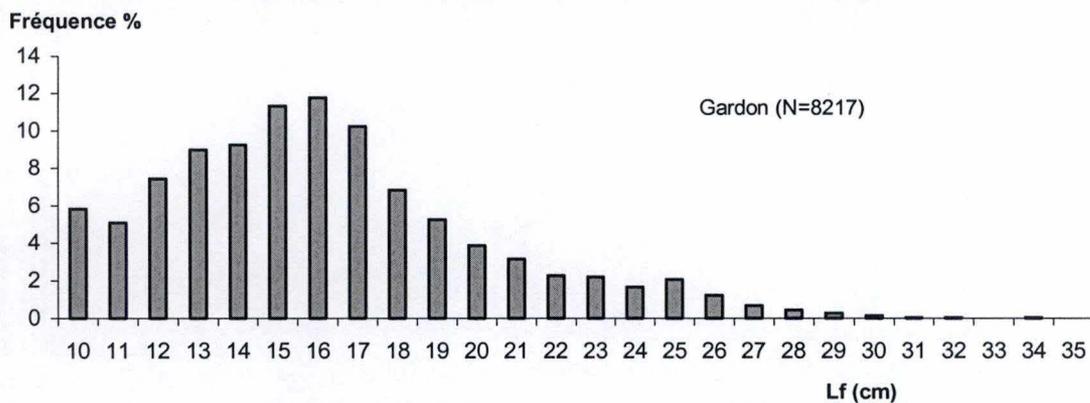


Fig. 8 : Distribution des fréquences de longueurs à la fourche des gardons à l'échelle de Lixhe de 1999 à 2005 (d'après les données de Philippart et al., 1999-2005)

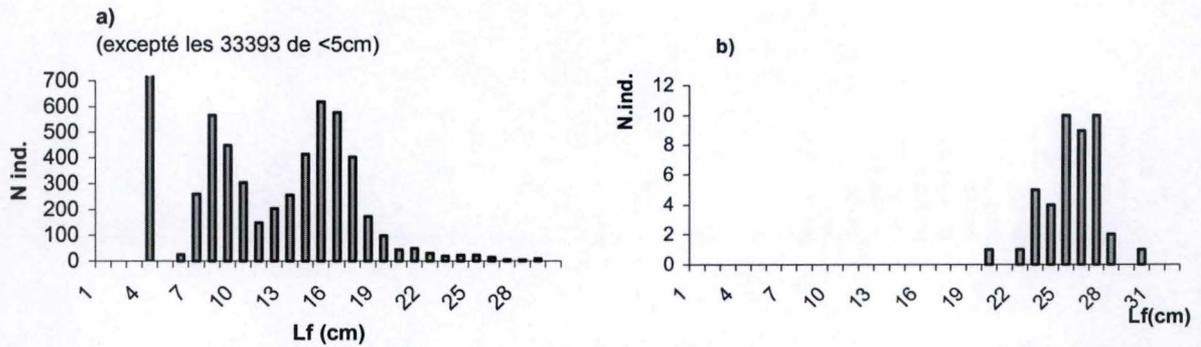


Fig. 9 : Comparaison des histogrammes de fréquences de tailles de gardons capturés à Lixhe en 2000, dans l'ancienne (a) et la nouvelle (b) passe migratoire (longueur à la fourche en cm) (d'après les données de Philippart et al., 2001).

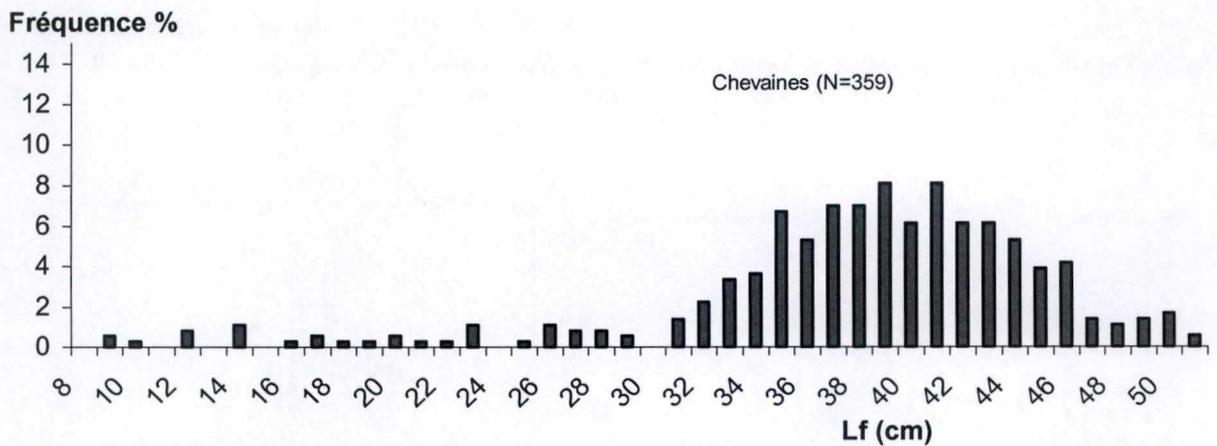


Fig. 10 : Distribution des fréquences de longueurs à la fourche des chevaines aux échelles de Lixhe de 1999 à 2005 (d'après les données de Philippart et al., 1999-2005).

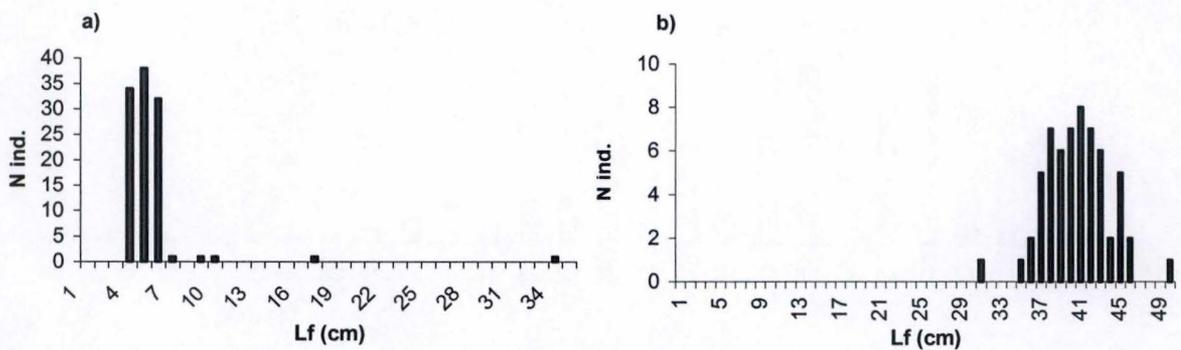


Fig. 11 : Comparaison des histogrammes de fréquences de tailles de chevaines capturés à Lixhe en 2000, dans l'ancienne (a) et la nouvelle (b) passe migratoire (Longueur à la fourche en cm) (d'après les données de Philippart et al., 2001).

une moyenne de 31,7 cm ; ET 6,1 cm; des tailles de 12 à 56 cm ; N = 2519. (Fig.6) (Prignon *et al.*, 1998). Cette répartition est assez variable d'année en année, comme en témoigne les résultats de 1991 et 1993 pour lesquels le mode principal était respectivement de 37 et 27 cm (Fig. 7).

La longueur moyenne et la proportion de mâles, femelles et individus de sexe indéterminé, non juvéniles, chez le gardon, la brème bordelière et le chevaine pour l'année 1992 sont présentées dans le tableau 4 :

Tableau 4 : *Longueur moyenne et sexe des gardons, brèmes bordelières et chevaines remontant l'échelle de Tailfer au printemps 1992.*

| Espèce et sexe | Longueur moyenne en cm (S.D.) | N.ind. (%) |
|------------------|----------------------------------|-------------|
| Gardon | | |
| Mâle | 16,1 (2,3) | 123 (7,2) |
| Femelle | 17,3 (2,7) | 110 (6,5) |
| Indéterminé | 17,4 (2,5) | 1466 (86,3) |
| Brème bordelière | | |
| Indéterminé | 17,9 (1,7) | 229 (100) |
| Chevaine | | |
| Mâle | 31.4 (6.8) | 301 (58.2) |
| Femelle | 41.3 (6.8) | 58 (11.2) |
| Indéterminé | 31.7 (8.1) | 158 (30.6) |

(d'après les données de Prignon *et al.*, 1998)

On constate que les individus matures sont beaucoup plus abondants chez le chevaine que chez le gardon et la brème bordelière, avec une proportion mâle / femelle pour les deux premières espèces de respectivement 5 / 2 et 1 / 1 (Prignon *et al.*, 1998).

A Lixhe, les distributions de fréquences de tailles calculées sur la période 1999 à 2005 sont les suivantes (d'après les données de Philippart *et al.*, 1999-2005):

- Pour le gardon, hors juvéniles, on n'observe plus vraiment une fréquence unimodale, mais un mode principal centré sur 16 cm et un second mode de nettement moindre importance centré sur 25 cm (Fig. 8). Les tailles varient de 10 à 31 cm, avec une moyenne de 16.2 cm ; pour N = 8217. Le second mode centré sur 25 cm peut être attribué aux captures effectuées dans la nouvelle passe migratoire. En effet cette dernière ne retient que des individus de grande taille vu la physiologie du piège (Fig. 9).
- Pour le chevaine, hors juvéniles, l'histogramme présente une moyenne de 37,8 cm ; pour N = 359 et des tailles comprises entre 9 et 51 cm (Fig. 10). Les principales captures de chevaines sont effectuées dans la nouvelle passe migratoire, comme en témoignent les données recensées en 2000 pour les deux échelles (Fig.11).
- Chez la brème commune, hors juvéniles, on observe une distribution unimodale centrée sur 37 cm ; pour N = 9930. Les tailles sont majoritairement comprises entre 23 et 49 cm (Fig. 12).
- L'histogramme de classes de tailles de la brème bordelière présente quant à lui un mode principal à 21 cm ainsi qu'un mode secondaire à 14 cm ; pour N = 1257. Les tailles sont comprises entre 8 et 34 cm, avec un individus capturé mesurant 38 cm (Fig. 12).
- Pour l'anguille, on observe une distribution unimodale centrée sur 30 cm (moyenne de 30,9 cm ; tailles de 16 à 74 cm ; pour N = 14902) (Fig.13). Cette distribution présente très peu de variation d'année en année.

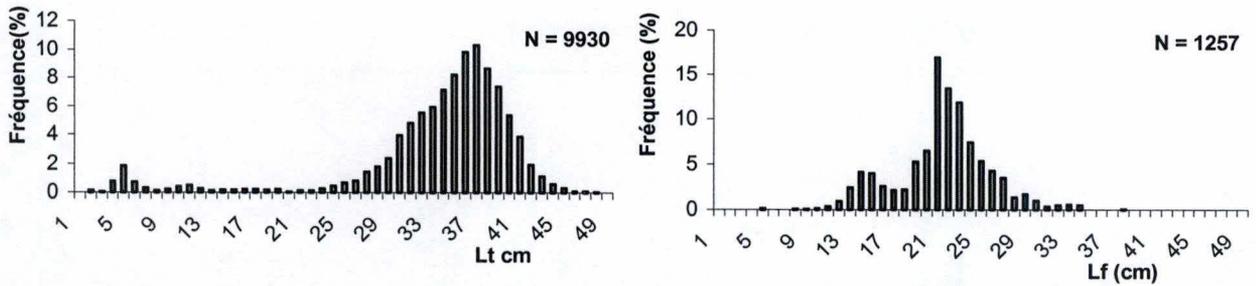


Fig. 12 : Distribution des fréquences de longueur des brèmes communes (à gauche) et bordelières (à droites) capturées à Lixhe durant les années (1999-2005) (d'après les données de Philippart et al, 1999-2005).

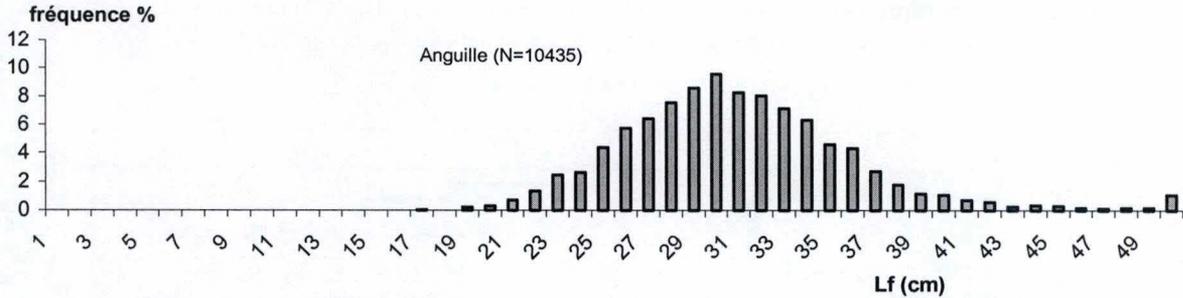


Fig. 13 : Distribution des fréquences de longueur des anguilles capturées à l'échelle de Lixhe pour les années 1999 à 2005 (N=10435). Les tailles entre 50 et 74 cm sont représentées ensemble (d'après les données de Philippart et al., 1999 à 2005).

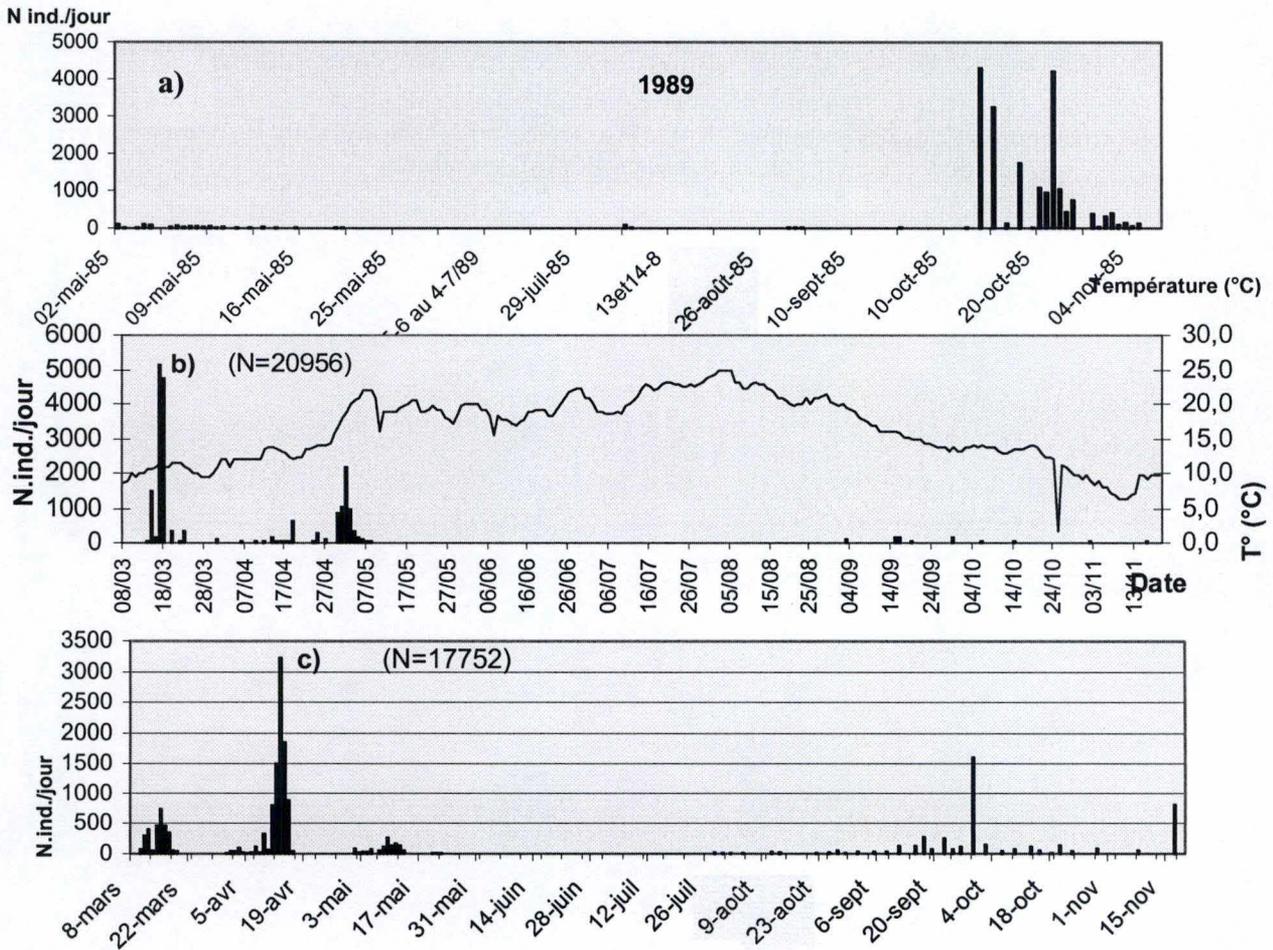


Fig. 14 : Répartition des captures de gardons effectuées à l'échelle de Tailfer en 1989 (a), 1990 (b) et 1991 (c) (d'après les données de Gillet, communication personnelle).

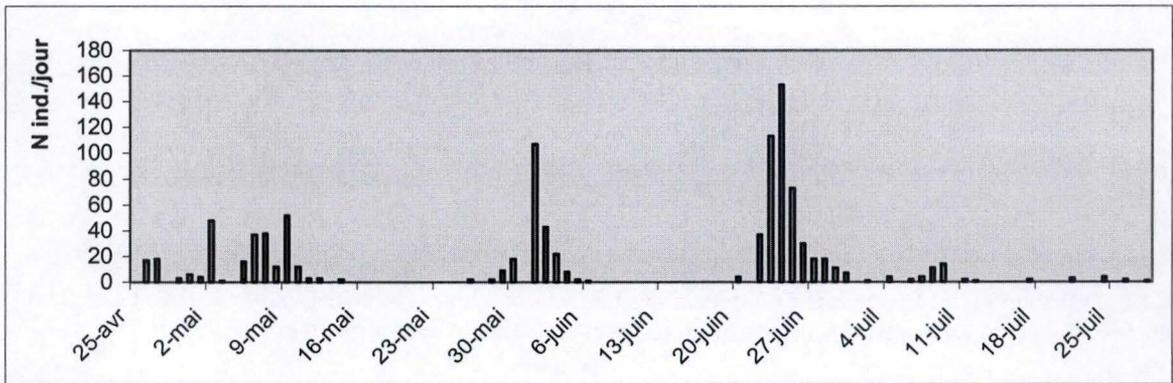


Fig. 15 : Répartition des captures de chevaines (N=1185) recensées à l'échelle de Tailfer en 1995 (d'après les données de Gillet, communication personnelle).

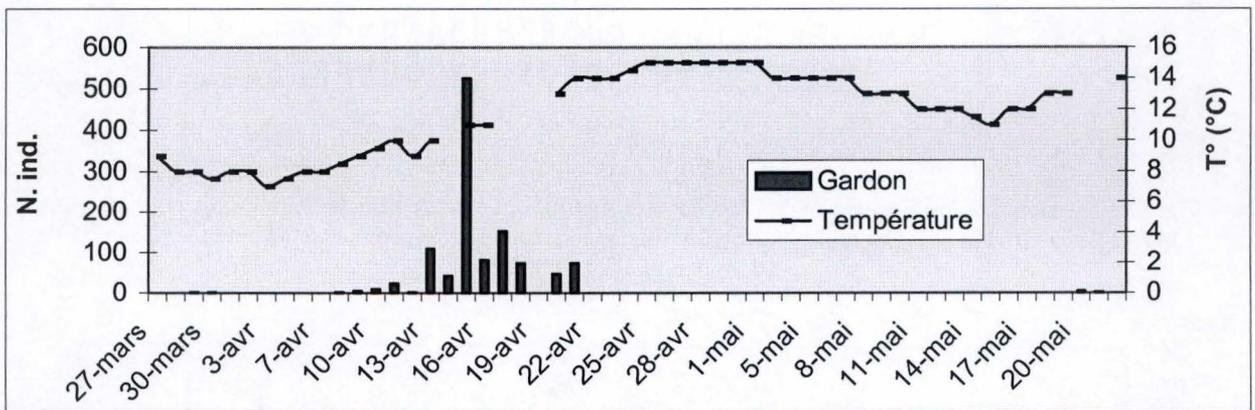


Fig. 16 : Répartition des captures de gardons (N=1157) effectuées à l'échelle de Tailfer en 1996 (d'après les données de Gillet, communication personnelle).

- Périodicité pluriannuelle :

Au cours des années, le cycle des migrations présente deux ou trois périodes migratoires distinctes selon les années : les migrations printanières, estivales et automnales. Celles-ci se répètent de manière cyclique avec des variations inter-annuelles essentiellement dues aux conditions hydrologiques et climatiques.

Toutefois, les migrations automnales ne se répètent pas systématiquement chaque année. Cette fluctuation peut-être mise en évidence par les captures enregistrées en 1989 et 1990 à l'échelle de Tailfer (Fig. 14). On constate qu'en 1989 plus de 7000 gardons ont été capturés la semaine du 11 au 17 octobre et plus de 9000 la semaine suivante. Cette migration a débuté le 16 octobre, à une température d'environ 13 °C, et s'est terminée le 6 novembre, lorsque la température est descendue sous les 10 °C. Les inventaires bi-journaliers réalisés entre le 17 et le 19 octobre ont montré que les migrations étaient presque exclusivement diurnes. Le taux maximum de passage horaire était de 684 ind./h le jour et proche de 0,1 ind./h la nuit (Micha *et al.*, 1990). Par contre, en 1990, ces remontées automnales sont beaucoup moins importantes. Elles se déroulent entre septembre et début novembre avec un pic de 187 individus le 17 septembre (Micha *et al.*, 1991). La tendance importante de remontées automnales de 1989 à Tailfer ne sera d'ailleurs plus observée durant les années postérieures, excepté en 1991 (Fig. 14).

- Périodicité saisonnière :

Les migrations printanières de reproduction des adultes se déroulent généralement en plusieurs vagues associées à des hausses de température après des périodes de plus basses températures. Cette périodicité est nettement mise en évidence par les captures de chevaines réalisées à Tailfer en 1995, année pour laquelle les données de températures ne sont malheureusement pas disponibles (Fig.15).

Ces migrations reproductives débutent globalement début mars à 10-12 °C chez le gardon et l'ablette commune, mi-avril à 13-14 °C chez le chevaine et les brèmes (Philippart *et al.*, 1998). A Tailfer, les premiers déplacements de gardons se dérouleraient dès que la température atteint 8-10 °C (Prignon *et al.*, 1998). Au cours de certaines années où se produit un réchauffement rapide de l'eau au dessus de 14 °C, les remontées s'effectuent en un seul pic (Philippart *et al.*, 1998). Ceci a par exemple été observé pour le gardon à Tailfer en 1996 (Fig.16). Cette année là, les premières captures ont lieu le 29 mars (2 ind.). Une seule vague migratrice est observée du 8 au 28 avril (du 23 au 28, présents mais non comptabilisés), ce qui correspond au réchauffement des eaux de 10 à 14 °C quand la migration prend fin. Maximum observé le 15 avril avec 525 individus capturés à une température de 11 °C et un débit de 74 m³/s (Gillet, *communication personnelle*). On observe également une diminution du débit de la Meuse de 104 à 60 m³/s durant cette période (Données mises à disposition gracieusement par le Ministère de la région wallonne, Direction Générale des Voies Hydrauliques (DGVH), Service d'Etudes Hydrologiques (SETHY)).

Pour ce qui est des migrations du chevaine et des brèmes, elles prennent globalement fin quand la température dépasse les 20 °C (Prignon *et al.*, 1998).

Les remontées estivales concernent principalement des juvéniles. Elles se déroulent généralement de juin à septembre chez le gardon et l'ablette. En ce qui concerne l'anguille, ces remontées de juvéniles débutent fin avril début mai à 15-16 °C et se poursuivent jusque juillet-août (Prignon *et al.*, 1998 ; Philippart *et al.*, 1998).

Il est intéressant de noter que ces remontées estivales sont en général plus importantes à Lixhe qu'à Tailfer. Ceci est mis en évidence notamment grâce aux résultats de captures de

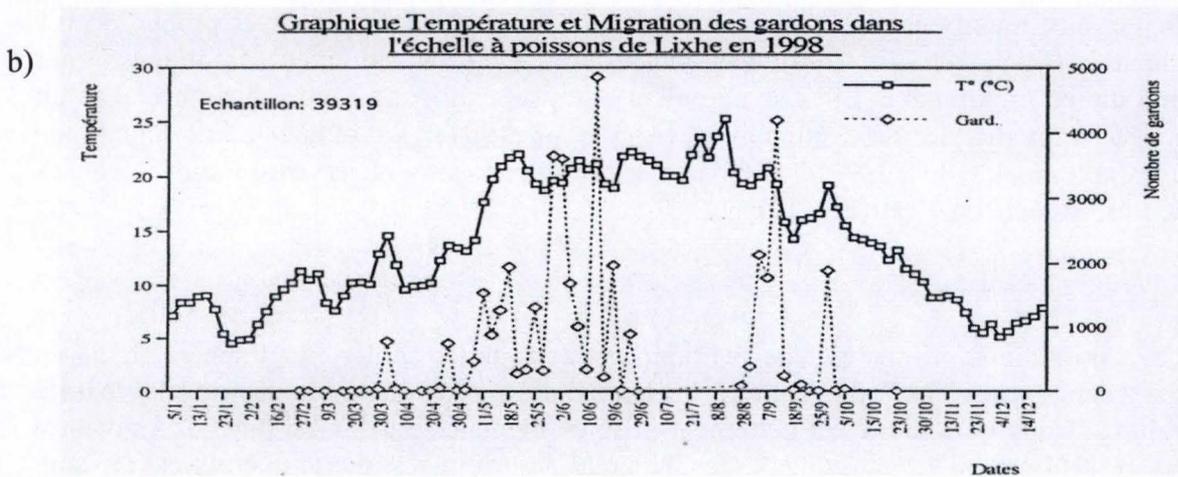
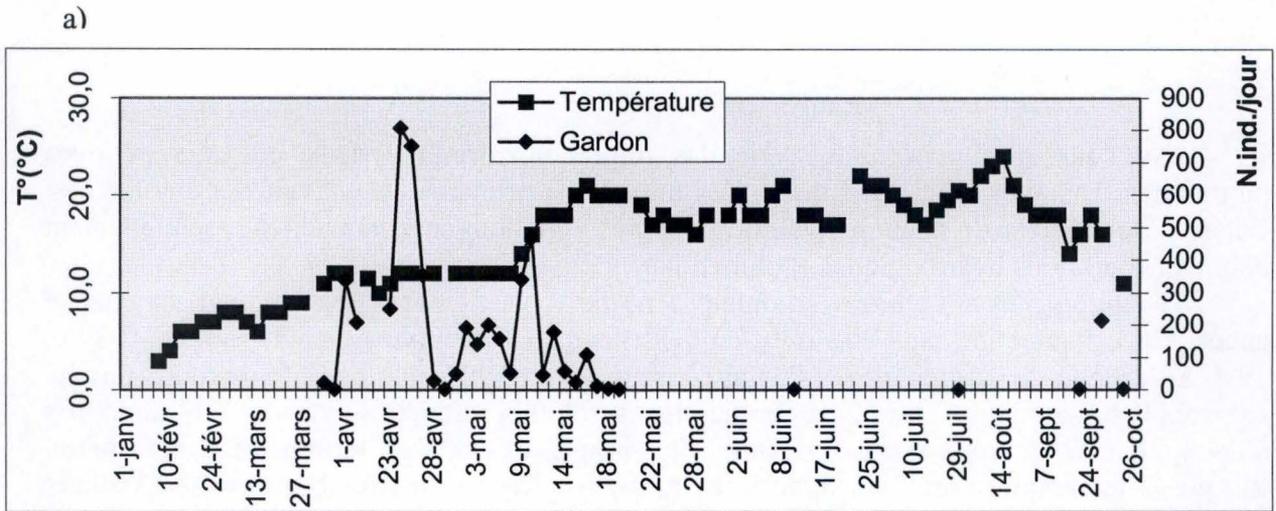


Fig. 17 : Comparaison de la répartition des captures enregistrées à Tailfer (a) (d'après données de Gillet, communication personnelle) et à Lixhe (b) (Extrait de Philippart et al., 1999) en 1998 .

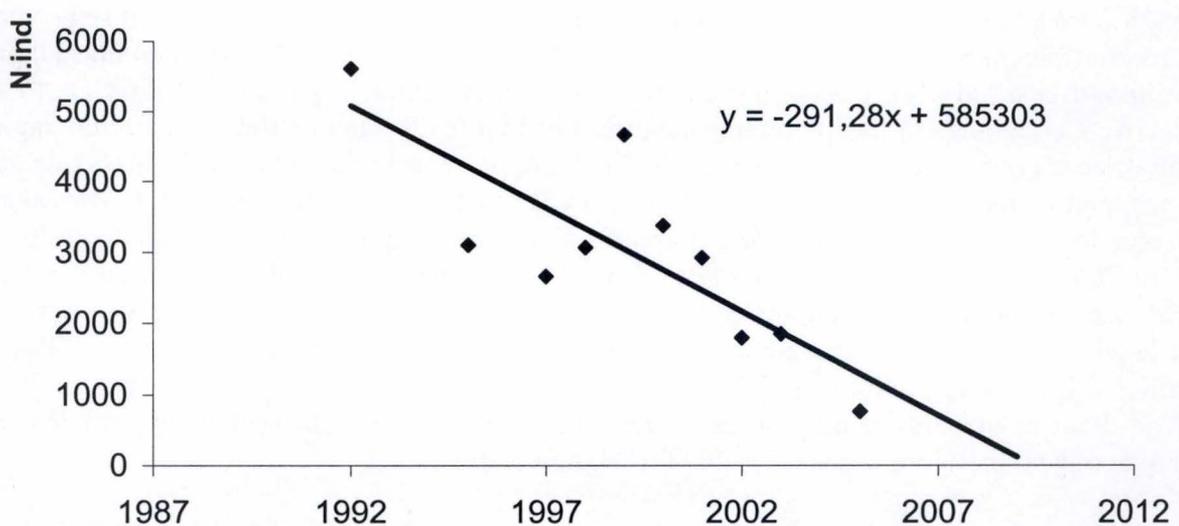


Fig. 18 : Evolution des captures d'anguilles effectuées dans la petite échelle de Lixhe de 1992 à 2005. Les données de 1993, 1994, 1996 et 2004 jugées atypiques n'ont pas été prises en compte. (d'après les données de Philippart et al., 2005).

gardons à Lixhe en 1998 (Fig.17). On observe, tout comme à Tailfer, une première vague brève du 31 mars au 2 avril. Ensuite, la vague la plus importante s'étend de fin avril à fin juin, avec une remontée massive de gardons début mai suite à une hausse forte et rapide de température de l'eau qui est passée de 14,2 °C le 8 mai à 19,8 °C le 13 mai (fig. 17). La concentration en oxygène dissous était > à 8mg/l (>80% de saturation). Cette nouvelle vague dure bien plus longtemps qu'à Tailfer. La troisième vague, non observée à Tailfer (excepté 214 individus capturés le 26 septembre), débute le 28 août et prend fin le 5 octobre quand la température a chuté sous 14 °C (Philippart *et al.*, 1999).

Ce phénomène s'explique peut-être par la recherche de meilleures conditions oxygéniques dans l'échelle que dans la Meuse durant cette période (Philippart *et al.*, 1998). Néanmoins, si cela explique pourquoi les poissons s'engagent dans la passe migratoire, cela ne justifie pas nécessairement le franchissement de l'édifice car si les conditions oxygéniques sont meilleures dans l'échelle, elle ne le sont pas forcément en amont de celle-ci, ce qui pourrait entraîner un confinement des poissons dans l'échelle (Gillet, *communication personnelle*). Ce confinement dans l'échelle a d'ailleurs déjà été confirmé en ce qui concerne le chevaine par le fait qu'à plusieurs reprises et dans plusieurs échelles du frai ait été observé (Micha et Gillet, 1990).

Un problème important a été mis en évidence lors du suivi des échelles à Lixhe au sujet des remontées d'anguilles. Leur nombre semble diminuer de façon drastique ces dernières années, et pourraient refléter une diminution des stocks du bassin mosan (Fig. 18) (Philippart *et al.* 2005). Cette tendance pourrait être une conséquence de la diminution globale de l'espèce ou des prélèvements trop importants en zone côtière (Philippart *et al.*, 2005).

Les remontées automnales, comme nous l'avons vu, ne sont pas constantes d'années en années. Pour ce qui est des remontées automnales de gardons, il est difficile à dire s'il s'agit de mouvements de pré-reproduction ou de nutrition (Philippart *et al.*, 1998 ; Prignon *et al.*, 1998).

- Rythme circadien :

Les gardons et les brèmes bordelières montrent des préférences diurnes dans leur comportement migratoire. Les jeunes chevaines présentent également cette tendance. Inversement, les chevaines non juvéniles présentent une tendance préférentielle à la migration nocturne. Il en va de même en ce qui concerne la brème commune. Le goujon semble également migrer préférentiellement de nuit. Les résultats obtenus en 1992 à Tailfer représentent très bien cette tendance (Tableau 5) (Prignon *et al.*, 1998).

Tableau 5 : Taux de capture diurne et nocturne des gardons, brèmes bordelières et chevaines capturés à l'échelle de Tailfer durant le printemps 1992.

| Espèce | Taux de capture (individus par heure) | |
|------------------|---------------------------------------|--------|
| | Nocturne | Diurne |
| Gardon | 7 | 77 |
| Brème bordelière | 1,5 | 6,5 |
| Goujon | 0,3 | 0 |
| Chevaine < 30 cm | 0,1 | 0,2 |
| Chevaine > 30 cm | 0,5 | 0,1 |

(d'après les données de Prignon *et al.*, 1998)

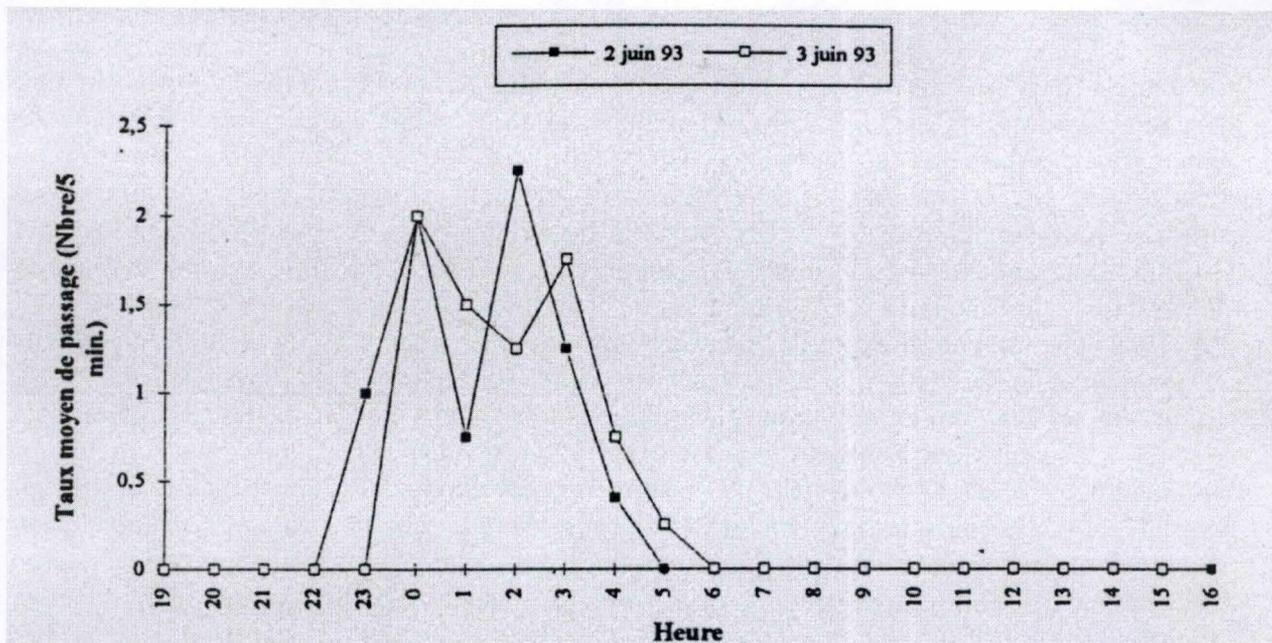


Fig. 19 : Evolution du taux moyen de passage des anguilles dans l'échelle de Tailfer le 02/06 et le 03/06/93 (de Micha et al., 1994).

Les enregistrements vidéos effectués ponctuellement en 1992 et 1993 nous précisent que les migrations circadiennes du gardon débutent globalement vers 13 h avec un pic à 16 h et diminuent ensuite régulièrement jusqu'au début de soirée vers 21 h. Le pic de migration de la brème bordelière se situe quand à lui entre 14 et 16 h. Il faut toutefois noter que des passages sont observés en permanence la nuit mais avec une fréquence nettement plus faible. Les ablettes présentent quand à elles un rythme essentiellement diurne avec un pic variant entre 13 et 20 h. les migrations sont nulles entre 22 et 5h. En ce qui concerne l'anguille, les enregistrements vidéos nous montrent que les migrations sont le plus intenses en mai et se déroulent essentiellement durant la nuit, et plus précisément, débutent vers 23 h-minuit et se terminent vers 4 ou 5 heure du matin (Fig. 19) (Micha *et al.*, 1992, Micha *et al.*, 1993, Prignon *et al.*, 1998).

2.7. Conclusion

Dans un premier temps, nous avons pu découvrir quels étaient les différents types de migration, basés sur les changements d'habitats, ainsi que les facteurs qui les régissent. Nous avons également vu que sur base des concepts généraux de migration de refuge, d'alimentation et de reproduction, pouvaient se présenter plusieurs types de comportements migratoires gouvernés par les différences de milieu de vie, ainsi que par les spécificités physiologiques de l'espèce.

Ensuite, nous avons pu voir à quels rythmes se déroulaient les comportements migratoires des principales espèces présentes en Meuse.

Globalement, les migrations printanières de reproduction débutent, selon les exigences thermiques de reproduction des espèces, ainsi que selon les variations thermiques inter-annuelles :

- en mars-avril, à 8-10 °C à Tailfer et 10-12 °C à Lixhe, chez le gardon et l'ablette commune qui présentent des déplacements essentiellement diurnes ;
- mi-avril, à 13-14 °C, chez le chevaine et les brèmes communes et bordelières, les brèmes bordelières montrant une préférence diurne dans leurs déplacements, alors que pour le chevaine et la brème commune, les jeunes individus présentent plutôt une tendance à la migration diurne et les individus plus âgés, une tendance nocturne.

Ces remontées débutent généralement plus tôt à Lixhe qu'à Tailfer suite à un réchauffement plus rapide de l'eau en basse Meuse.

Les remontées estivales de juvéniles se déroulent :

- de fin avril-début mai, à 15-16 °C, chez l'anguille qui présente un rythme de déplacement essentiellement nocturne, et se poursuivent jusque juillet-août selon les années ;
- de juin à septembre pour ce qui est du gardon, de l'ablette, ainsi que du chevaine et des brèmes, avec des variations d'abondance inter-annuelles dépendant principalement des conditions hydrologiques. Ces remontées sont généralement plus importantes à Lixhe qu'à Tailfer.

Enfin, les remontées automnales présentent la plus grande variabilité inter-annuelle et ne se répètent pas systématiquement d'année en année.

3. *Matériel et méthodes*

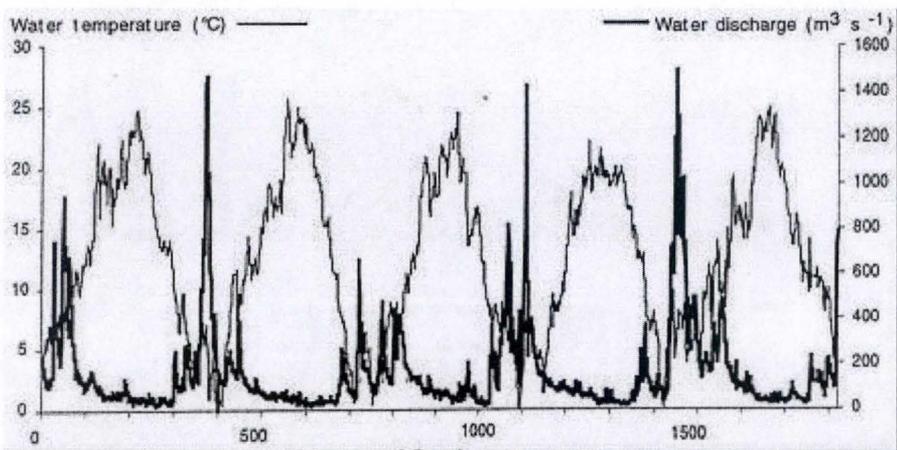


Figure 3.1 : Evolution du débit et de la température enregistrés à Tailfer de janvier 1990 à janvier 1994.

3. MATERIEL ET METHODES

3.1. Présentation du milieu

La Meuse est un fleuve international qui prend sa source en France sur le plateau de Langres (altitude 402 m) et parcourt 925 km dont 492 en France, 194 en Belgique et 239 aux Pays-Bas avant de se jeter dans la Mer du Nord à travers les nombreux bras du complexe Rhin-Meuse-Escaut (Micha et Pilette, 1988) (fig. 5).

De l'amont vers l'aval en Belgique, la Meuse collecte les eaux de la Chiers, la Semois, la Lesse, la Sambre, l'Ourthe, l'Ur, la Rur et la Niers.

La pente naturelle moyenne du fleuve est de 0,45 ‰ pour la totalité de son cours et de 0,23 ‰ sur les 194 km parcourus en Belgique (Micha et Pilette, 1988). Cette pente naturelle a été nettement modifiée pour permettre la navigation des péniches. Quarante-six barrages se situent sur l'ensemble du fleuve dont quinze en Belgique (Micha et Pilette, 1988).

Le bassin versant de la Meuse est partagé entre cinq pays (France, Belgique, Pays-Bas, Allemagne, Luxembourg). Il couvre une superficie de 36.011 km² dont 13.489 km² en Belgique, soit 40,7 % du territoire (Micha et Pilette, 1988).

La Meuse est un fleuve à régime pluvial des régions tempérées océaniques, principalement alimenté par les précipitations. L'évolution des débits est caractérisée par une période hivernale de hautes eaux, suivie par une période estivale de basses eaux. Le débit moyen annuel à Tailfer (calculé sur les années 1995 à 1998) avoisine les 170 m³/s, avec des fluctuations allant de 25 m³/s en période d'étiage (ex : 20 juin 1996) à plus de 2000 m³/s pendant les crues hivernales exceptionnelles durant lesquelles le débit exact ne peut être calculé avec précision. Cependant, de telles crues sont très rares, et la valeur maximale enregistrée à Tailfer atteint rarement un tel niveau. Le maximum observé sur la période 1989 à 1998 étant de 1520 m³/s en janvier 1994 (fig. 3.1). (Micha et Pilette, 1988 ; Données mises à disposition gracieusement par le Ministère de la région wallonne, Direction Générale des Voies Hydrauliques (DGVH), Service d'Etudes Hydrologiques (SETHY)).

La température moyenne annuelle de l'eau est de l'ordre de 16 °C avec des variations saisonnières importantes entre un maximum en août (>25 °C) et un minimum en janvier (3-4 °C). Les eaux sont de type « calcaire riche » avec un PH qui varie entre 7,6 et 8,3 et une dominance des ions calcium et bicarbonate. La concentration moyenne en oxygène est supérieure à 7 mg/l quasi tout le long du fleuve, excepté durant la période estivale en région liégeoise. (Micha et Pilette, 1988)

3.2. Description des sites

Les principales caractéristiques des barrages et échelles des deux sites étudiés, à savoir Lixhe et Tailfer, sont reprises dans le tableau 6.

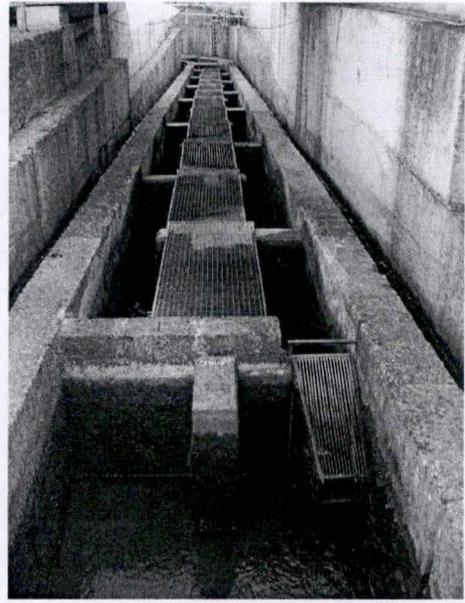
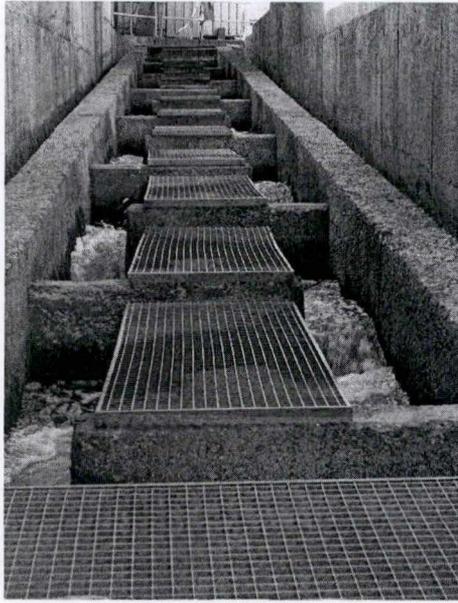


Photo 2 : vue aval (à gauche) et amont (à droite) de la passe migratoire de Tailfer.

Tableau 6 : Comparatif des caractéristiques des barrages et échelles de Lixhe et Tailfer.

| Caractéristiques | Lixhe | | Tailfer |
|---|-----------------------------------|-----------|--------------------------------------|
| | Lixhe1 | Lixhe2 | |
| Largeur du barrage (m) | 120 | | 100 |
| Débit moy. annuel (m ³ /s) | 200-300 | | 170 |
| Date de mise en fonction du barrage | 1980 | | 1987 |
| Hauteur de chute max. (m) | 8,0 | | 2,26 |
| Type de barrage | Hydroélectrique à vannes levantes | | Electromécanique à vannes à segments |
| Puissance hydroélectrique | 22.100 KW | | |
| Débit max turbiné (m ³ /s) | 340 | | |
| Nombre et type de turbines | 4 « Straflo » à réglage simple | | |
| Niveau d'eau amont (m) | 54,50 | | 82,34 |
| Niveau d'eau aval à l'étiage (m) | 46,50 | | 80,08 |
| Type d'échelle à poissons | A bassins | | A bassins |
| Passage entre bassins successifs | Echancrures latérales alternes | | |
| Date entrée en fonction des échelles | 1980 | 1998 | 1987 |
| Longueur totale de l'échelle (m) | 48 | 145* | 35 |
| Dénivellation entre les bassins (m) | 0,15 | 0,30 | 0,13-0,15 |
| Pente moyenne échelle (m/100m) | 17,0 | 5,45 | 6,45 |
| Nombre de bassins | 56 | 26 | 14 |
| Longueur des bassins | 1,40-5,35 | 4,70-9,70 | 1,95 |
| Largeur des bassins | 0,90-1,60 | 2,50 | 1,50 |
| Tirant d'eau dans les bassins (m) | 1,0 | 1,5 | 0,75 |
| Volume sous eau des bassins (m ³) | 1,3-5,9 | 17,6-36,4 | 2,2 |
| Débit max. admis dans l'échelle (m ³ /s) | 0,3 | 1,0 | 0,12 – 0,154 |
| Puissance dissipée (W/m ³) | 74-340 | 80-167 | 70-103 |
| Débit d'attrait max.(m ³ /s) | 0,3 ** | 4,0 | 0,21** |

(d'après MET ouvrage d'art n°6 et plan N° G3 82/WP/6/10 bis)

* : A la longueur de 145 m de l'échelle à poissons entre son ouverture aval en Meuse et le piège de capture, il faut ajouter une longueur de 160 m pour le canal à faible pente qui rejoint la Meuse à l'amont ; d'où un ouvrage d'une longueur totale de 305 m.

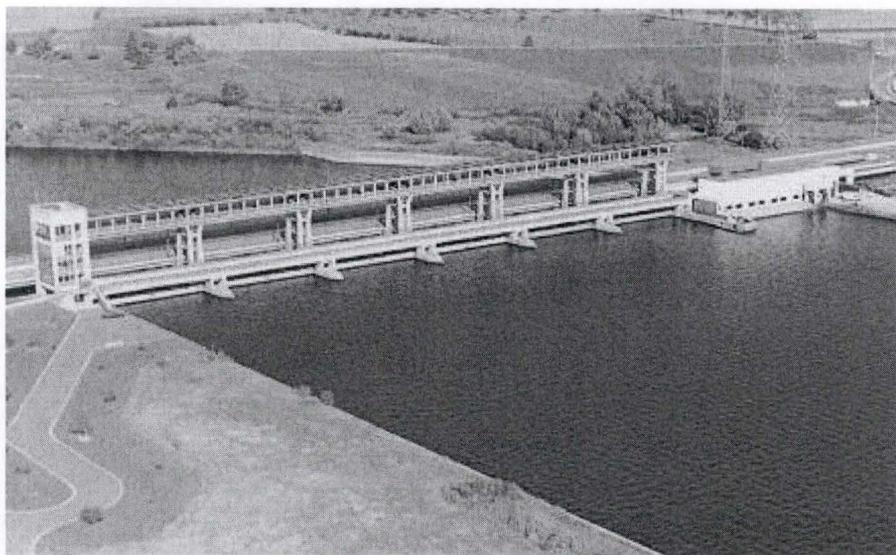


Photo 3 : Vue aérienne du barrage de Lixhe (Extrait de Renson, 1997).



Photo 4 : Vue aérienne du barrage de Tailfer (Extrait de Verstraeten, 2004).

** : Les valeurs associées au débit d'attrait pour Lixhe 1 et Tailfer, sont en fait les débits des goulottes à anguilles initialement conçues pour le passage de ces dernières, mais avérées par la suite peu efficace pour ce fait et donc conservées comme débit d'attrait supplémentaire.

La puissance dissipée est calculée à l'aide de la formule :

$P = \rho * g * Q * Dh / V$ où P : Puissance dissipée volumique (watts/m³)

ρ : masse volumique de l'eau (1000 kg/m³)

g : accélération de la pesanteur (9,81 m/s²)

Q : débit dans la passe (m³/s)

Dh : hauteur de chute entre deux bassins (m)

V : Volume d'eau par bassin (m³)

(Conseil supérieur de la pêche, 1992)

Le barrage de Lixhe est le dernier édifice de ce type avant la frontière hollandaise, et c'est également le barrage présentant la plus grande hauteur de chute (8 m) parmi les barrages mosans (photo 3).

Il est intéressant de noter que, contrairement à Tailfer, le barrage de Lixhe n'est pas équipé d'écluse. Les échelles à poissons sont donc les seuls moyens de franchir cet obstacle sans emprunter de voie annexe, à savoir le canal Albert dans le cas du saumon atlantique par exemple. Une autre particularité de l'édifice est la présence de turbines hydroélectriques qui sont potentiellement néfastes pour les poissons en dévalaison tels les anguilles adultes qui se font littéralement déchiqueter par les hélices des turbines (Philippart et al., 1998).

L'ancienne échelle à poisson de Lixhe a subi en 1995 des travaux de modification visant à améliorer son attractivité, l'amenant à sa configuration actuelle. Les modifications ont porté sur les éléments suivants :

- remontée du plafond de la passe au niveau de son débouché aval dans le canal de fuite de la centrale, ce qui concentre le débit dans une plus faible section et accélère le courant ;
- augmentation du débit d'appoint via l'ancienne goulotte à anguilles ;
- placement de planchettes amovibles entre les bassins afin de maintenir une profondeur d'environ 1m avec un écoulement superficiel de l'eau sur une hauteur de 40 cm (Phillipart et al., 1996).

Le barrage de Tailfer se compose de quatre pertuis de 22,5 m et est du même type que les autres barrages de haute Meuse (photo 4). L'échelle est présentée à la photo 2. La configuration actuelle de l'échelle est identique à la configuration originelle à l'exception de la suppression d'un bassin en amont permettant d'obtenir un bassin de piégeage plus grand.

Les profils des courants circulant dans l'échelle sont présentés dans les schémas 1a, 1b, 2 et 3. Ces profils ont été établis d'après les mesures de vitesse du courant effectuées à divers endroits de l'échelle. Nous pouvons distinguer les zones de repos ainsi que les vitesses auxquels sont confrontés les poissons empruntant la passe. Ceux-ci doivent franchir la première échancrure présentant une vitesse de courant de 2,25 m/s, ce qui est la vitesse la plus élevée du courant dans l'échelle. Les autres échancrures présentent une vitesse moyenne de 1,7 m/s à la sortie.

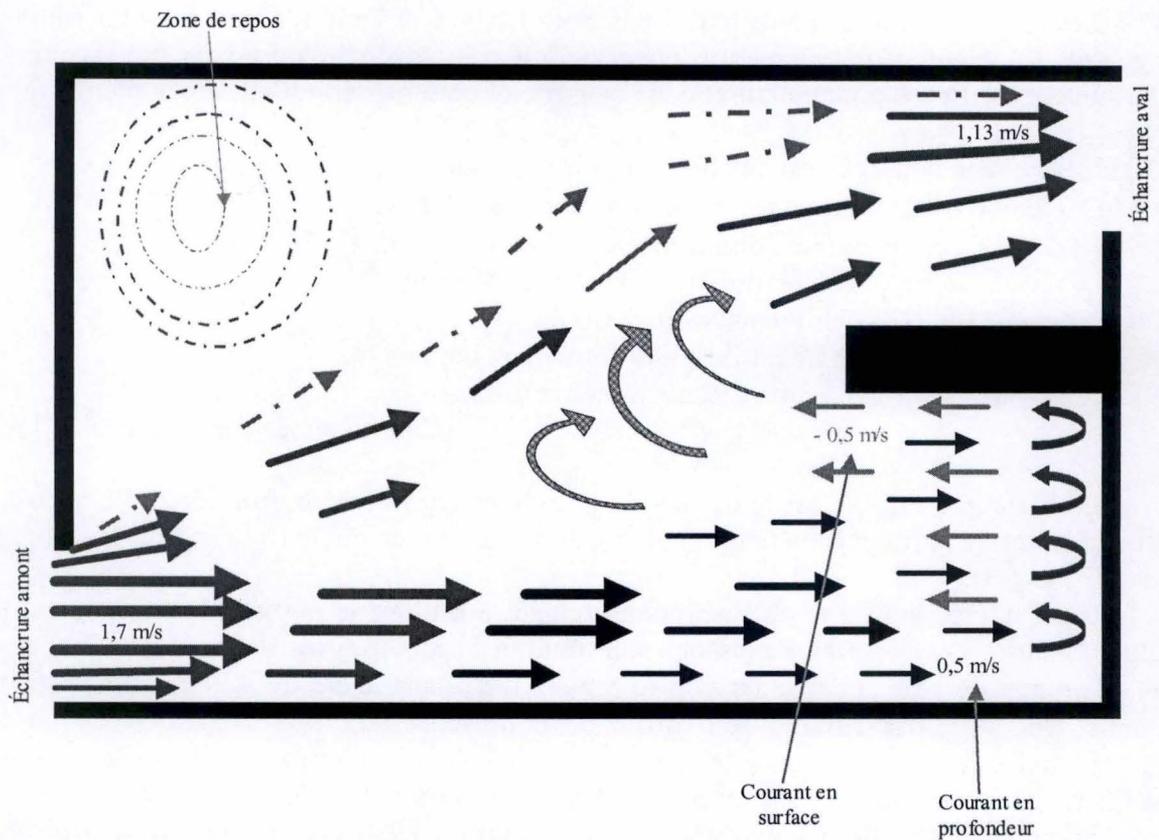


Schéma 1a : Représentation du profil moyen des courants dans les bassins de l'échelle, vue du dessus.

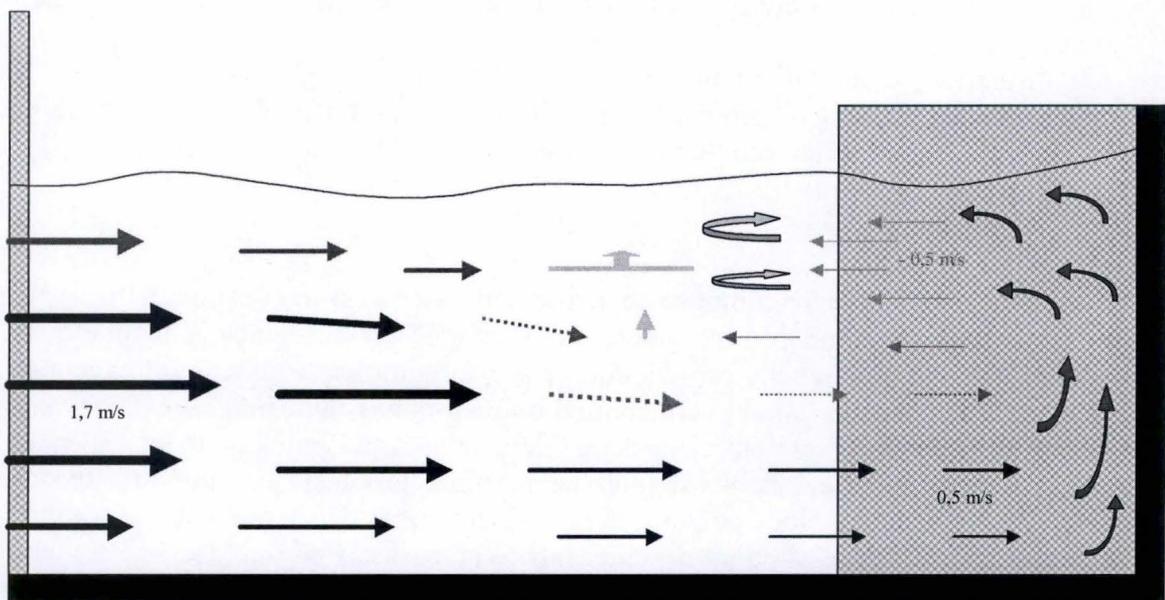


Schéma 1b : Représentation du profil moyen des courants dans les bassins de l'échelle, vue de profil du côté de l'échancrure.

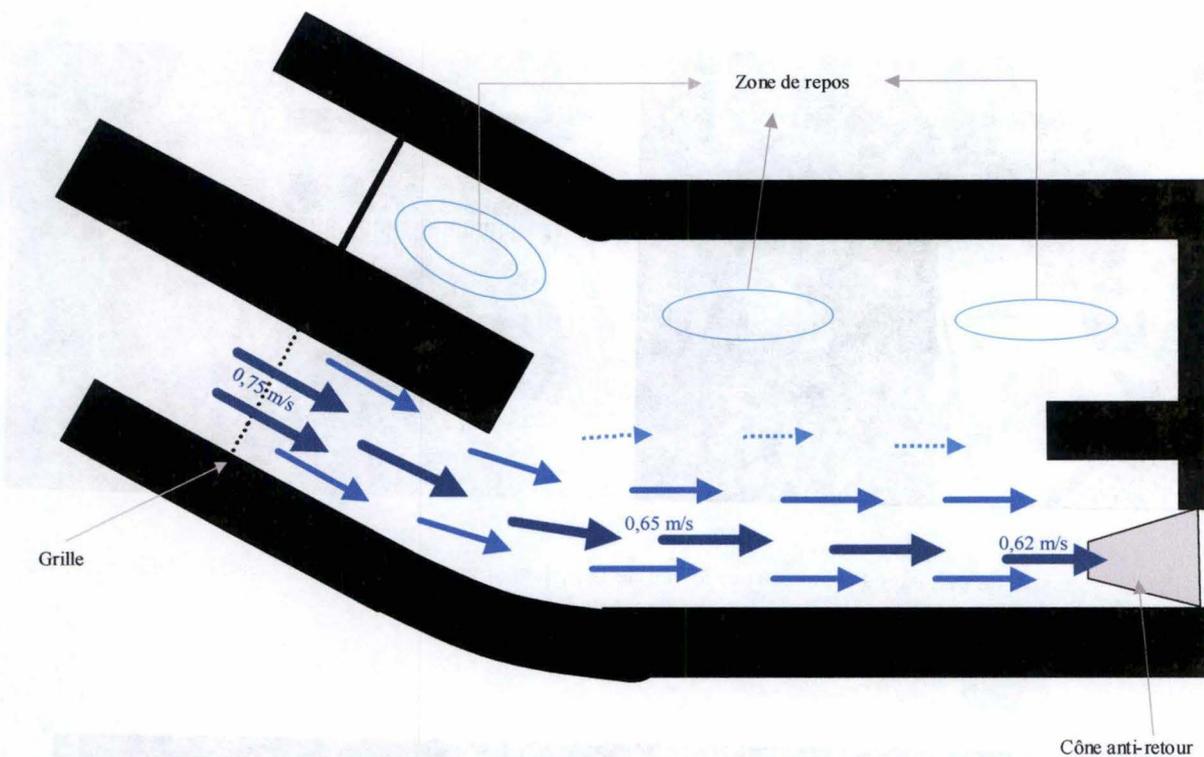


Schéma 2 : Représentation du profil des courants dans le 1^{er} bassin, servant de bassin de piégeage, vu du dessus.

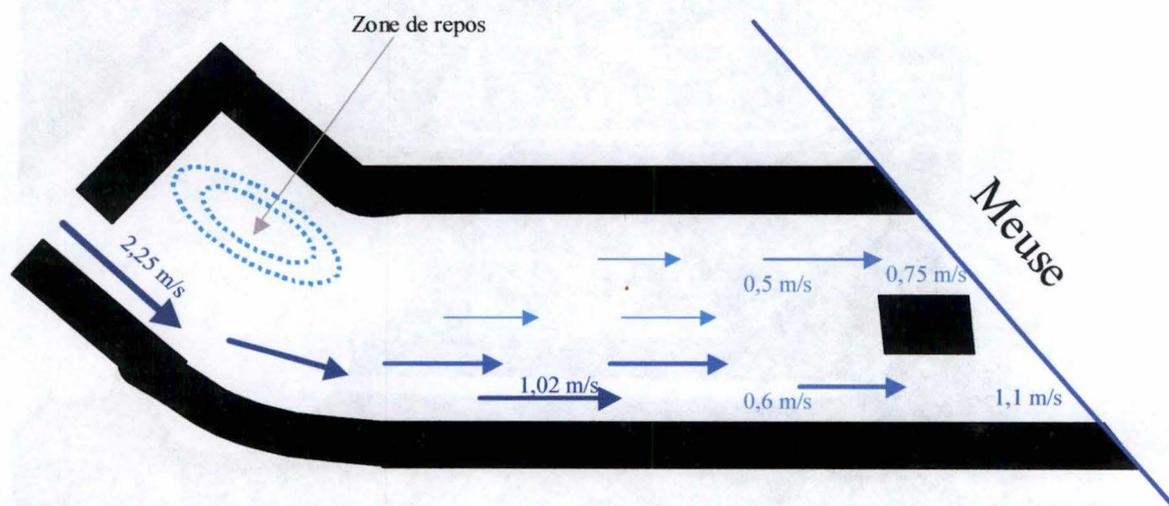


Schéma 3 : : Représentation du profil des courants dans le dernier bassin, servant d'entrée dans la passe, vu du dessus.

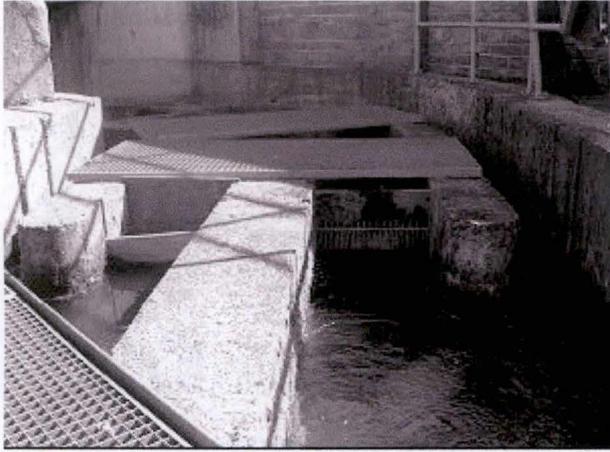


Photo 5 : bassin de piègeage (à gauche) avec vue de la grille amont (à droite) de la passe de Tailfer lors du fonctionnement de l'échelle.

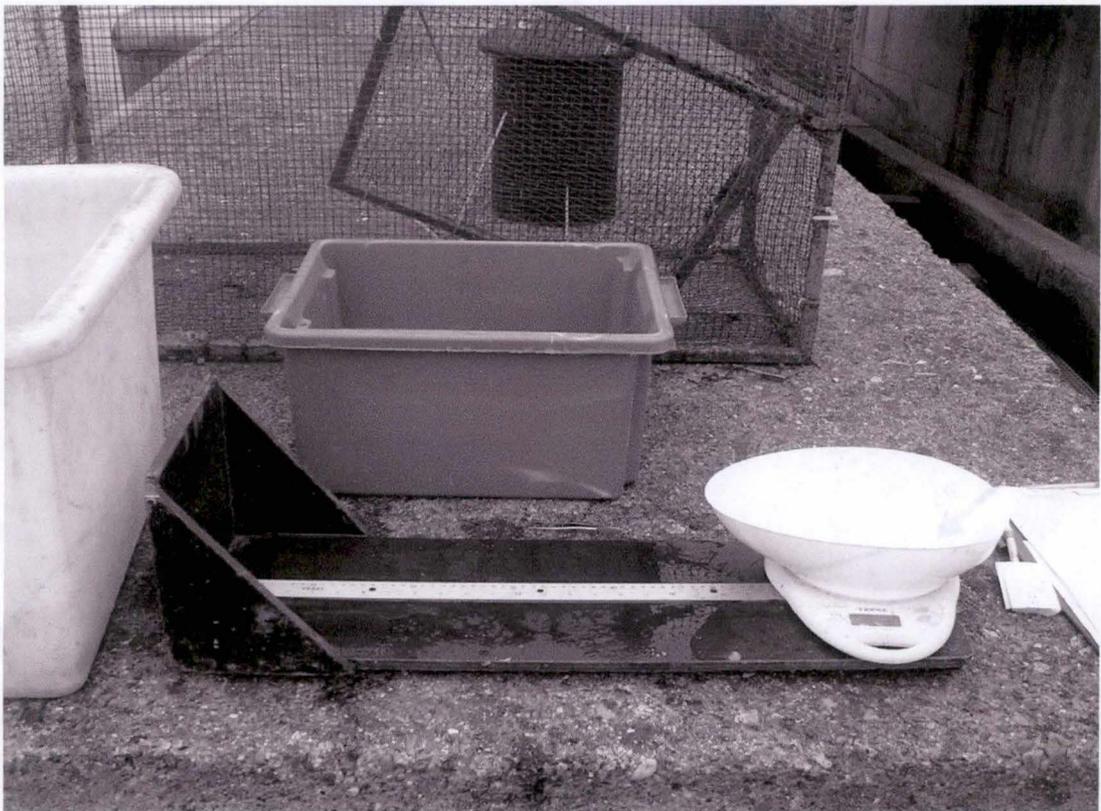


Photo 6 : Matériel de biométrie : balance, planche de mesure, bac d'anesthésie et bac de réveil.

3.3. Mode de capture et de collecte des données

3.3.1. Piège de Tailfer :

A Tailfer, les captures sont réalisées grâce à un système de piégeage dans le bassin amont de l'échelle (photo 2). La partie amont du bassin est fermée par une grille métallique à barreaux amovibles espacés de 1 cm (photo 5). Dans la première échancrure est disposé un tronc de pyramide à base rectangulaire, qui fait office de cône d'entrée également appelé nasse anti-retour. La base fait 75 x 35 cm tandis que la sortie fait 15 x 15 cm. Les côtés sont fermés par une grille (photo1).

3.3.2. Biométrie :

Les vidanges sont effectuées quotidiennement, excepté en plein pics migratoires durant lesquels les relevés s'effectuent deux fois par jours, à l'aide d'une vanne d'assèchement disposée en amont de la grille à barreaux amovibles. Les poissons sont ensuite récupérés à l'aide d'une épuisette, déterminés et comptabilisés avant d'être relâchés en amont du barrage.

Pour ce qui est des gardons, brèmes, ablettes, goujons, chevaines et anguilles, ils sont en plus sexés par pression abdominale, pesés à l'aide d'une balance de cuisine de précision 1 g, et mesurés à l'aide d'une planchette graduée en mm (photo 6). La longueur de chaque poisson est mesurée de l'extrémité de la bouche à la fourche de la nageoire caudale (longueur à la fourche), ainsi que de l'extrémité de la bouche à l'extrémité de la nageoire caudale (longueur totale). Toutes les manipulations de poissons sont effectuées après anesthésie par de l'eugenol (Clove oil n°C8392 – 500 ml ; SIGMA-ALDRICH S.A.), une solution d'extrait de clous de girofle que l'on dilue dans l'eau à raison de 1 ml par 10 litres d'eau. Les poissons sont ensuite placés dans un bac de réveil avant d'être relâchés.

3.3.3. Scalimétrie :

Des écailles sont également prélevées à l'aide d'une pince sur les gardons, brèmes, goujons et chevaines en vue de déterminer les classes d'âges présentes. Elles sont prélevées au-dessus de la ligne latérale entre les deux nageoires dorsales, à hauteur de l'anus, et sont ensuite placées dans de petites enveloppes de papier sur lesquelles sont écrites les mesures propres au poisson sur lequel l'écaille a été prélevée. De retour au labo, ces écailles sont d'abord trempées dans une solution d'hydroxyde de potassium (KOH) à 5 % pour dissoudre l'épiderme, et ensuite séchées avec du papier buvard avant d'être montées entre deux lames de verre. La lecture s'effectue grâce à un rétroprojecteur de marque AMPACO, modèle MICRON 780, au grossissement 40x.

Les écailles présentent une ornementation superficielle formée au cours de la croissance par la superposition concentrique de couches de scléroblastes, appelées *circuli*. Lorsque la croissance est rapide (période estivale), les *circuli* sont espacés et la zone osseuse est claire. Au contraire, lorsque la croissance est lente (période hivernale), les *circuli* sont rapprochés et forment un anneau plus foncé. L'ensemble d'une zone à *circuli* espacés et d'une zone à *circuli* rapprochés constitue un *annulus*.

Au cours de l'année, il peut se former dans les écailles des marques de croissances qui peuvent être confondues avec les *annuli*. Cependant, ces fausses marques présentent le plus souvent des caractères propres qui permettent de les discerner : elles sont généralement irrégulières ou discontinues et sont rarement disposées de façon concentrique sur tout le pourtour de l'écaille.

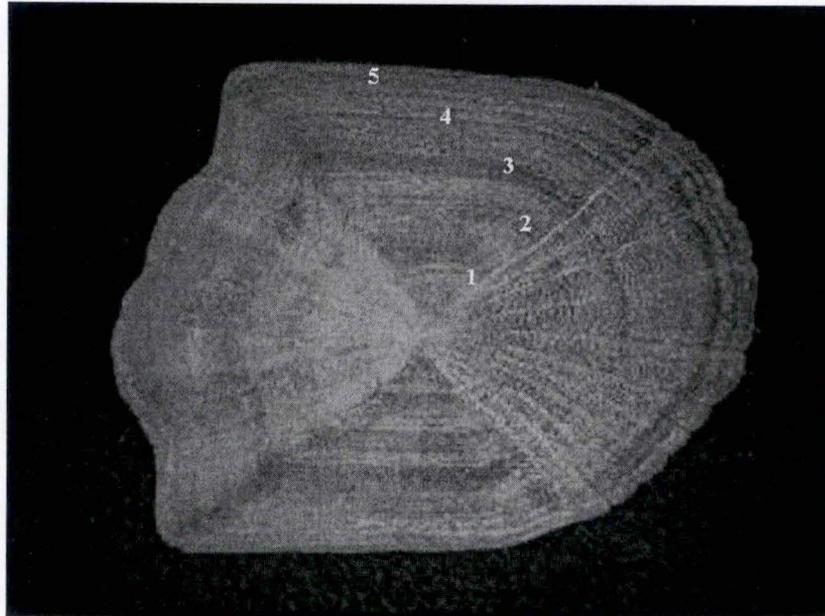
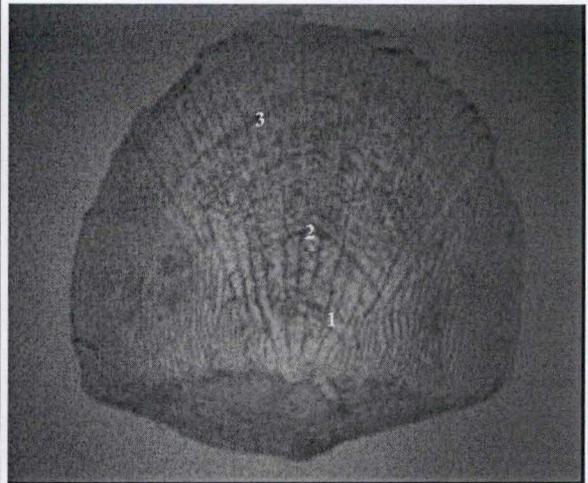
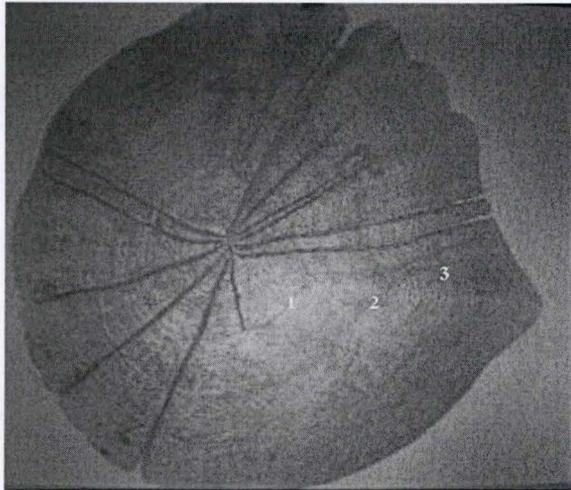


Photo 7a: Ecaille de chevaine 5⁺ capturé à Tailfer le 14 juin 2006



Photos 7b: Ecaille de gardon (à gauche) et de goujon (à droite) tous deux identifiés comme 3⁺, capturés respectivement le 06 mai et le 22 juin 2006



Photo 8 : courantomètre

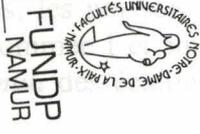
Le comptage des *annuli* permet d'estimer l'âge du poisson. Un poisson ne présentant aucune marque annuelle est appelé 0⁺ si la première marque apparaît, il est classé 1 et si la

marque est 1⁺ ainsi de suite. Pour plus de facilité, lors de prises dans les classes 1 et 1⁺ seront regroupés suite pour les autres classes d'âge. Les photos

Excler



BIBLIOTHEQUE
UNIVERSITAIRE
MORETUS
PLANTIN



FUNDP
NAMUR

BULLETIN DE CONSULTATION

Bibliothèque Universitaire
MORETUS PLANTIN

Auteur *Caroline Thibaut*

Titre *Caractéristiques piscivores de grande diversité de préférence de préférence au niveau*

Nombre de volumes _____

Pour les périodiques : Tomaison _____

Année _____

N° de carte *301 13 43*

Nom (en capitales) *EXCLER*

Date _____

Signature _____

Cote
FH B04/20061

er, ainsi que les données de débit nous sont de la région wallonne, Direction Générale des Hydrologiques (SETHY).

elles nous sont gracieusement fournies par

ologie de l'échelle de Tailfer, nous avons dans tous les bassins. Ces mesures ont été model 2000 portable flowmeter ; Marsh- t été prises à une hauteur équivalente au tiers supérieur lorsqu'il y avait inversion

ffectuer à Waulsort des enregistrements nce par rétro-éclairage (Fig. 3.2). Les 24 heures et ensuite visionnés pour masse migratoire, ceci dans l'optique de

à l'aide d'une sonde Ysi.

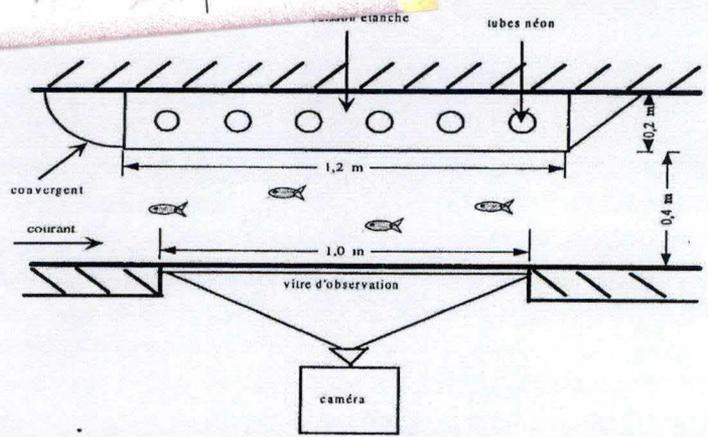


Fig. 3.2 : Dispositif de surveillance par rétro-éclairage pour la passe à poissons de Waulsort.

Malheureusement, suite à un retard de délai dans la réalisation de l'ouvrage de la part du Ministère de l'Equipement et des Transports (M.E.T.), nous avons été dans l'incapacité de réaliser ce suivi. Des enregistrements ponctuels ont néanmoins été réalisés sans le système de rétroéclairage, mais de par la profondeur de champ et la turbidité de l'eau due au dragage

3.3. Mode de capture et de collecte des données

3.3.1. Piège de Tailfer :

A Tailfer, les captures sont réalisées grâce à un système de piégeage dans le bassin amont de l'échelle (photo 2). La partie amont du bassin est fermée par une grille métallique à barreaux amovibles espacés de 1 cm (photo 5). Dans la première échancrure est disposé un tronc de pyramide à base rectangulaire, qui fait office de cône d'entrée également appelé nasse anti-retour. La base fait 75 x 35 cm tandis que la sortie fait 15 x 15 cm. Les côtés sont fermés par une grille (photo1).

3.3.2. Biométrie :

Les vidanges sont effectuées quotidiennement, excepté en plein pics migratoires durant lesquels les relevés s'effectuent deux fois par jours, à l'aide d'une vanne d'assèchement disposée en amont de la grille à barreaux amovibles. Les poissons sont ensuite récupérés à l'aide d'une épuisette, déterminés et comptabilisés avant d'être relâchés en amont du barrage.

Pour ce qui est des gardons, brèmes, ablettes, goujons, chevaines et anguilles, ils sont en plus sexés par pression abdominale, pesés à l'aide d'une balance de cuisine de précision 1 g, et mesurés à l'aide d'une planchette graduée en mm (photo 6). La longueur de chaque poisson est mesurée de l'extrémité de la bouche à la fourche de la nageoire caudale (longueur à la fourche), ainsi que de l'extrémité de la bouche à l'extrémité de la nageoire caudale (longueur totale). Toutes les manipulations de poissons sont effectuées après anesthésie par de l'eugenol (Clove oil n°C8392 – 500 ml ; SIGMA-ALDRICH S.A.), une solution d'extrait de clous de girofle que l'on dilue dans l'eau à raison de 1 ml par 10 litres d'eau. Les poissons sont ensuite placés dans un bac de réveil avant d'être relâchés.

3.3.3. Scalimétrie :

Des écailles sont également prélevées à l'aide d'une pince sur les gardons, brèmes, goujons et chevaines en vue de déterminer les classes d'âges présentes. Elles sont prélevées au-dessus de la ligne latérale entre les deux nageoires dorsales, à hauteur de l'anus, et sont ensuite placées dans de petites enveloppes de papier sur lesquelles sont écrites les mesures propres au poisson sur lequel l'écaille a été prélevée. De retour au labo, ces écailles sont d'abord trempées dans une solution d'hydroxyde de potassium (KOH) à 5 % pour dissoudre l'épiderme, et ensuite séchées avec du papier buvard avant d'être montées entre deux lames de verre. La lecture s'effectue grâce à un rétroprojecteur de marque AMPACO, modèle MICRON 780, au grossissement 40x.

Les écailles présentent une ornementation superficielle formée au cours de la croissance par la superposition concentrique de couches de scléroblastes, appelées *circuli*. Lorsque la croissance est rapide (période estivale), les *circuli* sont espacés et la zone osseuse est claire. Au contraire, lorsque la croissance est lente (période hivernale), les *circuli* sont rapprochés et forment un anneau plus foncé. L'ensemble d'une zone à *circuli* espacés et d'une zone à *circuli* rapprochés constitue un *annulus*.

Au cours de l'année, il peut se former dans les écailles des marques de croissances qui peuvent être confondues avec les *annuli*. Cependant, ces fausses marques présentent le plus souvent des caractères propres qui permettent de les discerner : elles sont généralement irrégulières ou discontinues et sont rarement disposées de façon concentrique sur tout le pourtour de l'écaille.

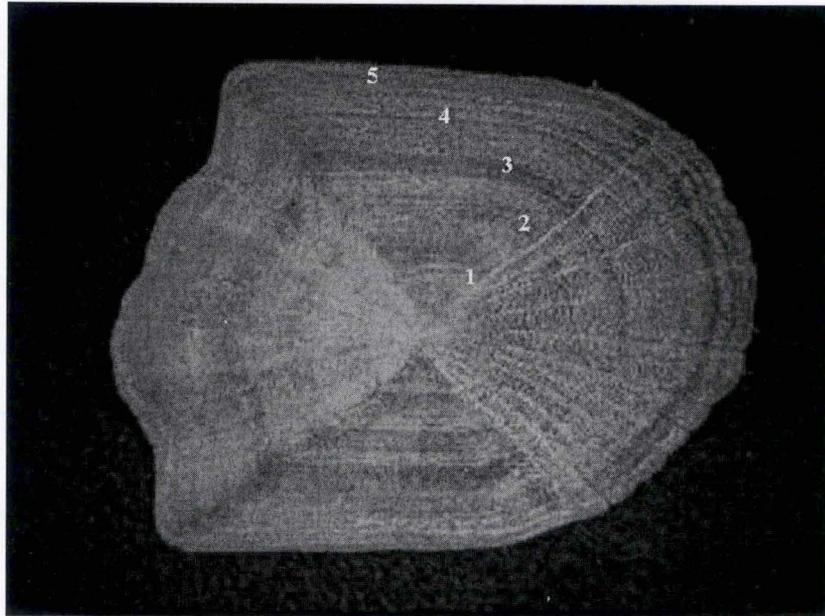
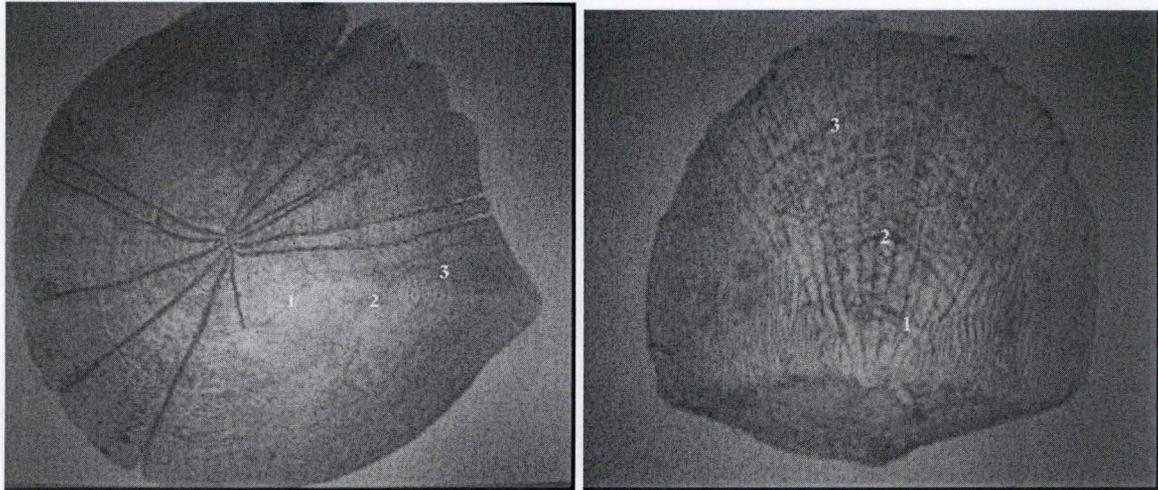


Photo 7a: Ecaille de chevaine 5⁺ capturé à Tailfer le 14 juin 2006



Photos 7b: Ecaille de gardon (à gauche) et de goujon (à droite) tous deux identifiés comme 3⁺, capturés respectivement le 06 mai et le 22 juin 2006



Photo 8 : courantomètre

Le comptage des *annuli* permet d'estimer l'âge du poisson. Un poisson ne présentant aucune marque annuelle est appelé 0^+ , si la première marque apparaît, il est classé 1^+ et si la marque est dépassée, il est classé 1^+ et ainsi de suite. Pour plus de facilité, lors de l'élaboration des graphiques, les poissons classés dans les classes 1 et 1^+ seront regroupés sous la même catégorie dénommée 1 et ainsi de suite pour les autres classes d'âge. Les photos 7 a et 7 b illustrent les *annuli* des écailles de trois poissons capturés à Tailfer durant notre étude.

3.3.4. Physico-chimie :

Les données physico-chimiques de Tailfer, ainsi que les données de débit nous sont mises à disposition gracieusement par le Ministère de la région wallonne, Direction Générale des Voies Hydrauliques (DGVH), Service d'Etudes Hydrologiques (SETHY).

Pour ce qui est des données de Lixhe, elles nous sont gracieusement fournies par l'équipe de l'ULg qui réalise le suivi.

En vue d'effectuer un profil de courantologie de l'échelle de Tailfer, nous avons mesuré les vitesses du courant à chaque coin dans tous les bassins. Ces mesures ont été réalisées grâce à un courantomètre (Flo-Mate model 2000 portable flowmeter ; Marsh-McBirney INC.) (Photo 8). Toutes les mesures ont été prises à une hauteur équivalente au tiers de la hauteur de la colonne d'eau, ainsi qu'au tiers supérieur lorsqu'il y avait inversion du sens du débit.

3.3.5. Vidéo-surveillance :

Initialement, il était également prévu d'effectuer à Waulsort des enregistrements vidéos continus grâce à un système de surveillance par rétro-éclairage (Fig. 3.2). Les enregistrements auraient été récupérés toutes les 24 heures et ensuite visionnés pour dénombrer et identifier les poissons franchissant la passe migratoire, ceci dans l'optique de tester l'efficacité de la passe migratoire de l'édifice.

Les données physico-chimiques étant mesurées à l'aide d'une sonde Ysi.

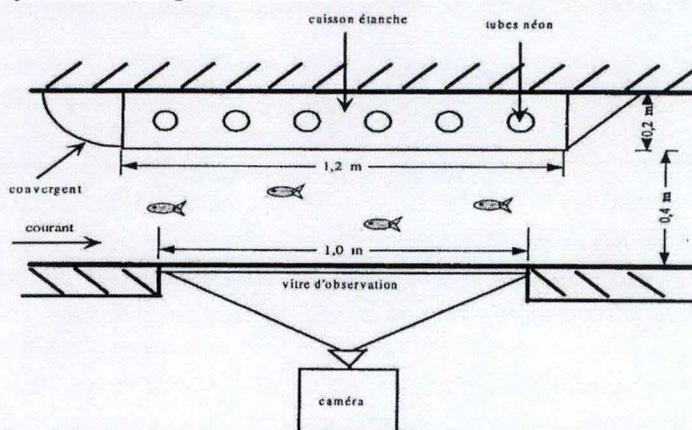


Fig. 3.2 : Dispositif de surveillance par rétro-éclairage pour la passe à poissons de Waulsort.

Malheureusement, suite à un retard de délai dans la réalisation de l'ouvrage de la part du Ministère de l'Équipement et des Transports (M.E.T.), nous avons été dans l'incapacité de réaliser ce suivi. Des enregistrements ponctuels ont néanmoins été réalisés sans le système de rétroéclairage, mais de par la profondeur de champ et la turbidité de l'eau due au dragage

permanent en amont du barrage, les données recueillies ont été jugées trop peu représentatives et donc inutilisables.

3.4. Analyse des données :

3.4.1. Encodage des données :

Les données sont encodées au moyen du tableur Excel. Un tableau est réalisé pour chaque espèce et se présente comme suit :

| Date | Longueur fourche (mm) | Longueur totale (mm) | Poids (g) | Indice condition (K) | Sexe | Age |
|------|-----------------------|----------------------|-----------|----------------------|------|-----|
| | | | | | | |

L'indice condition (K) étant obtenu à l'aide de la formule : $K = (P/L^b) * 100$

où P : poids (g) et L : longueur (cm).

b est un exposant exprimant le taux d'allométrie et est issu de la relation $P = a * L^b$. Ce coefficient b est souvent compris entre 2 et 4, proche de 3 mais rarement égal à 3. On utilise néanmoins souvent la valeur 3 pour une question de simplification et de standardisation.

Un autre tableau reprenant chaque espèce ainsi que les dates de relevés a été réalisé pour comptabiliser le total des captures réalisées ainsi que pour établir les rythmes migratoires des principales espèces recensées.

3.4.2. Traitement des données :

Nous avons tout d'abord utilisé l'assistant graphique Excel pour réaliser les divers histogrammes de fréquence migratoire, de classes de taille et de classes d'âge. Cet assistant a également été utilisé pour établir les relations poids-longueur calculées à partir de transformations logarithmiques sur les données de poids et de longueurs.

Plusieurs tests statistiques ont ensuite été réalisés sur les mesures de poids, longueur et d'indice de condition. Des tests d'homogénéité de variance (Hartley, Bartlett), suivis par des ANOVA 1 en cas d'homogénéité ($p > 0,05$). En cas de non homogénéité, nous avons réalisé des test de Kruskal-Wallis ANOVA median Test pour détecter si il y avait des différences significatives ($p < 0,05$). Ensuite nous avons effectué des contrastes de Scheffe pour détecter quelles étaient ces différences significatives ($p < 0,05$) (Dagnelie, 1970).

Les relations poids-longueur sont définies grâce à la relation $P = a * L^b$

où P = poids total en g ou mg

L = longueur totale en mm ou cm

a = ordonnée à l'origine

b = coefficient d'allométrie.

En pratique, on utilise souvent la transformation logarithmique de la relation, ce qui a pour effet de la linéariser. $\log P_i = \log a + b \log L_i$

Cette formulation permet une régression linéaire simple. Les différences entre pentes des diverses droites de régression entre sexe ou entre années peuvent être évaluées par un test d'homogénéité des pentes. Si elles ne diffèrent pas de manière significative on peut calculer un coefficient commun et les différences entre les ordonnées à l'origine peuvent être testées au

moyen de l'analyse de covariance (Noiset, 1994). Pour le test de parallélisme des pentes, le tableau d'analyse de la variance suivant a été utilisé (Dagnelie, 1998) :

| Sources de variation | d.l. | SCE | CM | F |
|---|------|--------------------|-------------------|----------------|
| Régression linéaire moyenne | 1 | SCE _l | CM _l | F _l |
| Non-parallélisme | p-1 | SCE _b | CM _b | F _b |
| Ecart par rapport aux régressions linéaires | N-2p | SCE _{y,x} | CM _{y,x} | |
| Totaux | N-p | SCE _y | | |

Lorsqu'il n'y a que 2 droites à comparer, on utilise un test T de Student nécessitant de calculer la quantité suivante (Dagnelie, 1998) :

$$t_{obs} = \frac{|b_1 - b_2|}{\sqrt{\hat{\sigma}_{y;x}^2 \left[\frac{1}{(SCE_x)_1} + \frac{1}{(SCE_x)_2} \right]}}$$

telle que:

$$\hat{\sigma}_{y;x}^2 = \frac{(SCE_{y,x})_1 + (SCE_{y,x})_2}{n_1 + n_2 - 4}$$

$$= \frac{(SCE_y)_1 - SPE_1^2 / (SCE_x)_1 + (SCE_y)_2 - SPE_2^2 / (SCE_x)_2}{n_1 + n_2 - 4}$$

Les valeurs indexées d'un 1 sont relatives au premier échantillon et celle indexées d'un 2 au deuxième. La quantité obtenue est comparée à la valeur $t_{1-\alpha/2}$ avec n_1+n_2-4 degrés de liberté. Le parallélisme des droites est rejeté si t_{obs} est supérieur ou égal à $t_{1-\alpha/2}$.

Si les coefficients de pentes ne diffèrent pas de manière significative, on teste les ordonnées à l'origine à l'aide de l'analyse de la covariance (Dagnelie, 1998). Ce test est considéré comme un test d'égalité des moyennes des écarts ou encore comme un test d'égalité des ordonnées à l'origine des droites de régression relatives aux différentes populations et supposées parallèles. En pratique cette analyse nécessite tout d'abord le calcul classique des sommes des carrés des écarts relatives aux deux variables, ainsi que les sommes des produits des écarts correspondantes (Tableau 7).

Tableau 7: Sommes des carrés et des produits des écarts dans l'analyse de la covariance

| Sources de variation | Degrés de liberté | Sommes des carrés et des produits des écarts | | |
|---|-------------------|--|------------------|----------------------|
| | | y | xy | x |
| Entre populations | p-1 | SCE _a (y) | SPE _a | SCE _a (x) |
| Entre observations dans les populations | N-p | SCE _r (y) | SPE _r | SCE _r (x) |
| Totaux | N-1 | SCE _t (y) | SPE _t | SCE _t (x) |

Pour les SCE, on considère les expressions suivantes pour la variable x:

$$SCE_t = \sum_{i=1}^p \sum_{k=1}^{n_i} (x_{ik} - \bar{x})^2$$

$$SCE_a = \sum_{i=1}^p n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2$$

$$SCE_r = \sum_{i=1}^p \sum_{k=1}^{n_i} (x_{ik} - \bar{x}_i)^2$$

Les expressions pour les SCE relatives à la variable y sont les mêmes que celles présentées ci-dessus en remplaçant les x par y. Pour les SPE, on utilise les expressions suivantes:

$$SPE_t = \sum_{i=1}^p \sum_{k=1}^{n_i} x_{ik} y_{ik} - \frac{T_x T_y}{N}$$

$$SPE_r = \sum_{i=1}^p SPE_i = \sum_{i=1}^p \left[\sum_{k=1}^{n_i} x_{ik} y_{ik} - \frac{T_{xi} T_{yi}}{n_i} \right]$$

$$SPE_a = SPE_t - SPE_r$$

A partir de ces expressions on peut déduire les sommes des carrés des écarts ajustées:

$$SCE'_t = SCE_t(y) - SPE_t^2 / SCE_t(x)$$

$$SCE'_r = SCE_r(y) - SPE_r^2 / SCE_r(x)$$

$$SCE'_a = SCE'_t - SCE'_r$$

Ces sommes des carrés des écarts ajustées permettent de réaliser un test de F dans le cadre d'un tableau d'analyse de la covariance (Tableau 8):

Tableau 8: Tableau d'analyse de la covariance

| Sources de variation | Degrés de liberté | Sommes des carrés des écarts ajustés | Carrés moyens ajustés | F |
|---|-------------------|--------------------------------------|-----------------------|------------------|
| Entre populations | p-1 | SCE'_a | CM'_a | F _{obs} |
| Entre observations dans les populations | N-p-1 | SCE'_r | CM'_r | |
| Totaux | N-2 | SCE'_t | | |

Nous avons tout d'abord traité les données concernant les relevés effectués à Tailfer en 2006. Ensuite nous avons comparé nos résultats avec les résultats de Tailfer pour les années 1989-1998, et, le cas échéant, à ceux de Lixhe pour les années 1990 à 2006.

4. Résultats

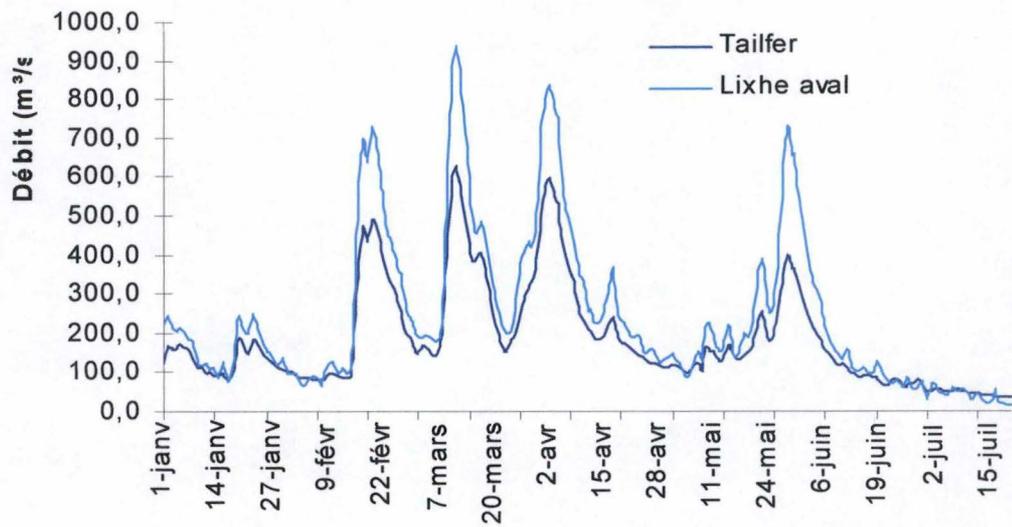


Fig. 4.1.a : Evolution du débit (m^3/s) de la Meuse à Tailfer et à Lixhe du 01/01/2006 au 18/07/2006.

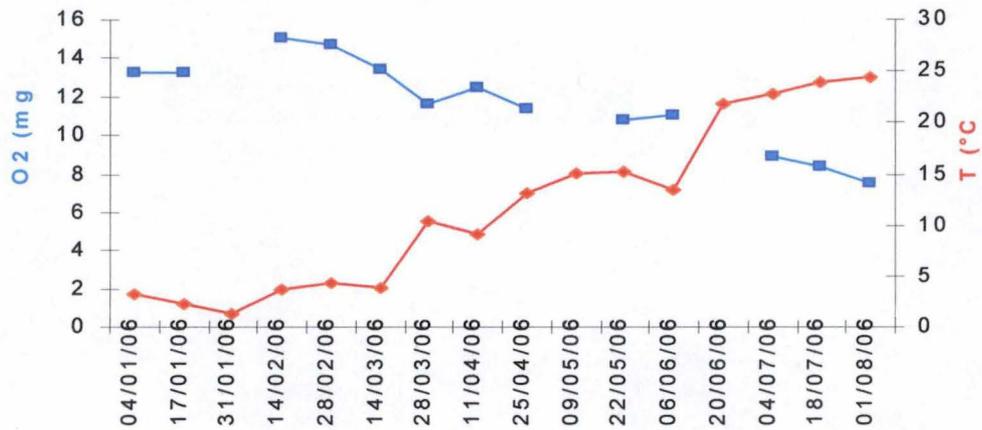


Fig. 4.1.b : Evolution de la concentration en O_2 (mg/l) et de la température ($^{\circ}\text{C}$) du 04/01/2006 au 01/08/2006 à Tailfer (Données CIBE).

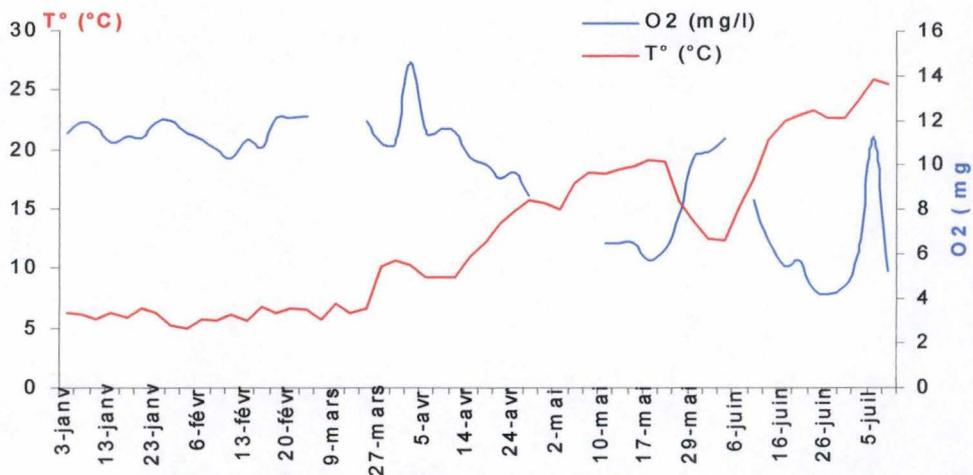


Fig. 4.1.c : Evolution de la concentration en O_2 (mg/l) et de la température ($^{\circ}\text{C}$) du 03/01/2006 au 07/07/2006 à Lixhe (d'après les données de Philippart *et al.*).

4. RESULTATS

4.1. Résultats globaux des captures

Les conditions climatiques et hydrologiques rencontrées cette année ont probablement perturbé les migrations de nombreuses espèces. En effet, les conditions hydrologiques observées en mars et avril, à savoir température de l'eau très froide et débits très élevés, entraînant par ailleurs un déficit d'eau dans l'échelle à plusieurs reprises comme observé par exemple du 30 mars au 9 avril (Fig. 4.1.a), ont causé tout d'abord un retard dans le début des migrations généralement observées plus tôt dans l'année. Ceci est par exemple le cas du gardon et de l'ablette commune pour lesquels de très faibles nombres de captures ont été enregistrées. La Température a brièvement atteint 10,5°C fin mars, mais le réchauffement significatif de l'eau ne s'est produit que durant le mois d'avril, durant lequel la température est passé de 9,1°C le 11 avril à 15,5 °C le 9 mai. Il s'est ensuite produit une légère baisse de température avant une brusque augmentation passant de 13,4 °C le 6 juin à 21,8 °C le 20 juin. La température ne descendra plus en dessous des 20 °C par la suite (fig. 4.1.b). Le même profil de température s'observe à Lixhe, mais avec des valeurs sensiblement plus élevées aux mêmes dates. Par contre on observe un léger déficit en O₂ à Lixhe fin juin (4.2 mg/l), qui ne se produit pas à Tailfer (fig. 4.1.c).

Les résultats globaux des captures effectuées à Tailfer du 15 mars au 19 juillet 2006 (2668 heures de piégeage) sont présentés dans le tableau 4.1.

Tableau 4.1 : Résultats des captures enregistrées à Tailfer du 15 mars au 19 juillet 2006.

| | Espèce | N. Ind. | Fréq. Rel. (%) |
|------------------|--------------------|-----------------|----------------|
| Réhophiles | Barbeau fluviatile | 18 | 0,61 |
| | Chevaine | 1176 | 39,60 |
| | Goujon | 977 | 32,90 |
| | Hotu | 1 | 0,03 |
| | Truite de mer | 5 | 0,17 |
| | Truite fario | 15 | 0,51 |
| | Vairon | 2 | 0,07 |
| | Vandoise | 2 | 0,07 |
| | Non rehophiles | Ablette commune | 28 |
| Brème bordelière | | 4 | 0,13 |
| Brème commune | | 55 | 1,85 |
| Carassin | | 5 | 0,17 |
| Gardon | | 661 | 22,26 |
| Pêrche | | 5 | 0,17 |
| Rotengle | | 1 | 0,03 |
| Anguille | | 14 | 0,47 |
| Loche franche | | 1 | 0,03 |

4.2. Rythme migratoire des principales espèces recensées

Lorsque les données récoltées nous le permettent, nous pouvons établir les schémas migratoires des espèces ciblées, et tenter de les corrélérer avec les conditions hydrologiques de la Meuse durant la période du suivi.

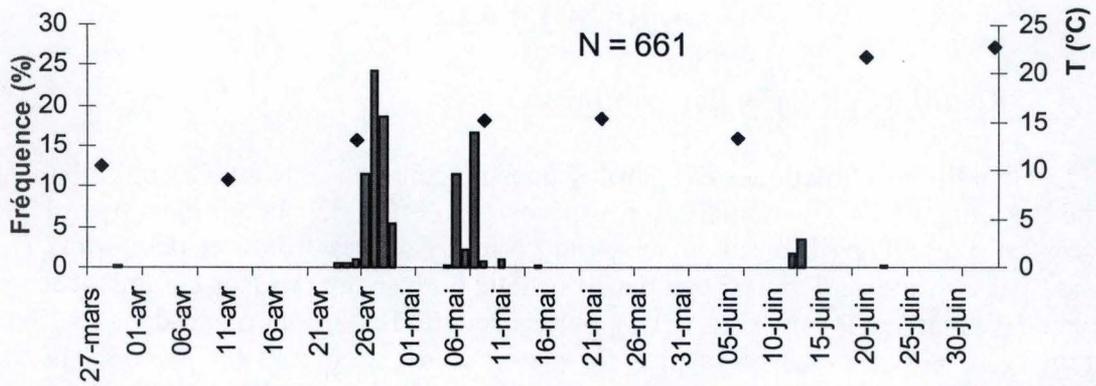


Fig. 4.2 : Répartition des captures de gardons effectuées à Tailfer du 15 mars au 19 juillet 2006.

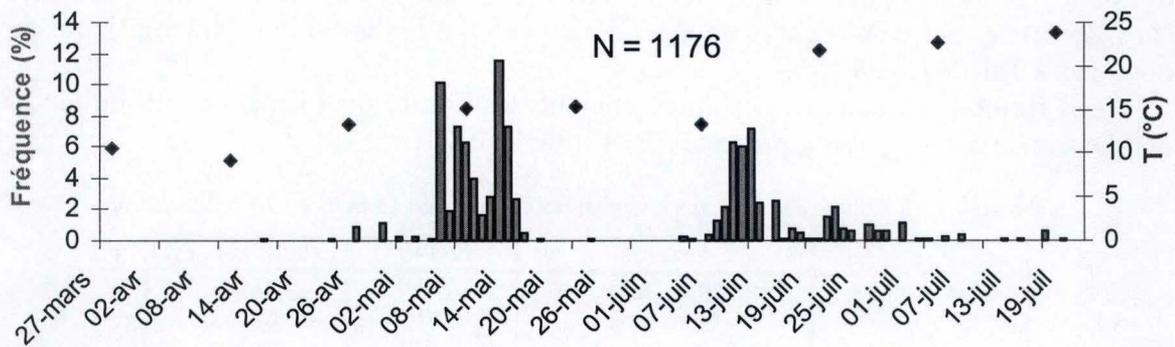


Fig. 4.3 : Répartition des captures de chevaines effectuées à Tailfer du 15 mars au 19 juillet 2006.

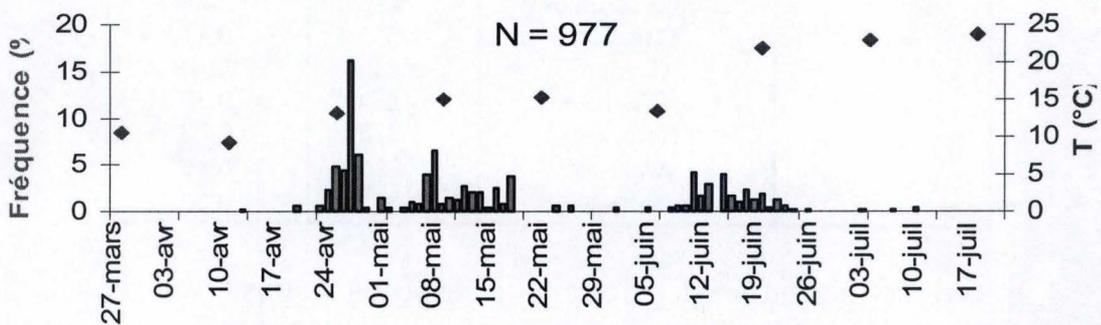


Fig. 4.4 : Répartition des captures de goujons effectuées à Tailfer du 15 mars au 19 juillet 2006.

4.2.1. Gardon

Nous avons capturé 661 individus parmi lesquels 53 femelles et 134 mâles ont été identifiés. La première capture de gardon a lieu le 30 mars, première fois où la température a atteint 10 °C, mais il ne s'agit que d'un individu isolé. Suite à cela, on peut distinguer 3 vagues d'importance décroissante (fig. 4.2). La première s'étend du 23 au 29 avril, quand la température dépasse les 13 °C, avec un taux de capture moyen de 58,7 individus/jour (max. le 27 avec 161 ind.). La deuxième vague se déroule du 5 au 15 mai, date à laquelle la température avoisine les 15,5 °C, avec un taux de capture moyen de 19,5 ind./jour (max. le 8 avec 111 ind.). Nous n'avons pas d'explication pour l'absence de capture entre le 29 avril et le 05 mai. La troisième vague se produit le 12 et 13 juin avec respectivement 11 et 22 individus par jour, suite à une légère baisse de température redescendue à 13,4 °C le 06 juin. Un dernier individu sera capturé le 22 juin.

4.2.2. Chevaine

Nous avons capturé 1176 individus parmi lesquels 211 femelles et 491 mâles. Nous pouvons observer deux vagues de migration, la première étant concentrée du 6 au 16 mai, période durant laquelle la température dépasse les 15 °C, avec un taux moyen de passage durant cette période de 59,4 ind./jour (max. le 13 avec 135 ind.). La seconde vague débute le 5 juin et se termine le 30 du même mois, quand la température atteint 22 °C, avec un taux moyen de capture de 16,8 ind./jour (max. le 12 avec 84 ind.). La période comprise entre le 18 mai et le 6 juin, durant laquelle la température a légèrement baissé, est caractérisée par une augmentation de débit, ayant entraîné une légère baisse de la cote en amont du barrage, ce qui pourrait avoir diminué l'attractivité de l'échelle et expliquerait l'absence de migration durant cette période. Des captures de faible importance seront enregistrées régulièrement jusqu'à la fin du suivi (Fig. 4.3).

Il est intéressant de noter que sur les 1176 individus capturés, 718 ont été piégés dans le palier aval de l'échelle lors des vidanges. Ce phénomène avait déjà été observé par le passé et peut s'expliquer de plusieurs façons. Tout d'abord les conditions rencontrées dans l'échelle sont certainement favorables au chevaine qui apprécie les eaux à courant rapide et bien oxygénées. De plus la passe migratoire pourrait accessoirement présenter un site hypothétique de fraie. La présence d'œufs dans l'échelle a d'ailleurs été observée durant ce travail. Une autre explication tiendrait du fait de la tendance majoritaire aux déplacements nocturnes du chevaine. Les relevés étant effectués majoritairement le matin, on peut supposer qu'une bonne partie des individus ayant entamé la remontée n'aient pas terminé celle-ci lors des relevés. Enfin, un troisième élément peut venir s'ajouter. Il pourrait en effet s'agir d'une certaine répulsion au franchissement du dernier bassin par le cône d'entrée, particulièrement en ce qui concerne les gros individus. En effet la taille moyenne des individus capturés en aval est sensiblement supérieure à celle des individus capturés en amont comme nous le verrons plus tard.

4.2.3. Goujon

Le goujon est la deuxième espèce la plus abondamment capturée durant ce travail. 977 individus parmi lesquels 4 femelles et 19 mâles déterminés, ont été capturés. On peut distinguer trois vagues migratoires (fig. 4.4). La première assez intense s'étend du 23 avril, quand la température dépasse 12 °C, au 2 mai. Les deux autres, plus diffuses, s'étendent respectivement du 4 au 18 mai et du 8 au 23 juin, date à laquelle la température a dépassé les 22 °C. L'absence de captures significatives entre le 18 mai et le 8 juin est également à mettre

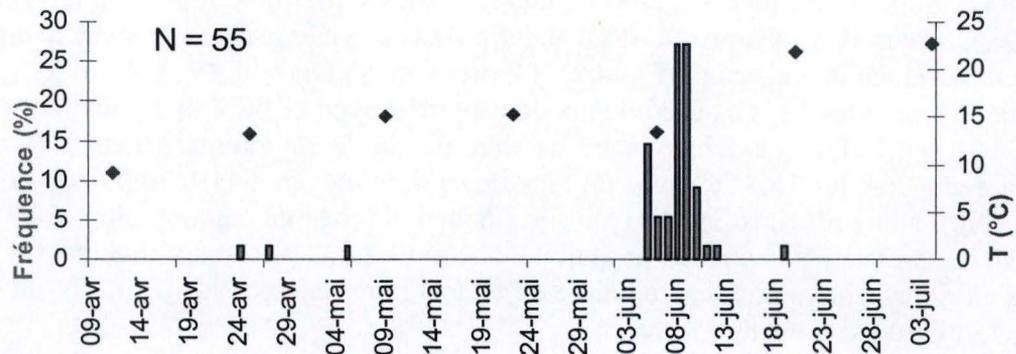


Fig. 4.5 : Répartition des captures de brème commune effectuées à Tailfer du 15 mars au 19 juillet 2006.

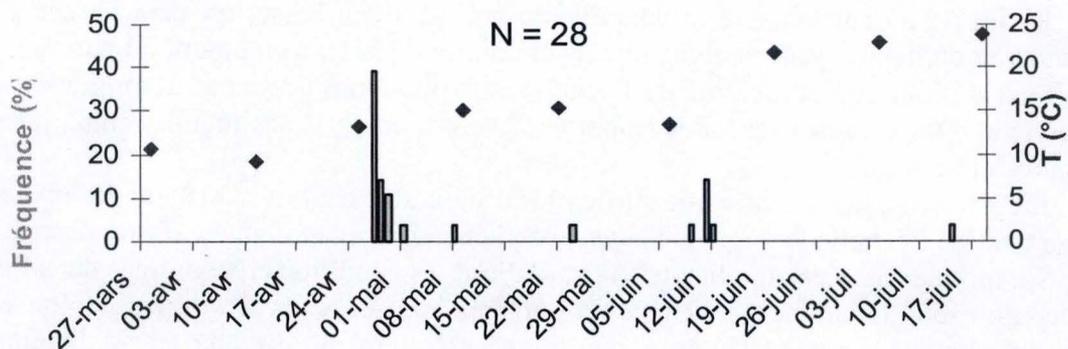


Fig.4.6 : Répartition des captures d'ablette commune effectuées à Tailfer du 15 mars au 19 juillet 2006.

en rapport avec l'augmentation du débit de la Meuse. Les taux moyens de captures durant les trois vagues sont de respectivement 35,6, 20,2 et 16,3 ind./jour.

4.2.4. Brème commune

Au total 55 individus ont été capturés, dont 9 femelles et 28 mâles identifiés. Hormis quelques captures ponctuelles fin avril début mai, on n'observe qu'une seule vague migratoire qui se déroule du 5 au 12 juin, date où la température dépasse les 18°C, avec un taux moyen de capture de 6,4 ind./jour (max. le 8 et 9 juin avec 15 ind./jour) (fig.4.5).

4.2.5. Brème bordelière

Seulement quatre brèmes bordelières ont été capturées cette année. Aucune période de migration ne peut être mise en évidence avec ces captures. Ce nombre de captures est extrêmement faible et insuffisant pour tirer des conclusions sur la caractérisation de la population. Nous discuterons néanmoins de ce résultat par la suite.

4.2.6. Ablette commune

Il n'y a que 28 ablettes qui ont été capturées cette année. Nous pouvons tout de même distinguer deux vagues migratoires, l'une du 27 avril au 1 mai quand la température atteint les 12 °C, et l'autre du 9 au 12 juin, après la légère baisse de température sous les 13-14 °C (Fig. 4.6). Ces deux vagues correspondent à la première et à la troisième vagues observées pour le gardon. Tout comme pour la brème bordelière, ce nombre est extrêmement faible en comparaison des valeurs enregistrées par le passé. Ces données sont également insuffisantes pour permettre de caractériser la population, mais nous discuterons également de ce résultat plus tard.

4.2.7 Anguille

Au total 14 anguilles ont été capturées dans le piège, la première capture datant du 10 mai, quand la température atteint les 15 °C, et la dernière du 07 juillet. Néanmoins, comme cela avait été dit pour les années précédentes, on peut supposer que le nombre réel d'anguilles ayant emprunté la passe est bien supérieure à celui observé.

4.3. Caractérisation des populations migrantes

Sur base des données que nous avons récoltées, nous allons tenter de caractériser les populations des espèces les plus abondamment capturées parmi les espèces choisies, c'est à dire le gardon, le chevaine, le goujon et la brème commune. La trop faible abondance de données en ce qui concerne l'ablette commune, la brème bordelière et l'anguille ne nous permettant pas de les caractériser de manière efficace.

Nous allons procéder en trois étapes. Tout d'abord nous étudierons la structure des classes de tailles des populations, ensuite nous détaillerons les classes d'âge présentes et enfin nous étudierons les relations poids-longueur existantes.

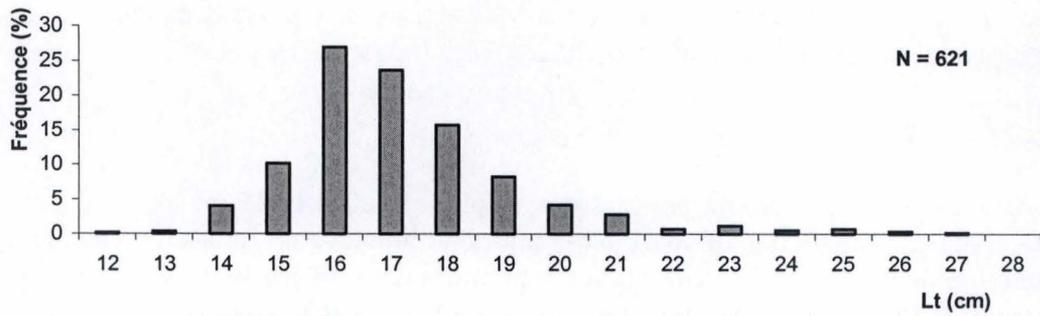


Fig. 4.7 : Classes de tailles des gardons capturés à Tailfer du 15 mars au 19 juillet 2006.

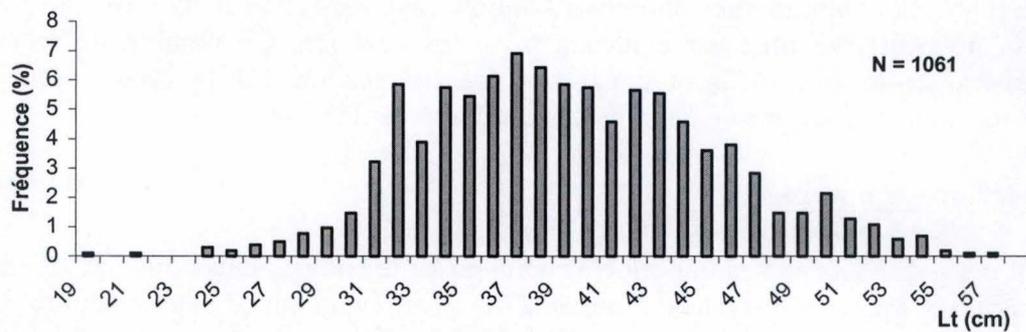


Fig. 4.8 : Classes de tailles des chevaines capturés à Tailfer du 15 mars au 19 juillet 2006.

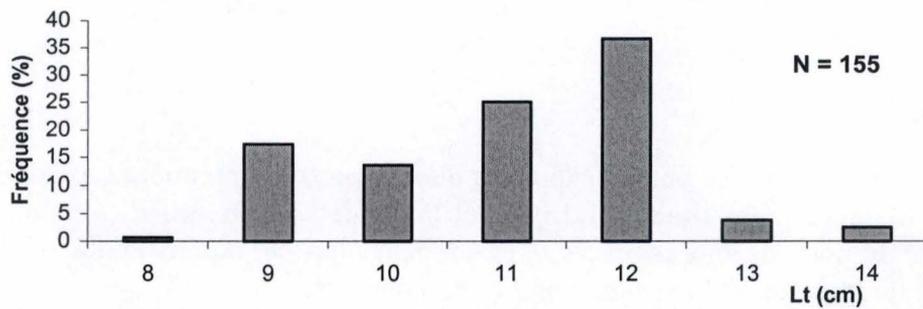


Fig. 4.9 : Classes de tailles des goujons capturés à l'échelle de Tailfer du 15 mars au 19 2006.

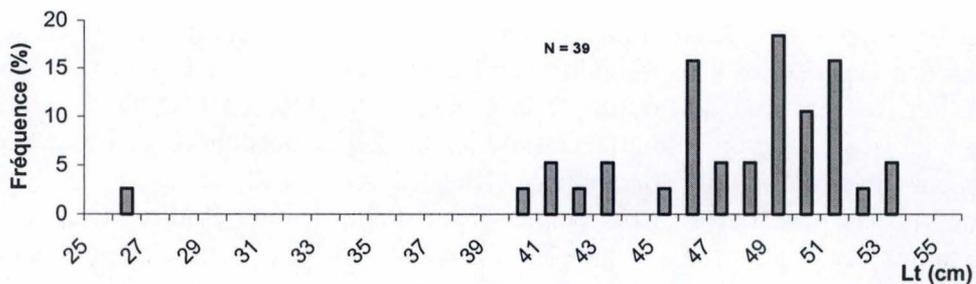


Fig. 4.10 : Classes de taille des brèmes communes capturées à Tailfer du 15 mars au 19 juillet 2006.

4.3.1. Structure par taille

4.3.1.1. Gardon

Comme nous pouvons le voir sur la figure 4.7, l'éventail de classes de tailles du gardon s'étend de 12 à 27 cm (moy. = 17,1 cm ; E.T. = 1,9) avec un mode centré sur 16 cm. La taille maximale théorique calculée par Didier (1990) pour le gardon en Meuse est de 45.1 cm, mais de telles tailles n'ont jamais été recensées à Tailfer durant la période 1989-1998. Le maximum observé étant de 35 cm.

4.3.1.2. Chevaine

L'histogramme des classes de tailles du chevaine est nettement plus diffus. Il s'étend de 19 à 57 cm (moy. = 39,2 cm ; E.T. = 6,1). Le mode principal se situe à 37 cm, mais on pourrait également en distinguer un à 32, un à 42 et un à 50 cm. Si l'on effectue une séparation entre palier amont et palier aval, on observe que la taille moyenne des individus du palier aval est de 37,5 cm pour 40,3 cm dans le palier aval. Ceci pourrait conforter notre hypothèse de répulsion du cône d'entrée sur les plus gros spécimens.

4.3.1.3. Goujon

Pour le goujon le mode principal est centré sur 12 cm (moy. = 12,1 cm ; E.T. = 1,4). L'histogramme s'étend entre des valeurs comprises de 8 à 14 cm (fig.4.9).

4.3.1.4. Brème commune

Excepté un individu de 24 cm, l'éventail de taille observé s'étend de 40 à 53 cm (moy. = 47,3 cm ; E.T. = 4,8), et le mode principal est centré sur 49 cm (fig.4.10).

4.3.1.5. Anguille

L'éventail de tailles des anguilles capturées s'étend de 37 à 55 cm, pour un poids allant de 110 à 222 g. Ceci s'explique de nouveau par la physionomie de piège qui permet sans doute le passage des jeunes anguilles en migration, de plus petite taille, à travers les barreaux de la grille en amont de l'échelle.

4.3.2. Classes d'âge

4.3.2.1. Gardon

Quatre classes d'âge ont été recensées parmi les écailles analysées, à savoir 2, 3, 4 et 5 ans en abondance relative décroissante de 3 à 5 ans (1 seul individu de 2 ans) (Fig.4.11). Si l'on met ce résultat en relation avec les tailles mesurées, on observe que la taille moyenne des individus de : 3, 4 et 5 ans est de respectivement 16,3 cm, 18,4 cm et 22,2 cm. Ces résultats sont en accord avec les valeurs référées par Didier (1996) lors d'études menées sur le bief de Tailfer en 1992 et 1993 pendant lesquelles la taille des gardons de 3 ans était estimée à 16,9 cm. Par contre ceux-ci divergent des résultats obtenus par Didier (1990) à Waulsort où des

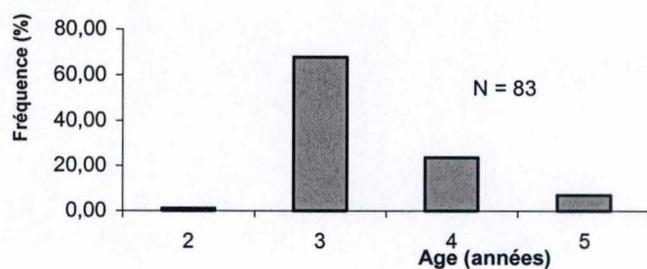


Fig. 4.11 : Classes d'âge des gardons capturés à Tailfer du 15 mars au 19 juillet 2006.

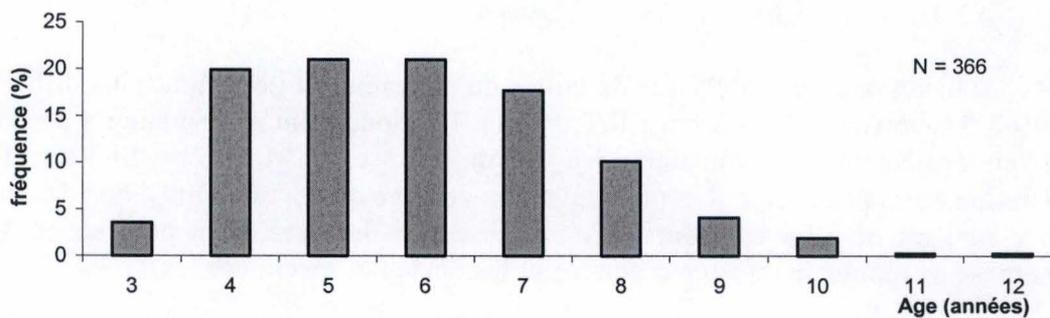


Fig. 4.12 : Classes d'âge des chevaines capturés à Tailfer du 15 mars au 19 juillet 2006.

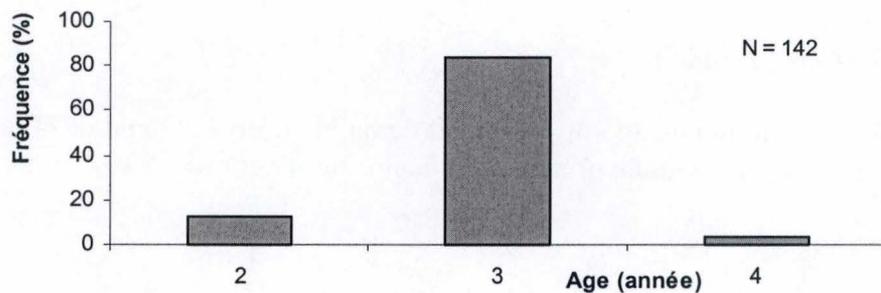


Fig. 4.13 : Classes d'âge des goujons capturés à Tailfer du 15 mars au 19 juillet 2006.

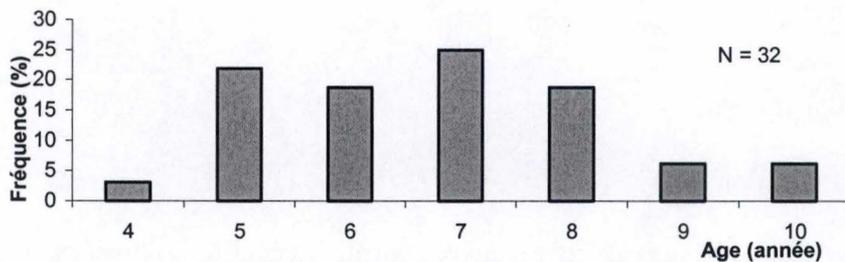


Fig. 4.14 : Classes d'âge des brèmes communes capturées à Tailfer du 15 mars au 19 juillet 2006.

valeurs supérieures étaient observées (18,2 cm à 3 ans ; 21,0 cm à 4 ans ; 23,3 cm à 5 ans). Ceci étant à mettre en relation avec une meilleure qualité d'eau à Waulsort.

4.3.2.2. Chevaine

L'âge des chevaines capturées est compris entre 3 et 12 ans (pour le plus vieil individu piégé). Les plus vieux spécimens observés étant en majeure partie des femelles. Il y a deux classes d'âge modales également représentées : 5 et 6 ans (Fig. 4.12).

4.3.2.3. Goujon

Trois classes d'âge ont été observées, 2, 3 et 4 ans, avec une nette prédominance d'individus âgés de 3 ans (83,8 %) (Fig. 4.13). Ceci s'explique aisément par le fait que l'âge généralement accepté de première maturation est de deux ans, mais que cette première maturation n'est pas toujours très efficace (Rosecchi et Kestemont, 2001). D'autre part il apparaît qu'il existe un taux de mortalité élevé dans les populations de goujons la quatrième année (Mann, 1980).

4.3.2.4. Brème commune

L'âge des brèmes communes capturées est compris entre 4 et 10 ans, avec un mode centré sur 7 ans (25 % de la population) (Fig. 4.14). Cet éventail de classes d'âge assez étendu correspond à des poissons de taille comprise entre 40 et 53 cm (excepté l'individu de 4 ans mesurant 24 cm). Cet éventail de taille n'est sans doute représentatif que d'une portion non complète de la population mosane. En effet, la littérature nous renseigne un âge de vie maximal pour la brème commune de 22 à 25 ans, et la longueur maximale théorique de la population mosane du bief de Tailfer a été estimée à 86,6 cm par Flamant (2004), avec le plus gros individu capturé lors de cette étude mesurant 60,3 cm. On comprendra cependant aisément que des individus d'une telle taille n'utilisent pas la passe migratoire vu les dimensions de celle-ci.

4.3.3. Relation poids-longueur

Les relations poids-longueur pour les espèces rencontrées sont de type puissance, ce qui nous impose de travailler à l'échelle logarithmique pour linéariser la relation.

L'établissement de la pente et de l'ordonnée à l'origine de la relation linéaire va nous permettre de comparer dans un premier temps les variations de croissance inter-sexe, et ensuite de comparer les variations inter-annuelles par espèce. Ce dernier point sera traité dans la partie 4.4.2

4.3.3.1. Gardon

La relation générale poids-longueur est la suivante : $y = 3 \cdot 10^{-6} x^{3,2276}$. Nous sommes donc en présence d'une croissance allométrique majorante, pour laquelle le poids augmente plus vite que la taille ($b > 3$). La valeur moyenne de l'indice condition (K) calculé sur base de 574 individus est égal à 1,05. Ce résultat est obtenu en utilisant 3 comme exposant. Si l'on utilise b à la place, on obtient une valeur de K égale à 0,55. Nous garderons la valeur de 1,05 pour la suite des analyses, ceci dans une optique de standardisation avec les années auxquelles cette valeur sera comparée.

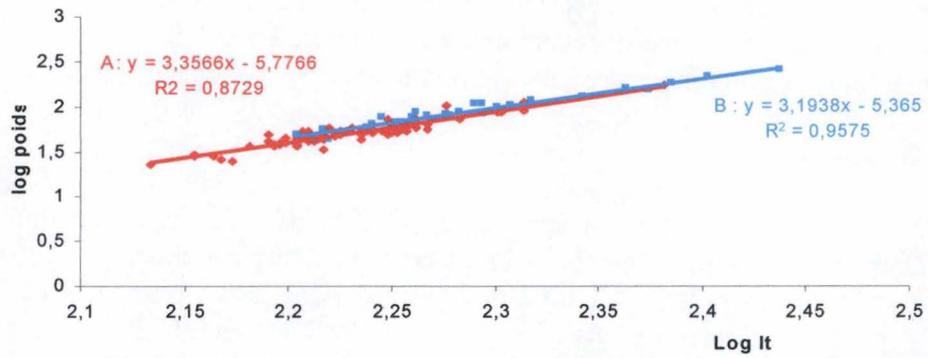


Fig. 4.15 : Relations log poids-longueur des gardons mâles (A) et femelles (B) capturés à Tailfer du 15 mars au 19 juillet 2006.

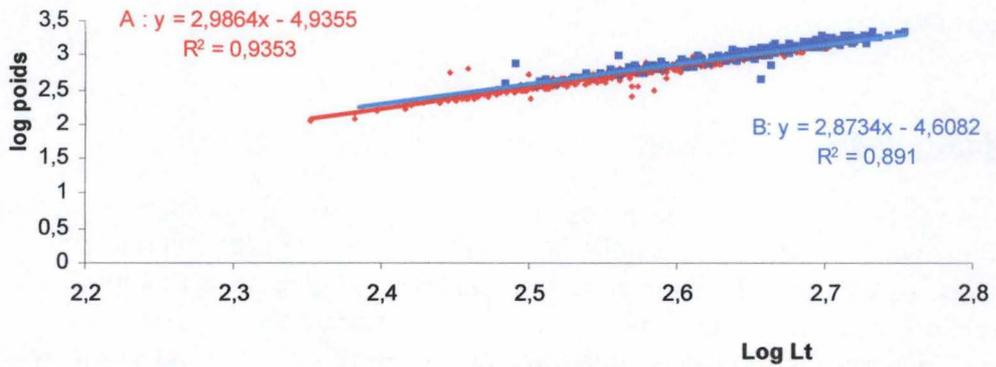


Fig. 4.16 : Relation log poids-longueur des chevaines mâles (A) et femelles (B) capturés à Tailfer du 15 mars au 19 juillet 2006.

4. Résultats

La relation logarithmique poids-longueur des gardons mâles et femelles capturés à Tailfer durant notre étude est représentée à la figure 4.15. La relation associée aux femelles est $y = 4 \cdot 10^{-6} x^{3,1938}$ ($R^2 = 0,958$). Celle associée aux mâles est $y = 2 \cdot 10^{-6} x^{3,357}$ ($R^2 = 0,873$).

Le test du parallélisme effectué à l'aide du tableau 4.2, nous montre que les pentes ne diffèrent pas de manière significative ($T_{obs} = 0,92 < T_{95} = 1,98$).

Tableau 4.2 : SPE et SCE dans l'analyse de la variance sur les pentes pour les gardons mâles et femelles capturés à Tailfer du 15 mars au 19 juillet 2006.

| | moy x | moy y | n | spe | SCE _x | SCE _y |
|----------|--------|--------|----|--------|------------------|------------------|
| mâles | 2,2283 | 1,7032 | 94 | 0,4514 | 0,1341 | 1,7346 |
| femelles | 2,2853 | 1,9340 | 37 | 0,3276 | 0,1026 | 1,0928 |

Nous réalisons donc un test d'analyse de la covariance sur l'ordonnée à l'origine.

Tableau 4.3 : SCE et SPE dans l'analyse de la covariance sur l'ordonnée à l'origine pour les gardons mâles et femelles capturés à Tailfer du 15 mars au 19 juillet 2006.

| Source de variation | Degrés de liberté | Somme des carrés et des produits des écarts | | |
|---|-------------------|---|-------|-------|
| | | y | xy | x |
| Entre populations | 1 | 1,834 | 0,368 | 0,113 |
| Entre observations dans les populations | 129 | 2,894 | 0,798 | 0,242 |
| Totaux | 130 | 4,728 | 1,166 | 0,355 |

Tableau 4.4 : Tableau d'analyse de la covariance sur l'ordonnée à l'origine pour les gardons mâles et femelles capturés à Tailfer du 15 mars au 19 juillet 2006.

| Source de variation | Degrés de liberté | Somme des carrés des écarts ajustés | Carrés moyens ajustés | F |
|---|-------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------------|
| | | | | Entre populations |
| Entre observations dans les populations | 128 | 0,2632 | 0,002056388 | |
| Totaux | 129 | 0,8919 | | F _{0,975} = 5,18 |

La valeur de la variable F observée conduit au rejet de l'hypothèse d'égalité des ordonnées à l'origine pour les deux sexes.

4.3.3.2. Chevaine

La relation poids-longueur établie d'après nos données est la suivante : $y = 7 \cdot 10^{-6} x^{3,0644}$. Nous sommes donc en présence d'une croissance allométrique pour laquelle le poids augmente légèrement plus vite que la taille ($b > 3$). La valeur moyenne de K calculée sur base de 366 individus est égale à 1,10 (0,87 en utilisant b comme exposant).

La relation logarithmique poids-longueur est présentée à la figure 4.16. La relation des femelles est $y = 2 \cdot 10^{-5} x^{2,8734}$ ($R^2 = 0,891$), et celle des mâles est $y = 1 \cdot 10^{-5} x^{2,9864}$ ($R^2 = 0,935$).

Le test du parallélisme, réalisé à l'aide du tableau 4.5, nous montre que les pentes ne diffèrent pas de manière significative ($T_{obs} = 1,53 < T_{95} = 1,96$).

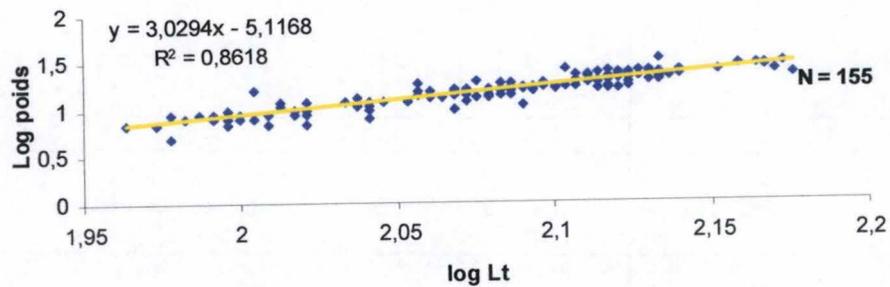


Fig. 4.17 : Relation log poids-longueur des goujons capturés à Tailfer du 15 mars au 19 juillet 2006.

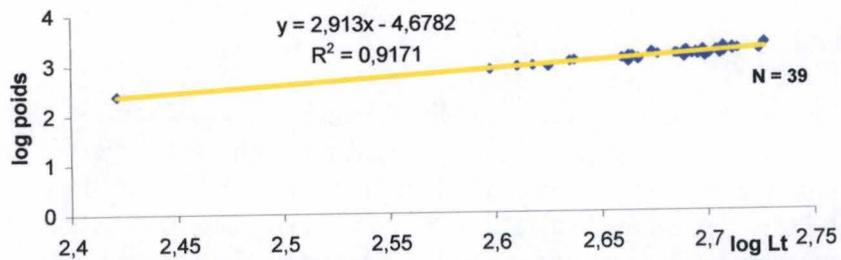


Fig. 4.18 : Relation log poids-longueur des brèmes communes capturées à Tailfer du 15 mars au 19 juillet 2006.

4. Résultats

Tableau 4.5 : SPE et SCE dans l'analyse de la variance sur les pentes pour les chevaines mâles et femelles capturés à Tailfer du 15 mars au 19 juillet 2006.

| | Moy x | Moy y | n | Spe | Sce x | Sce y |
|----------|--------|--------|-----|--------|--------|---------|
| mâles | 2,5649 | 2,7245 | 488 | 5,8363 | 1,9530 | 18,6300 |
| femelles | 2,6486 | 3,0046 | 206 | 1,8878 | 0,6466 | 6,3890 |

Nous réalisons donc un test d'analyse de la covariance sur l'ordonnée à l'origine.

Tableau 4.6 : SCE et SPE dans l'analyse de la covariance sur l'ordonnée à l'origine pour les gardons mâles et femelles capturés à Tailfer du 15 mars au 19 juillet 2006.

| Source de variation | Degrés de liberté | Somme des carrés et des produits des écarts | | |
|---|-------------------|---|--------|-------|
| | | y | xy | x |
| Entre populations | 1 | 13,612 | 3,308 | 1,214 |
| Entre observations dans les populations | 692 | 25,019 | 7,694 | 2,600 |
| Totaux | 693 | 38,631 | 11,002 | 3,814 |

Tableau 4.7 : Tableau d'analyse de la covariance sur l'ordonnée à l'origine pour les gardons mâles et femelles capturés à Tailfer du 15 mars au 19 juillet 2006.

| Source de variation | Degrés de liberté | Somme des carrés des écarts ajustés | Carrés moyens ajustés | F |
|---|-------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------|
| Entre populations | 1 | 4,647 | 4,647 | 1430,060 |
| Entre observations dans les populations | 691 | 2,246 | 0,003 | |
| Totaux | 692 | 6,893 | | F0,975 = 5,05 |

La valeur obtenue pour la variable F observée conduit au rejet de l'hypothèse d'égalité des ordonnées à l'origine pour les deux sexes.

4.3.3.3. Goujon

La relation poids-longueur que l'on peut établir est la suivante : $y = 8 \cdot 10^{-6} x^{3,0294}$. Le poids augmente donc légèrement plus vite que la taille ($b > 3$). L'indice condition (K) calculé sur base de 155 individus est égal à 0,89 (0,83 en utilisant le coefficient b comme exposant).

Seulement 4 femelles et 19 mâles ont été identifiés, ce qui est insuffisant pour établir une relation linéaire propre aux sexes. Par contre la relation linéaire poids-longueur propre à l'espèce peut être établie et est représentée à la figure 4.17.

4.3.3.4. Brème commune

La relation poids-longueur calculée sur base de 39 individus est la suivante : $y = 2 \cdot 10^{-5} x^{2,913}$. C'est donc la taille qui augmente légèrement plus vite que le poids ($b < 3$). L'indice condition (K) calculé est égal à 1,23 (1,72 en utilisant le coefficient b comme exposant).

Seulement 9 femelles ont été identifiées, ce qui ne permet pas de définir les relations linéaires propres aux sexes. La relation logarithmique propre à l'espèce est quant à elle présentée à la figure 4.18.

4.3.3.5. Anguille

La relation poids-longueur calculée sur base des 14 individus capturés est : $y = 0,0159 x^{1,4867}$ ($R^2 = 0,763$). Cette valeur de R^2 n'est pas suffisante pour attribuer avec certitude

cette relation à l'espèce. Ceci s'explique bien évidemment par le nombre trop faible de captures. Néanmoins, la valeur assez faible de b impliquant une croissance de la taille nettement plus rapide que le poids peut se comprendre vu la physiologie du corps. Ceci dépend cependant très certainement de l'âge ainsi que des conditions du milieu. En effet, Dulcic (2004), a pour sa part mesuré un coefficient allométrique (b) de 3,47 ($r^2 : 0,99$) sur base de huit individus de taille comprise entre 26 et 61 cm, lors d'une étude menée dans des estuaires de l'Adriatique en Croatie de 2000 à 2004.

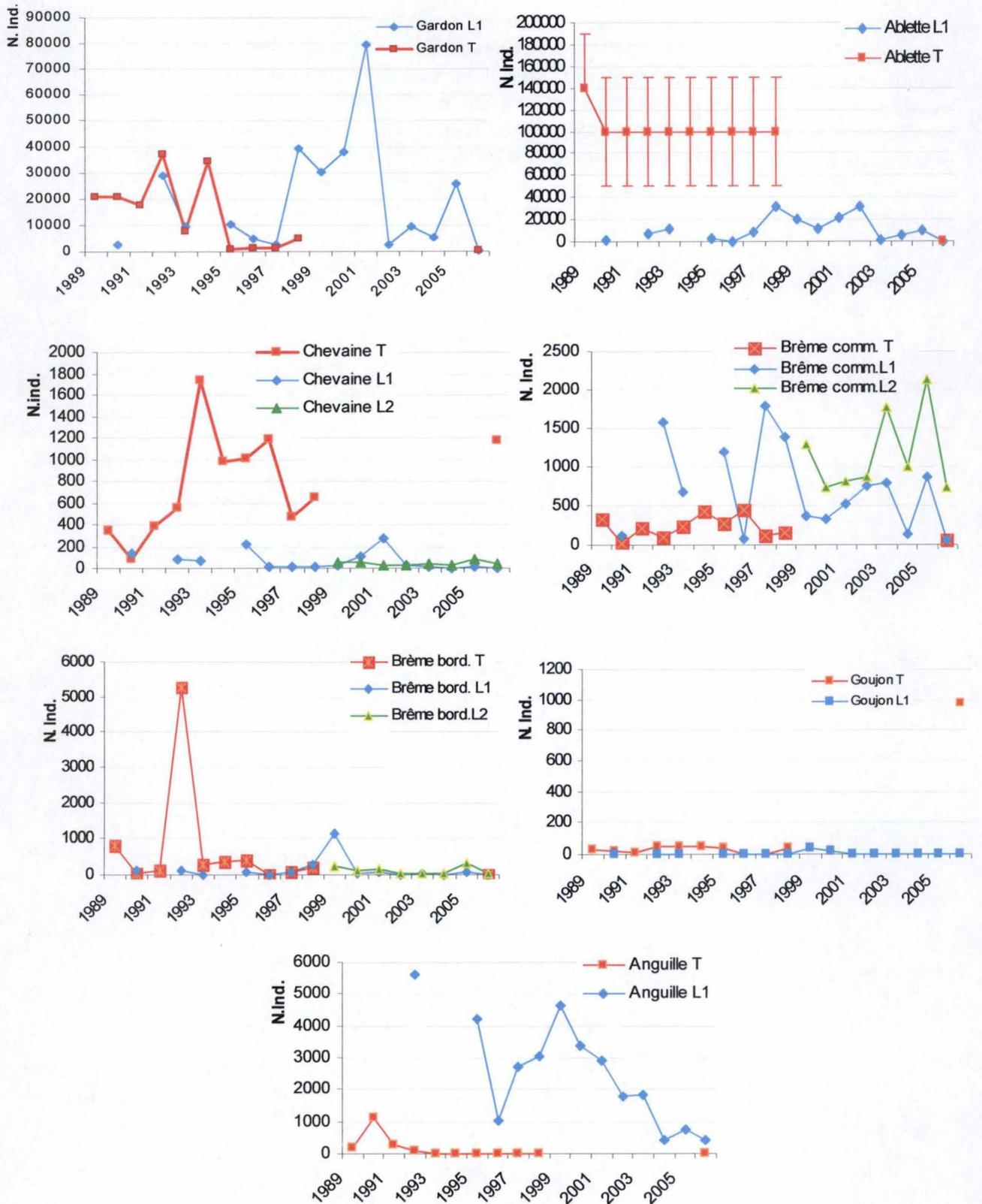


Figure 4.19 : Evolution des captures des principales espèces de 1989 à 1998 avec comparaison à 2006 pour Tailfer, de 1990 à 2006 pour l'ancienne passe migratoire de Lixhe (L1), et de 1999 à 2006 pour la nouvelle passe de Lixhe (L2). Pour l'ablette à Tailfer, il n'y a pas de valeur précise du nombre de captures qui soit disponible mais uniquement des estimations globales d'où la présence d'écart types.

4.4. Etude des variations inter-annuelles

Nous allons à présent comparer nos résultats avec les données disponibles sur les relevés effectués à Tailfer durant la période 1989-1998, et le cas échéant avec les données recensées à Lixhe.

4.4.1. Evolution des captures

Pour ce qui est de l'évolution du nombre de captures des principales espèces, présentée à la figure 4.19, plusieurs tendances peuvent être mises en évidence.

Remarquons tout d'abord la très faible valeur observée pour les captures d'ablette à Tailfer (28 individus pour 140-200.000 en 1989, et des valeurs semblables mais non répertoriées les autres années) (Prignon et al, 1998 ; Gillet, comm. Perso.). Cette tendance est également présente à Lixhe où 249 individus ont été capturés cette année. Bien que la différence soit moins marquée qu'à Tailfer, une si faible valeur n'avait jamais été observée à Lixhe. Nous pouvons tirer le même constat en ce qui concerne les captures de gardon aussi bien à Lixhe qu'à Tailfer, bien que l'abondance des captures présente de très fortes variations inter-annuelles. Notons que les faibles valeurs observées à Tailfer de 1995 à 1998 sont dues à l'enlèvement régulier d'un barreau sur deux pour permettre des enregistrement vidéos durant les périodes migratoires, ce qui permettait le passage des petits poissons (cfr 2.6.1). Néanmoins, malgré cette sous-évaluation de la fréquentation réelle de la passe, les valeurs observées sont tout de même plus élevées qu'en 2006.

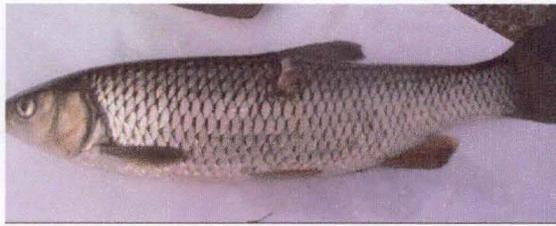
L'évolution des captures de chevaines ne montre par contre pas de différence entre 2006 et les autres années. Par contre nous pouvons observer que les chevaines sont nettement plus abondantes à Tailfer qu'à Lixhe.

Au sujet des brèmes bordelières, bien que les captures ne soient jamais très abondantes (excepté en 1992 à Tailfer), on observe une diminution importante des captures aussi bien à Tailfer qu'à Lixhe, étant là moins marquée dans la nouvelle passe migratoire que dans la nouvelle. L'évolution des captures de brèmes communes montre également une nette diminution à Tailfer ainsi que dans l'ancienne échelle de Lixhe, mais cette tendance ne s'observe pas dans la nouvelle échelle.

Pour le goujon, si les valeurs observées sont toujours très faibles à Lixhe, on observe par contre une très nette augmentation des captures à Tailfer.

Enfin, pour ce qui est des anguilles, on observe toujours de faibles valeurs en 2006 à Tailfer, bien que celles-ci soient certainement sous estimées vu la physionomie du piège. Par contre à Lixhe, la tendance à la diminution des captures se confirme.

Bien que le nombre total de captures en 2006 soit relativement faible, on peut néanmoins observer un phénomène nouveau à Tailfer. Nous nous intéressons ici à l'abondance relative des espèces, on effectue une distinction entre poissons rhéophiles, c'est à dire qui manifestent une préférence nette pour les cours d'eau à courant rapide et, généralement, à fond de gravier, tels le chevaine, le goujon, le barbeau ou la vandoise, et les poissons non rhéophiles, regroupant des espèces typiquement limnophiles qui préfèrent les eaux lentes et chaudes, comme le carassin ou la carpe, mais surtout des espèces ubiquistes indifférentes à la vitesse du courant mais à tendance plutôt limnophile, comme le gardon, l'ablette commune, les brèmes communes et bordelières ainsi que l'anguille, migrateur anadrome (cfr tableau 4.1).



a)



b)



c)



d)



e)

Photos 4.1 : Illustration de séquelles laissées par des coups de becs sur les chevaines capturées à Tailfer du 15 mars au 19 juillet 2006. En a et b : coups de bec ayant entraîné des nécroses. En c : coups de bec frais et anciens sans nécroses, et en d et e : anciennes traces de coups de bec.

4.4.2. Rapport rhéophiles / non-rhéophiles

L'abondance relative des poissons rhéophiles par rapport au nombre total de captures est nettement supérieure à celle des poissons non-rhéophiles, ce qui ne s'était jamais observé durant la période 1989-1998 (fig. 4.20). Ceci dit, ce changement n'est pas spécialement dû à une augmentation du nombre de captures de rhéophiles, excepté pour le goujon qui n'avait jamais atteint de telles valeurs lors des années 89-98 (max. 148 ind. en 92), mais plutôt aux très faibles valeurs recensées en ce qui concerne les gardons ainsi que les brèmes communes et bordelières.

Plusieurs facteurs peuvent avoir influé sur ces résultats. Il y a sans doute principalement les conditions climatiques particulières rencontrées cette année. Mais nous avons également constaté un fait surprenant durant cette étude : 47,2 % des chevaines capturés présentaient des marques fraîches ou anciennes de coups de bec probablement causées par les cormorans (pourcentage calculé sur base de 236 individus en fin d'étude). Ceci est assez surprenant, car même des individus de taille importante dépassant les 40 cm présentaient ce type de traces (photos 4.1).

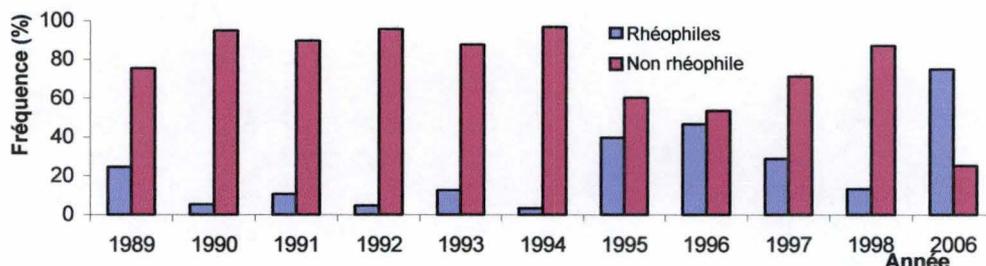


Fig.4.20 : Evolution du rapport rhéophiles / non-rhéophiles dans les captures enregistrées à Tailfer durant la période janvier-juillet de 1989 à 1998 (ablettes non comprises) et comparaison avec les résultats obtenus en 2006.

Si l'on compare ces résultats avec ceux répertoriés à Lixhe ces dernières années, nous n'observons pas du tout la même tendance (fig. 4.21). Bien que depuis 2002 la proportion de rhéophiles dans les captures semble avoir légèrement augmenté, le rapport reste très favorable aux non-rhéophiles. Ceci peut s'expliquer par la moins bonne qualité de l'eau en basse Meuse qui est plus fréquemment soumise à la pollution et qui subit régulièrement des phénomènes de baisse de concentration en oxygène durant la période estivale, ainsi que par une température moyenne plus élevée. Ceci créant un habitat moins favorable aux espèces plus exigeantes que sont les rhéophiles.

D'un point de vue abondance des captures, nous pouvons également constater de très faibles valeurs observées (Tableau 4.8).

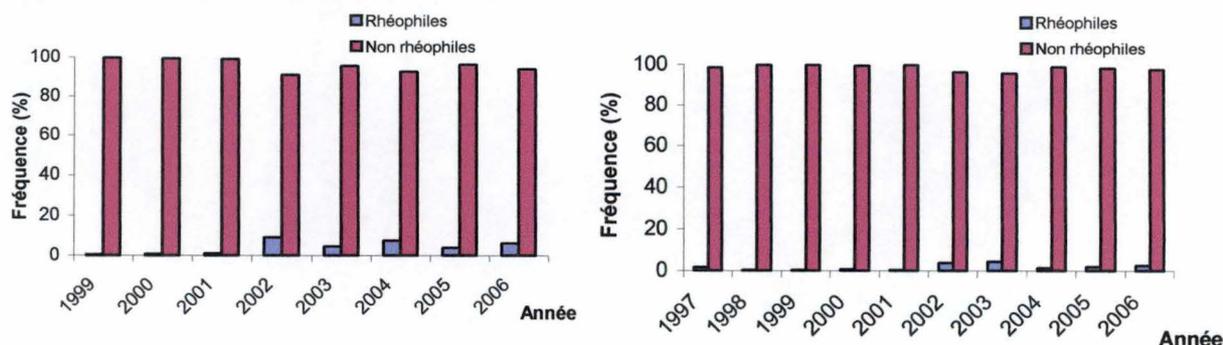


Fig. 4.21 : Evolution du rapport rhéophiles / non-rhéophiles dans les captures effectuées à Lixhe de 1997 à 2006 dans l'ancienne échelle (à droite) et de 1999 à 2006 dans la nouvelle échelle (à gauche) (ablettes non comprises). (D'après les données de Philippart et al. 1998-2006).

| Espèce | Nombre d'individus | Pourcentage de captures |
|---------------------|--------------------|-------------------------|
| Chevaine | 6 | 0,48 |
| Truite fario | 2 | 0,16 |
| Vandoise | 1 | 0,08 |
| Goujon | 3 | 0,24 |
| Vairon | 2 | 0,16 |
| Ablette spirin | 9 | 0,72 |
| Pêrche soleil | 2 | 0,16 |
| Hotu | 4 | 0,32 |
| Aspe | 3 | 0,24 |
| Ide melanote | 8 | 0,64 |
| | | 0,00 |
| Ablette commune | 249 | 19,94 |
| Brème commune | 60 | 4,80 |
| Brème bordelière | 6 | 0,48 |
| Gardon | 454 | 36,35 |
| Hybrides cyprinidés | 3 | 0,24 |
| Tanche | 3 | 0,24 |
| Perche | 23 | 1,84 |
| Gibèle | 1 | 0,08 |
| Carassin | 1 | 0,08 |
| Anguille | 409 | 32,75 |

| Espèce | Nombre d'individus | Pourcentage de captures |
|---------------------|--------------------|-------------------------|
| Barbeau | 10 | 1,15 |
| Chevaine | 40 | 4,61 |
| Truite fario (TM?) | 2 | 0,23 |
| Truite AEC | 1 | 0,12 |
| Hotu | 1 | 0,12 |
| | | |
| Brème commune | 727 | 83,85 |
| Brème bordelière | 30 | 3,46 |
| Gardon | 11 | 1,27 |
| Rotengle | 4 | 0,46 |
| Tanche | 19 | 2,19 |
| Hybrides cyprinidés | 6 | 0,69 |
| Carpe commune | 9 | 1,04 |
| Koi | 1 | 0,12 |
| Silure | 5 | 0,58 |
| Ide melanote | 1 | 0,12 |

Tableau 4.8 : Résultats des captures effectuées à Lixhe de janvier à juillet 2006 dans l'ancienne passe migratoire (à gauche) et dans la nouvelle passe (à droite).

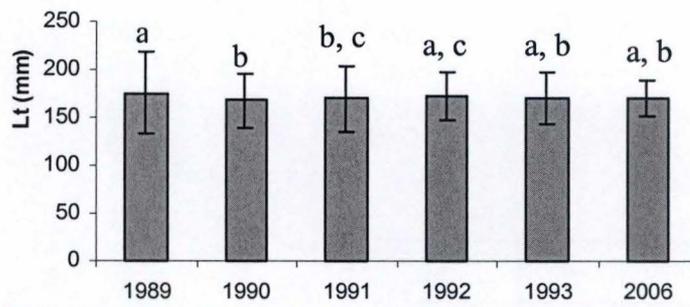


Figure 4.21 : Comparaison des moyennes des longueurs totales des gardons capturés à Tailfer durant la période printanière de 1989 à 1993 et en 2006. Les valeurs n'ayant pas de lettre commune diffèrent significativement ($p < 0.05$).

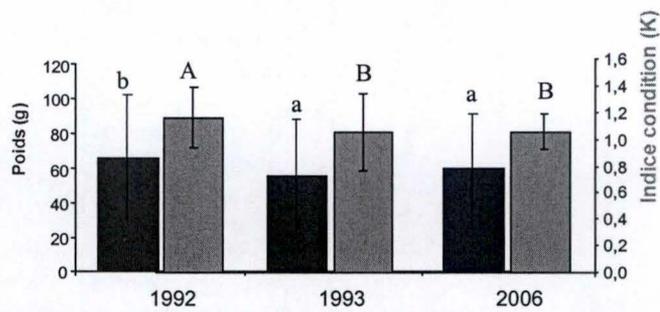


Figure 4.22 : Comparaison des moyennes de poids et d'indice de condition des gardons capturés durant la période printanière en 1992, 1993 et 2006. Les valeurs n'ayant pas de lettre commune diffèrent significativement ($p < 0.05$).

4.4.3. Caractéristiques des espèces

Cette partie est consacrée à la comparaison des principales caractéristiques que nous avons présentées. Nous avons ici traité statistiquement la longueur, le poids, le coefficient de condition ainsi que les relations poids-longueur pour les principales espèces sur les années dont les données disponibles ont été jugées assez représentatives, entre 1989 et 1994 pour la longueur, et entre 1991 et 1994 pour le poids, ainsi qu'en 2006. Les données poids étant moins abondantes que les données longueur.

4.4.3.1 Gardon

Bien que peu de spécimens aient été recensés cette année, les longueurs enregistrées en 2006 sont comparables à toutes les années de 1989 à 1993 (fig. 4.21). Parmi ces dernières, seule l'année 1993 est également comparables à toutes les autres. Pour ce qui est des données de poids et de K, nous ne pouvons comparer à 2006 que les données de 1992 et 1993, car seules ces années présentent des données suffisamment détaillées de mesures de poids individuel correspondant à la période étudiée.(fig. 4.22). Nous remarquons cependant que les années 1993 et 2006 sont comparables sur les deux points et toutes deux différentes de 1992.

Pour ce qui est des relations poids-longueur, nous avons réalisé un test de parallélisme sur les pentes des relations linéaires pour les années 1992, 1993 et 2006 (Tableau 4.9). Les relations poids-longueur pour chacune de ces années sont les suivantes :

- 1992 : $y = 0,0079x^{3,1277}$ ($R^2 = 0,92$) ; N = 857
- 1993 : $y = 0,0117x^{2,963}$ ($R^2 = 0,79$) ; N = 512
- 2006 : $y = 3*10^{-6}x^{3,2276}$ ($R^2 = 0,87$) ; N = 574

Tableau 4.9 : Test de parallélisme : tableau d'analyse de la variance sur les pentes pour les gardons à Tailfer en 1992, 1993 et 2006.

| Sources de variation | d.l. | SCE | CM | F |
|---|------|-------|-------|--------------------|
| Régression linéaire moyenne | 1 | 29,41 | 29,41 | 9588,58 |
| Non-parallélisme | 2 | 0,03 | 0,02 | 5,38 |
| Ecart par rapport aux régressions linéaires | 1781 | 5,46 | 0,00 | $F_{0,95} = 3,00$ |
| Totaux | 1784 | 34,90 | | $F_{0,975} = 3,69$ |

La valeur observée pour la variable Fb conduit au rejet de l'hypothèse d'égalité des coefficients de régression pour les trois années comparées.

Nous avons ensuite réalisé plusieurs tests t de Student sur base des valeurs de SCE et SPE calculées dans le tableau 4.10.

Tableau 4.10 : SPE et SCE dans l'analyse de la variance sur les pentes pour les gardons capturés à Tailfer en 1992, 1993 et 2006.

| Paramètres | 1992 | 1993 | 2006 | Global |
|-------------------|--------|-------|--------|--------|
| moyenne X | 1,176 | 1,311 | 2,232 | 1,573 |
| moyenne Y | 1,573 | 1,998 | 1,714 | 1,762 |
| Nombre n | 780 | 512 | 495 | 1787 |
| SCE _x | 1,216 | 0,798 | 0,988 | 3,001 |
| SCE _y | 13,264 | 9,829 | 11,809 | 34,902 |
| SPE | 3,652 | 2,555 | 3,187 | 9,394 |
| SCE _{yx} | 2,294 | 1,647 | 1,521 | 5,462 |

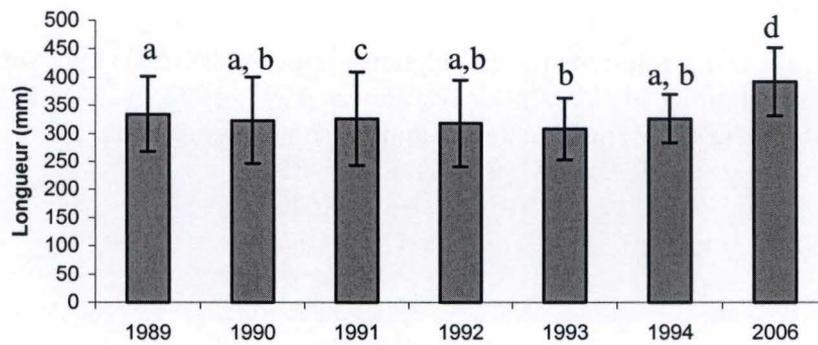


Figure 4.23 : Comparaison des moyennes des longueurs totales des chevaines capturés à Tailfer durant la période printanière de 1989 à 1994 et en 2006. Les valeurs n'ayant pas de lettre commune diffèrent significativement ($p < 0.05$).

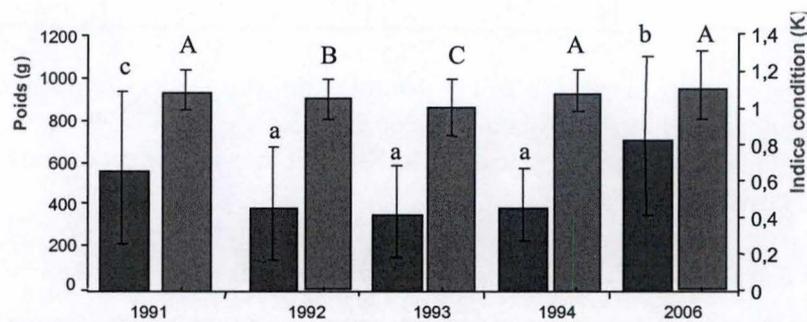


Figure 4.24 : Comparaison des moyennes de poids et d'indice de condition des chevaines capturés durant la période printanière de 1991 à 1994 et en 2006. Les valeurs n'ayant pas de lettre commune diffèrent significativement ($p < 0.05$).

On rejette l'hypothèse d'égalité des pentes entre 1992 et 1993 ($t_{\text{obs}} = 2,49$ pour $t_{0,975} = 1,96$), ainsi qu'entre 1992 et 2006 ($t_{\text{obs}} = 3,01$ pour $t_{0,975} = 1,96$), par contre on accepte l'hypothèse d'égalité des pentes entre 1993 et 2006 ($t_{\text{obs}} = 0,30$ pour $t_{0,975} = 1,96$). Ces dernières présentaient déjà des poids et des longueurs comparables. Nous réalisons à présent un test d'analyse de la covariance sur l'ordonnée à l'origine pour les droites de régression de ces deux années.

Tableau 4.11 : SCE et SPE dans l'analyse de la covariance sur l'ordonnée à l'origine pour les gardons capturés à Tailfer en 1993 et 2006.

| Source de variation | Degrés de liberté | Somme des carrés et des produits des écarts | | |
|---|-------------------|---|---------|---------|
| | | y | xy | x |
| Entre populations | 1 | 20,313 | -65,834 | 213,482 |
| Entre observations dans les populations | 1005 | 21,638 | 5,742 | 1,785 |
| Totaux | 1006 | 41,951 | -60,091 | 215,268 |

Tableau 4.12 : Tableau d'analyse de la covariance sur l'ordonnée à l'origine pour les gardons capturés à Tailfer en 1993 et 2006.

| Source de variation | Degrés de liberté | Somme des carrés | Carrés moyens | F |
|---|-------------------|--------------------|---------------|---------------------------|
| | | des écarts ajustés | ajustés | |
| Entre populations | 1 | 22,008 | 22,008 | 6973,420 |
| Entre observations dans les populations | 1004 | 3,169 | 0,003 | |
| Totaux | 1005 | 25,177 | | F _{0,975} = 5,05 |

La valeur de la variable F observée conduit au rejet de l'hypothèse d'égalité des ordonnées à l'origine pour les années 1993 et 2006.

4.4.3.2 Chevaine

Pour ce qui est des longueurs, nous pouvons constater que l'année 2006 est significativement différente des autres années (fig. 4.23). Il en est de même pour 1991. Pour le K, on remarque que les données 2006 sont comparables à 1991 et 1994. Par contre, le poids moyen de 2006 n'est significativement comparable avec aucun autre, tout comme 1991, les trois autres étant comparables entre eux (fig. 4.24). Les valeurs élevées de longueur moyenne et de poids (bien que ce dernier présente de très grands écarts type) que l'on observe cette année ne sont pas dues à une augmentation de la taille moyenne des chevaines, mais plutôt à une diminution du nombre de captures de petits spécimens, ce qui tire la moyenne vers le haut.

En ce qui concerne les relations poids-longueur, nous avons réalisé un test de parallélisme sur les pentes des relations linéaires pour les années 1991, 1992, 1993, 1994 et 2006 (Tableau 4.13). Les relations poids-longueur pour chacune de ces années sont les suivantes :

- 1991 : $y = 4 \cdot 10^{-6} x^{3,1665}$ ($R^2 = 0,99$) ; N = 249
- 1992 : $y = 6 \cdot 10^{-6} x^{3,0839}$ ($R^2 = 0,98$) ; N = 431
- 1993 : $y = 2 \cdot 10^{-5} x^{2,9255}$ ($R^2 = 0,89$) ; N = 916
- 1994 : $y = 2 \cdot 10^{-5} x^{2,8701}$ ($R^2 = 0,88$) ; N = 876
- 2006 : $y = 7 \cdot 10^{-6} x^{3,0644}$ ($R^2 = 0,94$) ; N = 1029

4. Résultats

Tableau 4.13 : Test de parallélisme : tableau d'analyse de la variance pour les chevaines à Tailfer en 1991, 1992, 1993, 1994 et 2006.

| Sources de variation | d.l. | SCE | CM | F |
|--|------|--------|--------|--------------------|
| Régression linéaire moyenne | 1 | 192,84 | 192,84 | 38942,67 |
| Non-parallélisme | 4 | 0,26 | 0,07 | 13,30 |
| Ecarts par rapport aux régressions linéaires | 3461 | 17,14 | 0,00 | $F_{0,95} = 2,37$ |
| Totaux | 3466 | 210,25 | | $F_{0,975} = 2,79$ |

La valeur observée pour la variable Fb conduit au rejet de l'hypothèse d'égalité des pentes pour les cinq années comparées. En nous référant aux équations des relations poids-longueur propres à chaque année, ainsi qu'au fait des différences significatives des années 1991 et 2006 avec toutes les autres années, nous pouvons supposer que les droites de régression de ces deux années diffèrent chacune des quatre autres. Nous les avons néanmoins testées pour vérifier notre hypothèse. Les tests t de Student effectués sur base des valeurs de SCE et SPE calculées dans le tableau 4.14, conduisent bien au rejet de l'hypothèse d'égalité des pentes pour les années 1991 et 2006 ($t_{obs} = 2,07$ pour $t_{0,975} = 1,96$), ce qui prouve que la pente de 1991 est bien différente des autres. Nous avons également testé la régression entre 1992 et 2006 ($t_{obs} = 2,05$ pour $t_{0,975} = 1,96$), ce qui nous prouve également que la pente de 2006 est différente des autres années.

Tableau 4.14 : SPE et SCE dans l'analyse de la variance sur les pentes pour les chevaines capturés à Tailfer de 1991 à 1994 ainsi qu'en 2006.

| Paramètres | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 2006 | global |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Moyenne X | 2,544 | 2,492 | 2,499 | 2,511 | 2,589 | 2,527 |
| Moyenne Y | 2,668 | 2,487 | 2,495 | 2,563 | 2,806 | 2,604 |
| Nombre n | 249 | 436 | 923 | 839 | 1024 | 3471 |
| SCE _{Ex} | 2,960 | 5,629 | 5,807 | 2,705 | 4,687 | 21,787 |
| SCE _{Ey} | 30,032 | 53,474 | 54,602 | 25,023 | 47,115 | 210,246 |
| SPE | 9,373 | 16,758 | 16,566 | 7,761 | 14,362 | 64,820 |
| SCE _{Eyx} | 0,352 | 3,581 | 7,349 | 2,755 | 3,103 | 17,139 |

Nous réalisons ensuite un second test de parallélisme sur les trois autres années (1992, 1993, 1994) (Tableau 4.15)

Tableau 4.15 : Test de parallélisme : tableau d'analyse de la variance pour les chevaines à Tailfer en 1992, 1993 et 1994.

| Sources de variation | d.l. | SCE | CM | F |
|--|------|--------|--------|--------------------|
| Régression linéaire moyenne | 1 | 119,37 | 119,37 | 19121,24 |
| Non-parallélisme | 2 | 0,05 | 0,02 | 3,91 |
| Ecarts par rapport aux régressions linéaires | 2192 | 13,68 | 0,01 | $F_{0,95} = 3,00$ |
| Totaux | 2195 | 133,10 | | $F_{0,975} = 3,69$ |

La valeur observée pour la variable Fb conduit au rejet de l'hypothèse d'égalité des pentes pour les trois années comparées. Nous avons ensuite réalisé plusieurs tests de t de Student toujours sur base du tableau 4.14. On rejette l'hypothèse d'égalité des pentes entre 1992 et 1993 ($t_{obs} = 2,35$ pour $t_{0,975} = 1,96$) ainsi que entre 1992 et 1994 ($t_{obs} = 2,07$ pour $t_{0,975} = 1,96$). Par contre on accepte l'hypothèse nulle d'égalité des coefficients de régression pour les années 1993 et 1994 ($t_{obs} = 0,30$ pour $t_{0,975} = 1,96$).

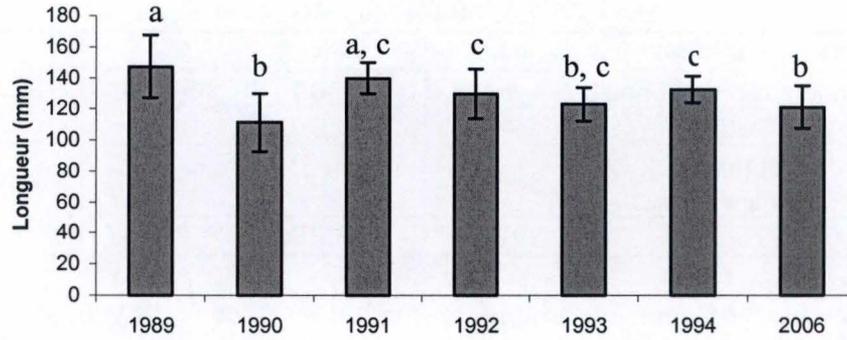


Figure 4.25 : Comparaison des moyennes des longueurs totales des goujons capturés à Tailfer durant la période printanière de 1989 à 1994 et en 2006. Les valeurs n'ayant pas de lettre commune diffèrent significativement ($p < 0.05$).

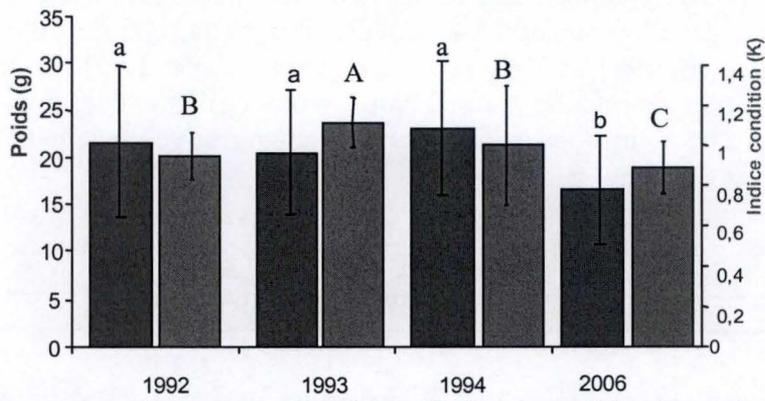


Figure 4.26 : Comparaison des moyennes de poids et d'indice de condition des goujons capturés durant la période printanière en 1992, 1993, 1994 et 2006. Les valeurs n'ayant pas de lettre commune diffèrent significativement ($p < 0.05$).

4. Résultats

Nous réalisons à présent un test d'analyse de la covariance sur l'ordonnée à l'origine pour les droites de régression de ces deux années.

Tableau 4.16 : SCE et SPE dans l'analyse de la covariance sur l'ordonnée à l'origine pour les chevaines capturés à Tailfer en 1993 et 1994.

| Source de variation | Degrés de liberté | Somme des carrés et des produits des écarts | | |
|---|-------------------|---|---------|-------|
| | | y | xy | x |
| Entre populations | 1 | 2,022 | 44,119 | 0,063 |
| Entre observations dans les populations | 1760 | 79,626 | 278,463 | 8,512 |
| Totaux | 1761 | 81,647 | 234,345 | 8,575 |

Tableau 4.17 : Tableau d'analyse de la covariance sur l'ordonnée à l'origine pour les chevaines capturés à Tailfer en 1993 et 1994.

| Source de variation | Degrés de liberté | Somme des carrés des écarts ajustés | Carrés moyens ajustés | F |
|---|-------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------|
| Entre populations | 1 | 2707,064 | 2707,064 | 300,988 |
| Entre observations dans les populations | 1004 | 9029,887 | 8,994 | |
| Totaux | 1005 | 6322,823 | | F0,975 = 5,05 |

La valeur de la variable F observée conduit au rejet de l'hypothèse d'égalité des ordonnées à l'origine pour les années 1993 et 1994.

4.4.3.3 Goujon

Pour ce qui est des longueurs, la moyenne 2006 est relativement faible, et n'est comparable qu'à celles observées en 1990 et 1993 (fig. 4.25). Cependant, peu de captures avaient été réalisées en 1990 ce qui entraîne certainement une erreur dans la moyenne. On peut donc dire qu'en 2006, bien qu'étant significativement comparable à 1993, les goujons présentent une taille moyenne relativement petite. Attention toutefois au fait qu'une classe d'âge (3 ans) est nettement dominante dans nos données, ce qui n'est peut-être pas forcément le cas les autres années.

Au sujet du poids moyen et de l'indice K, ils suivent la même tendance et sont, pour 2006, significativement plus faibles qu'en 1992, 1993 et 1994 (fig. 4.26).

Nous avons également comparer les relations poids-longueur, nous avons réalisé un test de parallélisme sur les pentes des relations linéaires pour les années 1992, 1993 et 2006 (Tableau x). Les relations poids-longueur pour chacune de ces années sont les suivantes :

- 1992 : $y = 5 \cdot 10^{-6} x^{3,129}$ ($R^2 = 0,95$) ; N = 148
- 1993 : $y = 0,0254 x^{2,6668}$ ($R^2 = 0,82$) ; N = 30
- 2006 : $y = 8 \cdot 10^{-6} x^{3,0294}$ ($R^2 = 0,86$) ; N = 155

L'année 1994 n'a pas été prise en compte car bien que les données poids et longueur prises séparément ne soient pas significativement différentes de beaucoup d'autres années, l'équation obtenue pour la relation existante entre les deux paramètres, présente un R^2 de 0,25, ce qui est trop faible pour être considéré comme représentatif. Ceci est probablement dû à une erreur ou un décalage dans l'encodage des données.

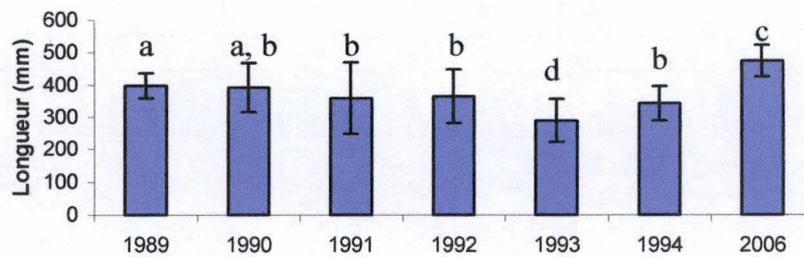


Figure 4.27 : Comparaison des moyennes des longueurs totales des brèmes communes capturées à Tailfer durant la période printanière de 1989 à 1994 et en 2006. Les valeurs n'ayant pas de lettre commune diffèrent significativement ($p < 0.05$).

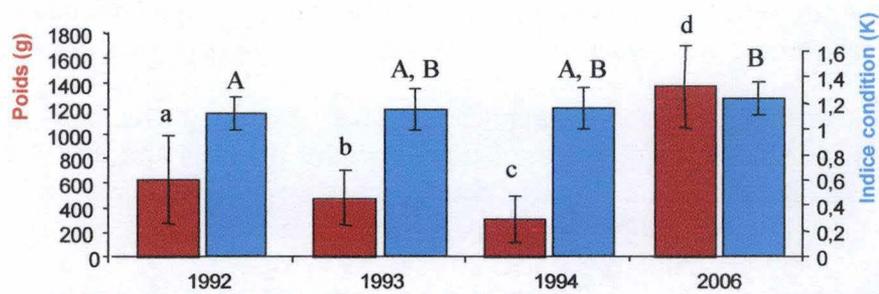


Figure 4.22 : Comparaison des moyennes de poids et d'indice de condition des brèmes communes capturées durant la période printanière en 1992, 1993, 1994 et 2006. Les valeurs n'ayant pas de lettre commune diffèrent significativement ($p < 0.05$).

4. Résultats

Tableau 4.18 : Test de parallélisme : tableau d'analyse de la variance pour les goujons à Tailfer en 1992, 1993 et 2006.

| Sources de variation | d.l. | SCE | CM | F |
|--|------|------|------|---------------|
| Régression linéaire moyenne | 1 | 8,30 | 8,30 | 3111,51 |
| Non-parallélisme | 2 | 0,01 | 0,00 | 1,69 |
| Ecart par rapport aux régression linéaires | 327 | 0,87 | 0,00 | F95 = 2,65 |
| Totaux | 367 | 9,18 | | F0,975 = 3,18 |

La valeur observée pour la variable Fb conduit à l'acceptation de l'hypothèse d'égalité des pentes pour les trois années comparées. Les relations pour ces années sont donc bien parallèles, mais il reste à savoir si elles sont confondues. Nous avons donc effectué un test d'analyse de covariance sur l'ordonnée à l'origine pour les droites de régression de ces trois années (Tableau 4.20).

Tableau 4.19 : SCE et SPE dans l'analyse de la covariance sur l'ordonnée à l'origine pour les goujons capturés à Tailfer en 1992, 1993 et 2006.

| Source de variation | Degrés de liberté | Somme des carrés et des produits des écarts | | |
|---|-------------------|---|-------|-------|
| | | y | xy | x |
| Entre populations | 2 | 1,089 | 0,209 | 0,057 |
| Entre observations dans les populations | 330 | 9,185 | 2,710 | 0,885 |
| Totaux | 332 | 10,274 | 2,919 | 0,942 |

Tableau 4.20 : Tableau d'analyse de la covariance sur l'ordonnée à l'origine pour les goujons capturés à Tailfer en 1992, 1993 et 2006.

| Source de variation | Degrés de liberté | Somme des carrés des écarts ajustés | Carrés moyens ajustés | F |
|---|-------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------|
| Entre populations | 2 | 0,344 | 0,172 | 64,145 |
| Entre observations dans les populations | 329 | 0,882 | 0,003 | |
| Totaux | 331 | 1,225 | | F0,975 = 3,76 |

La valeur de la variable F observée conduit au rejet de l'hypothèse d'égalité des ordonnées à l'origine pour les années 1992, 1993 et 2006. Si l'on se réfère aux équations et que l'on teste l'ordonnée à l'origine de l'année 2006 avec celle de 1992 qui lui est la plus proche, on observe encore un F conduisant au rejet de l'hypothèse d'égalité des ordonnées à l'origine ($F_{obs} = 75$ pour $F_{0,975} = 5,10$; détail voir CD annexe).

4.4.3.4 Brème commune

Nous pouvons également remarquer pour la brème commune que les résultats moyens que nous avons mesurés cette année sont significativement plus élevés que ceux de la période 1989-1994 pour la longueur (fig. 4.27), et de la période 1992-1994 pour ce qui est du poids (fig. 4.28). On constate également que seule l'année 1993 est également significativement différente des autres pour ce qui est de la longueur, mais en étant plus petit cette fois. Par contre aucune moyenne de poids n'est significativement comparable à au moins une des autres. L'indice de condition est quand à lui comparable à 1993 et 1994 pour les années 1992 et 2006 sans que ces derniers ne soient pour autant comparables entre eux (fig. 4.28).

4. Résultats

Pour ce qui est des relations poids-longueur, nous avons également réalisé un test de parallélisme sur les pentes des relations linéaires pour les années 1992, 1993, 1994 et 2006 (Tableau 4.21). Les relations poids-longueur pour chacune de ces années sont les suivantes :

- 1992 : $y = 5 \cdot 10^{-6} x^{3,1415}$ ($R^2 = 0,98$)
- 1993 : $y = 0,0436 x^{2,6213}$ ($R^2 = 0,88$)
- 1994 : $y = 6 \cdot 10^{-5} x^{2,6965}$ ($R^2 = 0,92$)
- 2006 : $y = 2 \cdot 10^{-5} x^{2,913}$ ($R^2 = 0,92$)

Tableau 4.21 : Test de parallélisme : tableau d'analyse de la variance pour les brèmes communes à Tailfer en 1992, 1993, 1994 et 2006.

| Sources de variation | d.l. | SCE | CM | F |
|--|------|-------|-------|--------------------|
| Régression linéaire moyenne | 1 | 20,60 | 20,60 | 2009,71 |
| Non-parallélisme | 3 | 0,25 | 0,08 | 8,12 |
| Écarts par rapport aux régressions linéaires | 385 | 3,95 | 0,01 | $F_{0,95} = 2,65$ |
| Totaux | 389 | 24,80 | | $F_{0,975} = 3,18$ |

La valeur observée pour la variable Fb conduit au rejet de l'hypothèse d'égalité des pentes pour les quatre années comparées. Nous avons ensuite réalisé plusieurs tests de t de Student sur base des valeurs de SCE et SPE calculées dans le tableau 4.22.

Tableau 4.22 : SPE et SCE dans l'analyse de la variance sur les pentes pour les brèmes communes capturées à Tailfer en 1992, 1993, 1994 et 2006.

| Paramètres | 1992 | 1993 | 1994 | 2006 | global |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|--------|
| moyenne X | 2,548 | 2,529 | 2,450 | 2,673 | 2,550 |
| moyenne Y | 2,689 | 2,635 | 2,411 | 3,107 | 2,711 |
| Nombre n | 73 | 200 | 82 | 38 | 393 |
| SCE _x | 0,967 | 0,906 | 0,757 | 0,101 | 2,731 |
| SCE _y | 9,698 | 8,705 | 5,456 | 0,937 | 24,796 |
| SPE | 3,037 | 2,258 | 1,911 | 0,295 | 7,500 |
| SCE _{yx} | 0,157 | 3,079 | 0,633 | 0,078 | 3,946 |

On rejette l'hypothèse d'égalité des pentes entre 1992 et 1994 ($t_{obs} = 4,01$ pour $t_{0,975} = 1,984$). Par contre, on accepte l'hypothèse d'égalité des pentes entre 1993 et 1994 ($t_{obs} = 0,418$ pour $t_{0,975} = 1,972$), entre 1993 et 2006 ($t_{obs} = 0,758$ pour $t_{0,975} = 1,972$), ainsi qu'entre 1992 et 2006 ($t_{obs} = 1,478$ pour $t_{0,975} = 1,984$). Si l'on se réfère aux équations propres à chaque année ainsi qu'aux résultats que l'on vient d'obtenir, on peut également rejeter les hypothèses d'égalités des pentes entre les années 1992/1993, par contre on peut accepter l'égalité des pentes entre les années 1994/2006.

Nous réalisons à présent un test d'analyse de la covariance sur l'ordonnée à l'origine pour les droites de régression de ces quatre années.

Tableau 4.23 : SCE et SPE dans l'analyse de la covariance sur l'ordonnée à l'origine pour les brèmes capturées à Tailfer en 1992, 1993, 1994 et 2006.

| Source de variation | Degrés de liberté | Somme des carrés et des produits des écarts | | |
|---|-------------------|---|-------|-------|
| | | y | xy | x |
| Entre populations | 3 | 14,518 | 4,099 | 1,477 |
| Entre observations dans les populations | 389 | 24,796 | 0,119 | 2,731 |
| Totaux | 392 | 39,314 | 4,217 | 4,207 |

Tableau 4.25 : Présentation de quelques captures de chevaines marquées à Tailfer durant la période 1991-1994.

| Date | Lieu | Lt (mm) | Pd (g) | Sexe | K | Bague |
|------------|-----------------------------|---------|--------|------|------|-------|
| 20-juin-91 | Tailfer | 389 | | I | | C4909 |
| 23-juin-93 | Tailfer | 402 | 721,0 | M | 1,11 | C4909 |
| 12-mai-94 | Tailfer | 412 | - | I | | C4909 |
| 22-juin-91 | Tailfer | 341 | 374 | M | 0,94 | C4923 |
| 24-juin-91 | Tailfer | 342 | 356 | M | 0,89 | C4923 |
| 26-juin-91 | Tailfer | 341 | 350 | M | 0,88 | C4923 |
| 15-juin-92 | Tailfer | 342 | 341 | M | 0,85 | C4923 |
| 02-mai-93 | Tailfer | - | - | I | - | C4923 |
| 08-juin-93 | Tailfer | - | - | | - | C4923 |
| 10-juin-94 | Tailfer | 346 | 344 | M | 0,83 | C4923 |
| 15-juin-94 | Tailfer | 341 | 342 | M | 0,86 | C4923 |
| 24-juin-91 | Tailfer | 396 | 660 | M | 1,06 | C4932 |
| 15-juin-92 | Tailfer | 398 | 640 | I | 1,02 | C4932 |
| 17-juin-92 | Tailfer | 397 | 636 | M | 1,02 | C4932 |
| 03-mai-93 | Tailfer | - | - | I | - | C4932 |
| 20-juin-91 | Tailfer | 361 | | M | | C4975 |
| 03-mai-93 | Tailfer | - | - | I | - | C4975 |
| 24-mai-93 | Tailfer | - | - | I | - | C4975 |
| 28-mai-93 | Tailfer | - | - | | - | C4975 |
| 08-juin-93 | Tailfer | - | - | | - | C4975 |
| 23-juin-93 | Tailfer | 368 | 542,0 | M | 1,09 | C4975 |
| 02-juin-92 | Tailfer | 361 | 512 | M | 1,09 | C5013 |
| 14-juin-92 | Tailfer | 362 | 492 | M | 1,04 | C5013 |
| 02-mai-93 | Tailfer | - | - | I | - | C5013 |
| 26-mai-93 | Tailfer | - | - | | - | C5013 |
| 06-juin-93 | Tailfer | - | - | | - | C5013 |
| 23-juin-93 | Tailfer | 360 | 550,0 | M | 1,18 | C5013 |
| 27-juin-93 | Tailfer | 362 | - | M | - | C5013 |
| 26-juin-91 | Tailfer | 326 | 368 | M | 1,06 | C5374 |
| 09-févr-92 | (bac de Waulsort) | 32 cm | | | | C5374 |
| 26-juin-91 | Tailfer | 346 | 418 | M | 1,01 | C5379 |
| 27-juin-91 | Tailfer | 347 | 412 | M | 0,99 | C5379 |
| 28-juin-91 | Tailfer | 345 | | M | | C5379 |
| 25-févr-92 | Anseremme, quai de Meuse | 34 cm | | | | C5379 |
| 17-juin-92 | Tailfer | 393 | 619 | M | 1,02 | C7419 |
| 03-mai-93 | Tailfer | - | - | I | - | C7419 |
| 26-mai-93 | Tailfer | - | - | | - | C7419 |
| 25-juin-93 | Tailfer | - | - | | - | C7419 |
| 02-juil-93 | Tailfer | 385 | - | M | - | C7419 |
| 10-mai-94 | Tailfer | 388 | - | M | | C7419 |
| 21-mai-94 | Rivière | - | - | M | | C7419 |
| 04-juin-95 | Tailfer | 399 | 591 | M | 0,93 | C7419 |
| 24-juin-95 | Tailfer | 397 | 597 | M | 0,95 | C7419 |
| 09-juil-95 | Tailfer | 399 | 616 | | 0,97 | C7419 |
| 27-mai-96 | Tailfer | 397 | 567 | | 0,91 | C7419 |
| 26-avr-93 | Tailfer | 365 | 525 | I | 1,08 | C7612 |
| 28-avr-93 | Houx | 371 | 490 | I | | C7612 |
| 26-avr-93 | Tailfer | 276 | 230 | I | 1,09 | L8644 |
| 26-mai-93 | Tailfer | - | - | | - | L8644 |
| 28-avr-94 | Au-delà frontière française | 28 | | | | L8644 |

(d'après Gillet, Comm. Perso.)

Tableau 4.24 : Tableau d'analyse de la covariance sur l'ordonnée à l'origine pour les brèmes capturées à Tailfer en 1992, 1993, 1994 et 2006.

| Source de variation | Degrés de | Somme des carrés | Carrés moyens | F |
|---|-----------|------------------|---------------|--------------------|
| Entre populations | 3 | 10,296 | 3,432 | 53,714 |
| Entre observations dans les populations | 388 | 24,790 | 0,064 | |
| Totaux | 391 | 35,086 | | $F_{0,975} = 3,18$ |

La valeur de la variable F observée conduit au rejet de l'hypothèse d'égalité des ordonnées à l'origine pour les quatre années. Si l'on se réfère aux équations, on teste la covariance sur l'ordonnée à l'origine pour les années 1994 et 2006, qui sont du même ordre de grandeur. On obtient une valeur de la variable F observée de 596 pour un $F_{0,975}$ de 5,18 (détail voir Cd annexe), ce qui nous pousse à rejeter l'hypothèse nulle d'égalité des ordonnées à l'origine pour les deux années. Vu que 94 et 2006 possédaient les ordonnées les plus proches l'une de l'autre, on peut en déduire qu'aucune ordonnée à l'origine n'est comparable avec une autre sur les quatre années.

4.4.4. Déplacement des espèces

Nous ne nous intéressons ici qu'au chevaine, qui est le poisson rhéophile le plus abondant en haute Meuse, et qui présente donc un potentiel de déplacements migratoires important. De plus, ce poisson possède des nageoires pectorales assez robustes, ce qui permet d'y fixer une bague sans trop perturber le poisson tout en gardant de bonnes chances que les bagues restent accrochées.

Au cours de la période 1991-1994, des marquages ont été effectués sur le chevaine au moyen de bagues numérotées accrochées à une des deux nageoires pectorales au moyen d'une pince. Au total, 4456 marquages ont été effectués et 665 recaptures ont été recensées. Sur ces 665 recaptures, 468 individus différents ont été répertoriés. Certains chevaines ont donc été recapturés plusieurs fois. Quelques-uns de ces résultats sont présentés au tableau 4.25. Deux constats intéressants peuvent être tirés sur base de ces résultats.

Premièrement, on constate que de nombreux individus sont régulièrement recapturés à Tailfer au cours des années. Par exemple l'individu marqué de la bague C4923 le 22 juin 1991 sera recensé huit fois à Tailfer jusqu'au 15 juin 1994. Un autre exemple est celui du chevaine marqué de la bague portant le numéro C7419 le 17 juin 1992. Celui-ci sera répertorié dix fois jusqu'au 27 mai 1996 dont neuf fois à Tailfer, et une fois à Rivière le 21 mai 1994.

Le deuxième constat est que certains individus marqués peuvent parcourir des distances relativement importantes en très peu de temps. C'est par exemple le cas du chevaine portant la bague C5374 qui a été marqué à Tailfer le 26 juin 1991 et qui a été retrouvé à Waulsort le 9 février 1992. Il a donc effectué un déplacement hivernal de plus de 30 km. Un autre exemple est celui du chevaine portant la bague C7612 qui a été marqué à Tailfer le 26 avril 1993 et que l'on retrouve à Houx deux jours plus tard. Il a donc parcouru une distance de 15,4 km en deux jours, ce qui équivaut à une vitesse moyenne de nage de 5,35 m/min (0,321 km/h). Si l'on considère que le chevaine se déplace essentiellement de nuit, et que la nuit fin avril dure 10 h, cette valeur devient alors 12,8 m/min (0,77 km/h).

Si nous nous intéressons à la croissance des poissons, peu de constats peuvent être dégagés. En effet, on observe très peu d'accroissement de taille au fil du temps chez la plupart des individus, excepté celui portant la bague C4909. Mais attention les données peuvent être

tronquées suite à un changement de matériel de mesure, voir suite aux techniques de mesure des différents expérimentateurs. Quant aux accroissements de poids, on n'observe pas vraiment d'évolution significative, on peut même constater plusieurs diminution du poids au fil du temps, pouvant s'expliquer par le fait que une ou plusieurs pontes aient déjà eu lieu lors des relevés les plus récents, ce qui entraîne inévitablement une perte de poids. Bien entendu, cela pourrait également dépendre d'une multitude de facteurs, tels que l'heure des dernières ingestions du poisson, la disponibilité de nourriture, ou plus globalement les conditions climatiques au moment des relevés, ainsi que celles subies durant l'hiver ayant pu entraîner plus de dépenses énergétiques pour la survie et le maintien du poisson.

5. *Discussion*

5. DISCUSSION

Nous avons constaté que l'initiation des périodes migratoires rencontrées cette année coïncidait logiquement, d'un point de vue température, avec celles rencontrées dans la littérature, bien que pour le gardon et l'ablette, l'initiation se passe généralement à une température légèrement inférieure : 10-12°C en Meuse liégeoise (Philippart *et al.*, 1998), 8-10 °C à Tailfer durant les années 1990 à 1994 (Prignon *et al.*, 1998).

Cette année, l'initiation des migrations à Tailfer s'est déroulée :

- mi-avril à 12 °C pour le goujon
- fin avril, début mai à 13 °C pour le gardon et l'ablette
- début mai à 14-15 °C pour le chevaine
- début juin à 14-15 °C pour la brème commune.

La migration de montaison des anguilles débutant pour sa part en mai à une température de 15 °C.

Nous pouvons également remarquer que la température n'est pas le seul facteur influant sur le rythme migratoire. En effet, très peu de captures ont été effectuées durant la période entre le 18 mai et le 6 juin correspondant à une augmentation du débit atteignant 398 m³/s le 28 mai à Tailfer. Cela a tout d'abord perturbé les remontées par le fait de la diminution du débit dans l'échelle suite à la baisse de la cote en amont du barrage, mais cette augmentation a probablement également perturbé le comportement migratoire, en association avec d'autres facteurs tel que la pression atmosphérique (Northcote, 1998 ; Prignon *et al.*, 1998).

Bien que les captures effectuées durant cette étude n'aient pas été très abondantes, nous avons tout de même pu caractériser quelques espèces de manière efficace.

Les fréquences de tailles des gardons capturés cette année (moy. = 17,1 cm) sont conformes à ce qui avait déjà été observé par le passé. En effet, les tailles recensées sont comparables avec la moyenne de celles des années 1990 à 1994 (16,7 cm) (Prignon *et al.*), et sont également significativement comparables avec les tailles de chaque années prises séparément de 1989 à 1993. L'âge maximal observé cette année est de 5 ans, et pourrait correspondre, à la vue de l'histogramme des tailles (fig. 4.7), à l'âge maximum de la population mosane de gardon. Mais il semble que le gardon puisse vivre bien plus longtemps (Vollestad, L'Abée Lund, 1987), et atteindre des tailles nettement plus élevées. Didier, 1990 avait calculé une taille maximale théorique pour le gardon de 45 cm, or de tels individus n'ont pas été observés durant ce travail où le plus grand spécimen capturé mesurait 27 cm. Le plus grand individu capturé à Tailfer durant la période 1989-1998 mesurant, pour sa part, 35 cm. Ceci pourrait nous laisser penser que seuls les plus jeunes individus empruntent la passe et que l'instinct de migration s'atténue avec l'âge. Une autre hypothèse pourrait venir du fait d'une pression de prédation telles que la durée de vie théorique maximale ne soit jamais atteinte.

Nous n'avons pas pu mettre en évidence de différence de croissance entre gardons mâles et femelles. Bien que le test d'analyse de la covariance nous indique que les ordonnées à l'origine différent, cela n'est pas suffisant pour affirmer une différence de croissance liée au sexe. En effet, si nous nous référons à la définition de la relation poids-longueur, le coefficient de régression varie en fonction du type de croissance du poisson alors que l'ordonnée à l'origine est plutôt tributaire du moment de la capture et du taux de remplissage de l'estomac du poisson (Noiset, 1994). Notons également que nous n'avons pas mis en évidence de

différence significative de croissance sur base de la relation poids-longueur entre l'année 1993 et 2006.

Au sujet du chevaine, la moyenne des longueurs totales des captures 2006 (39,2 cm) est significativement plus grande que la moyenne de chacune des années comprises entre 1989 et 1994 (valeurs comprises entre 30,8 et 33,5 cm). Il en va de même pour les poids sur la période 1991 à 1994 (722 g en 2006 et des valeurs comprises entre 365 et 573 g de 1991 à 1994). Nous n'avons par contre pas mis de différence significative en évidence entre l'indice de condition calculé sur base de valeurs 2006 (1,10), et ceux des années 1991 (1,09) et 1994 (1,08), bien que les poids et les longueurs soient significativement différents et que le K de 2006 soit légèrement plus élevé. Ceci est aisément compréhensible vu que l'indice de condition est un rapport du poids sur la longueur, les deux étant élevés cette année. Il n'y a donc pas d'embonpoint dans la population de chevaines cette année. Il faut cependant garder à l'esprit qu'il n'y pas d'augmentation de la taille moyenne de la population de chevaine, mais que ces résultats sont influencés par l'absence de captures de plus petits individus.

Pour ce qui est de la croissance sur base des relations poids-longueur, nous n'avons pas pu mettre en évidence de différence significative entre la croissance des mâles et des femelles, malgré la divergence d'ordonnée à l'origine, plutôt tributaire du moment de la capture et du taux de remplissage de l'estomac du poisson (Noiset, 1994). Notons toutefois que les individus les plus grands et les plus gros capturés en 2006 étaient des femelles, et correspondaient également aux chevaines les plus âgés parmi les captures.

Nous pouvons également constater que l'histogramme de classes d'âge est assez homogène avec des valeurs semblables de 4 à 7 ans et une décroissance régulière par la suite (fig. 4.12). Ceci peut nous laisser penser que le taux de mortalité, non naturelle, est relativement faible une fois que la maturité sexuelle est atteinte, du moins durant les premières années.

Une autre considération que l'on peut tirer sur le chevaine concerne les distances de migration. Les résultats des captures de chevaines marqués à Tailfer durant la période 1991 à 1994, nous montre que ces derniers peuvent parcourir de très longues distances, parfois en très peu de temps. Ce phénomène a déjà été observé à plusieurs reprises par divers auteurs (Allouche *et al.*, 1999 ; Lucas *et al.*, 1999 ; Fredrich *et al.*, 2003). Par contre nous pouvons également constater une certaine tendance au homing des individus adultes recapturés systématiquement chaque année à Tailfer. Cette tendance au homing ne s'applique pas qu'au site de ponte, mais également aux zones d'alimentation (L'abée Lund et Vollestad, 1986).

Une dernière caractéristique à mettre en rapport avec le chevaine, est liée à sa présence dans l'échelle et au manque d'entrain au franchissement de celle-ci. Ce phénomène, déjà observé par le passé, peut s'expliquer de diverses façons. Tout d'abord les conditions rencontrées dans la passe (courrant rapide, bonne oxygénation) sont certainement favorables comme milieu de vie temporaire pour le chevaine. La passe pourrait également présenter un site hypothétique de fraie, confirmé par la présence d'œufs dans l'échelle. Les déplacements nocturnes du chevaine pourraient également entraîner leur présence dans l'échelle lors des relevés matinaux suite au franchissement non terminé de la passe. Enfin, il pourrait y avoir une certaine répulsion de la part du cône d'entrée, principalement envers les gros individus, ce qui pourrait être confirmé par une taille moyenne des individus capturés dans le palier aval (40,3 cm) supérieure à celle des individus capturés dans le palier amont (37,5 cm).

Si nous nous intéressons à présent au goujon, nous constatons premièrement que la population de haute Meuse semble très bien se porter, car une telle abondance de capture n'avait jamais été observée auparavant. Les migrants capturés cette année sont principalement âgés de trois ans, et l'âge maximal observé est de quatre ans. Ceci pourrait bien être l'âge

maximal atteint par le goujon en Meuse. Rosocchi et Kestemont (2001) nous renseignent une longévité le plus souvent de 4 à 5 ans, pouvant atteindre 7 à 8 ans, mais également limitée à 2 à 3 ans dans le sud. La faible fréquence d'individus de deux ans peut s'expliquer soit par un recrutement plus faible en 2004 ou une forte mortalité hivernale, bien que l'hiver 2004-2005 n'ait pas été particulièrement rude, soit par une maturation pas assez efficace.

Au niveau des caractéristiques physiques, les longueurs de cette année (moy. = 12,1 cm) ne sont comparables qu'aux années 1990 (moy. = 11,1 cm) et 1993 (moy. = 12,3 cm), et apparaissent significativement plus petites que celles des autres années sur la période 1989-1994 (de 13,0 à 14,7 cm). Cependant les valeurs 1990 et 1993 ont été calculées sur base d'un faible nombre d'individus, ce qui pourrait avoir faussé la moyenne effective de la population. Les variables poids (moy. = 16,5 g) et indice de condition (moy. = 0,89) apparaissent également comme significativement inférieurs aux valeurs observées sur la période 1992-1994 (de 20,6 à 23 g, et de 0,95 à 1,11 pour le K). On pourrait donc penser que le taux de croissance du goujon a sensiblement baissé au fil des années. Cependant, l'indice condition que nous obtenons (0,89) ne semble pas très éloigné de celui calculé par Kestemont (0,90) (1988) durant la période de reproduction en condition d'élevage intensif. De plus lors du test des coefficients de régression, aucune différence significative n'a pu être mise en évidence entre les années 1992, 1993 et 2006. Ceci signifie qu'il ne semble pas y avoir de différence de croissance significative, bien que le test des ordonnées à l'origine nous amène au rejet de l'égalité de position des droites. Deux explications s'offrent à nous. Soit les taux de croissance sont semblables, mais avec un moindre rendement actuellement que par le passé, soit les différences sont issues du fait de l'abondance majoritaire d'individus de trois ans en 2006, ce qui n'était peut-être pas le cas par le passé. Nous privilégierons cette seconde hypothèse sans pour autant pouvoir la vérifier.

La brème commune est le seul poisson caractérisé dans notre étude par une croissance allométrique minorante, à l'exception également de l'anguille pour qui la relation poids-longueur n'a pas été jugée assez représentative suite au trop faible nombre de captures. Cette croissance allométrique minorante n'est sans doute pas représentative de la population mosane dans son entièreté. En effet, Flamant 2004 avait calculé un coefficient d'allométrie de 3,15 sur base des brèmes communes migrant vers les annexes fluviales. Par contre, des brèmes achetée lors de cette même étude présentaient un coefficient égal à 2,9, ce qui est identique à celui calculé durant notre travail.

La taille moyenne des brèmes communes capturées est de 47,3 cm et est significativement différente des longueurs moyennes de la période 1989-1994 (de 28,9 à 39,8 cm). Il en va de même en ce qui concerne le poids moyen de cette année (1377 g) comparé aux années 1992 (306 g), 1993 (480 g) et 1994 (629 g). Cependant, tout comme pour le chevaine, ces résultats ont été influencés par l'absence de captures de plus petits spécimens. Nous n'avons d'ailleurs pas pu mettre en évidence de différence significative entre le taux de croissance pour l'année 2006 et ceux des années 1992 à 1994.

Si l'on se réfère aux classes d'âge présentes en 2006 ainsi qu'aux tailles de captures, on peut déduire, tout comme nous l'avons fait pour le gardon, que seule la plus jeune partie de la population de brèmes communes matures utilisent la passe de Tailfer durant leur migration. En effet, la durée de vie de cette espèce peut dépasser 20 ans et la taille maximale théorique atteinte par l'espèce a été estimée par Flamant 2004 à 86,6 cm. Cependant, on comprendra aisément que seul une très faible partie de la population atteigne un tel âge et de telles dimensions.

D'un point de vue abondance des captures, il est difficile d'expliquer pourquoi de si faibles nombres de captures ont été observés. Nous avons pu remarquer une absence générale

de petits individus, mais les résultats les plus surprenants concernent principalement les gardons et les ablettes, tant à Lixhe qu'à Tailfer. L'explication la plus probante serait liée aux conditions hydrologiques, et plus spécifiquement à la température. En effet, les migrations de gardons et d'ablettes s'initient généralement en mars-avril à une température de 10-12 °C (Philippart *et al.*, 1998), et prennent généralement fin lorsque la température dépasse les 15°C (Prignon *et al.*, 1998). Cette année, la température n'a atteint de telles valeurs que la seconde moitié du mois d'avril et a rapidement augmenté pour se stabiliser à environ 15°C durant tout le mois de mai (CIBE, comm. Perso.).

Pour le gardon, la température de ponte renseignée dans la littérature varie de 10 à 20°C : 10-12 °C (Easton et Dolben, 1980), 16 °C (Diamond, 1985) et 18-20 °C (Gillet, 1985 ; Jafri, 1990). Cette ponte est bien évidemment précédée par les différents stades de maturation gonadale qui s'initient en début d'automne quand la température et la photopériode décroissent. La vitellogénèse se poursuit lentement durant l'hiver, tant que la température ne chute pas sous les 3 °C (Gillet et Quéting, 2006), et la maturation finale s'accélère au printemps avec l'élévation de température et l'accroissement de la photopériode (Rinchart et Kestemont, 1996). Kestemont *et al.* (1999), ont mis en évidence que les gardons remontant la Meuse au niveau de l'échelle de Tailfer sont principalement en phase de vitellogénèse exogène. Ces derniers ne sont pas au stade final de maturation contrairement à ceux migrant vers les annexes fluviales qui sont à un stade plus avancé. Les poissons prêts à se reproduire auraient tendance à réduire leur activité migratoire. La rapide augmentation de température de 10 à 15 °C pourrait avoir accéléré la maturation gonadale, ce qui expliquerait que peu de gardons aient entamés de grandes migrations cette année.

Cependant, si l'on se réfère aux données historiques, on observe qu'en 1993, année pour laquelle nous n'avons pas mis en évidence de différence significative de croissance avec les données 2006 à Tailfer, la température avait également augmenté très rapidement, plus vite encore que cette année, et était passée de 9,6 °C le 11 avril à 17,5 °C le 03 mai pour ne quasi plus descendre sous les 15 °C par la suite (Micha *et al.*, 1994). La période intense de migration cette année là s'est étendue du 11 avril au 01 mai, ce qui correspond à peu près à la période de migration de cette année, mais en 1993, 7533 individus avaient été capturés alors que cette année nous n'en avons capturé que 661. Notre hypothèse de réduction de l'activité migratoire suite à une rapide maturation gonadale, n'est donc pas suffisante pour expliquer la faible abondance de gardons.

Ce raisonnement peut également s'appliquer à l'ablette, mais étant un poisson à pontes multiples, l'ablette devrait avoir une période de migration plus étendue, comme en témoignent les résultats des piégeages effectués à Tailfer en 1989. Cette année là, les remontées d'ablettes s'étaient poursuivies jusqu'au mois de juillet. (Micha *et al.*, 1990). Cependant, la valeur relative du nombre de captures d'ablettes en 2006 comparée à celui des années 90 est encore plus faible que pour le gardon. Autrement dit notre raisonnement est loin d'être suffisant pour l'ablette également.

Il y a plusieurs preuves qu'un stress environnemental puisse avoir des effets inhibiteurs sur les fonction reproductrices des vertébrés en général (Wingfield et Sapolsky, 2003). Pour les poissons, le stress peut venir d'une pollution, mais également de perturbation de la température. En effet, une diminution de la température de l'eau, après que celle-ci ait atteint des valeur induisant le comportement reproducteur, peut se traduire par la fin de toute activité reproductrice, comme constaté par Mattheeuws en Meuse en 1977 (Mattheeuws *et al.*, 1981). Cette année, la température a une première fois dépassé 10 °C fin mars, mais est rapidement redescendue à des valeurs de 8-9 °C, avant de remonter au dessus des 10-12 °C

après la mi avril, ce qui pourrait avoir inhibé le comportement migrateur d'une majorité des gardons et ablettes.

Il a également déjà été constaté que suite à un blocage prolongé devant un obstacle difficilement franchissable, le gardon détourne ses flux énergétiques d'une nage dynamique vers une mobilisation des réserves pour la maturation finale et la ponte. De migrant actif, il devient inactif (Bengen, 1992). Ceci pourrait expliquer pourquoi il n'y a quasi plus eu de captures à Tailfer après l'augmentation de débit durant la seconde moitié du mois de mai.

Une considération qui pourrait intervenir, serait une diminution des stocks suite à une trop forte prédation. Cette prédation pourrait être l'apanage, des poissons super-prédateurs tels que le brochet, le sandre ou le silure (*Silurus glanis* L.), mais aussi et surtout des oiseaux piscivores principalement représentés par le grand cormoran (*Phalacrocorax carbo* L.) et le héron cendré (*Ardea cinerea* L.) dont les populations sont devenues très conséquentes ces dernières années.

La très grande proportion de chevaines capturés à Tailfer, présentant des traces de coups de bec pourraient étayer cette hypothèse. Cependant, si l'on s'intéresse à la prédation du cormoran en Meuse, on observe que celle-ci a été estimée à 30,7 tonnes en 288 jours lors de la période 2001-2002. Le régime alimentaire étant composé en biomasse par 26,6 % de gardons, 16,2 % d'anguilles, 3,2% de brèmes bordelières, 0,9 % de chevaines et 0,2 % d'ablettes (5,5 kg), mais attention ce dernier résultat est sans doute sous estimé suite à la dégradation des structures osseuses par le chyme gastrique (Tarbe, 2002). La biomasse de gardon en Meuse est quant à elle estimée à 225 kg/ha (Evrard et Micha, 2003). Les cormorans consomment donc entre 9,7 et 10,6 % du stock de gardons. Cette valeur correspond à un peu plus du double de l'estimation des prélèvements de gardons par la pêche récréative qui est estimée à 4,6 % de la biomasse (Evrard et Micha, 2003). Il apparaît également que le nombre de cormorans en Wallonie semble se stabiliser depuis 2004, ce qui voudrait dire que la prédation exercée par ces dernier n'augmente plus (Paquay, 2005).

Le dénombrement du héron cendré montre une augmentation exponentielle des couples nicheurs depuis 1988. Ce nombre est en effet passé de 50 nids en 1988 à environ 1050 nids en 2002 dont 42,8 % se situent dans une zone couvrant le sillon Sambre et Meuse, le Condroz et Herve. Peu de données existent sur l'estimation de la prédation du héron qui généralement pratique la pêche à la quète et à l'affût dans les eaux peu profondes, mais qui occasionnellement pratique également la pêche en vol, en plongée ou à la nage (Maréchal, 2004). Une étude menée sur le lac Grand-lieu durant la période de reproduction nous indique une prédation estimée à 1,92 kg/ha (Feuteun et Marion, 1994). Philippart *et al.* (2004), ont estimé la consommation journalière du héron en aval du barrage de Lixhe à 0,374 kg/oiseau avant le début de nourrissage des jeunes et à 0,547 kg/oiseau pendant la période de nourrissage.

Il est difficile d'estimer quelle est la biomasse de sandre et de brochet présents en Meuse ainsi que la prédation qu'ils exercent sur les communautés piscicoles. Une indication peut venir du nombre de captures effectuées par les pêcheurs qui semblent moins élevées actuellement qu'il y a une dizaine d'années sans pour autant que des chiffres précis soient disponibles (Paquay, comm. perso.).

Le retour du silure en Meuse confirmé par les captures de pêcheurs ainsi que par les captures effectuées dans la nouvelle passe migratoire de Lixhe, pourrait également être un facteur de prédation supplémentaire sur la faune piscicole. Il n'y a cependant que très peu de données disponibles quant à la prédation réellement exercée par le silure sur les différentes

communautés piscicoles. Nous savons par contre qu'il est assez opportuniste dans son alimentation qui se compose principalement de poissons tels que brèmes, carpes, sandres, gardons, rotengles, tanches, aspes, brochets, silures, perches, grémilles, mais également de petits mammifères ainsi que de mollusques. Ce régime alimentaire a été établi à partir d'examen de contenus stomacaux de silure adultes (Orlova et Popava, 1976). La très large gamme de proies consommées par le silure montre bien le caractère opportuniste de ce poisson. Son impact sur les communautés de gardon et d'ablette ne doit donc pas être trop important, d'autant plus pour l'ablette qui ne figure pas spécialement dans le régime alimentaire des individus adultes.

Nonobstant toutes ces considérations, il serait tout de même étonnant que la biomasse de gardon estimée à 225 kg/ha par Evrard et Micha (2003), ait brusquement chuté en si peu de temps.

La faible abondance de captures de brèmes communes et bordelières à Tailfer tout comme dans l'ancienne passe de Lixhe est à relativiser, car ces espèces ne présentent pas d'instinct migrateur très prononcé. Nous pouvons donc aisément admettre que si les conditions hydrologiques ont perturbé les migrations cette année, il n'est pas trop surprenant de n'obtenir que de faibles nombres de captures pour ces deux espèces. En terme de biomasse, il n'y a pas de données précises estimant celle des brèmes bordelières, par contre pour la brème commune, la biomasse en Meuse a été estimée à 135 ± 20 kg/ha par Flamant (2004) et, tout comme pour le gardon, il serait étonnant que la biomasse ait chuté en si peu de temps.

Enfin, au sujet du suivi des stocks d'anguille, les données récoltées à Tailfer ne sont pas suffisantes pour tirer des conclusions, bien que l'on puisse tout de même noter que sur les 14 individus capturés, 4 présentaient, tout comme les chevaines, des traces de coups de becs. Les résultats des captures effectuées à Lixhe se corrélaient par contre parfaitement dans la tendance déjà observée de la diminution des remontées (Philippart *et al.*, 2005).

6. *Conclusion et perspectives*

6. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Au terme de ce travail, plusieurs constats peuvent être tirés. Tout d'abord, nous avons enregistré cette année une très faible abondance globale de remontées, sans doute liée aux conditions hydrologiques rencontrées cette année.

La seule espèce ne présentant pas de variation significative du nombre de captures est le chevaine. D'un point de vue caractéristiques de la population migrante, nous pouvons constater une augmentation de la taille moyenne des individus capturés principalement influencée par l'absence de chevaines de petite taille dans les remontées. Cette absence d'individus de petites tailles n'est d'ailleurs pas l'apanage unique du chevaine, mais est généralisable aux autres espèces. Nous n'avons par contre pas mis en évidence de différence de croissance significative entre les chevaines capturés cette année et les résultats des piégeages effectués de 1990 à 1994. Sur base des histogrammes de fréquence d'âge et de taille, nous pouvons conclure qu'il n'y a qu'un faible taux de mortalité pour les individus dont l'âge est compris entre 4 et 7 ans, correspondant à des tailles globalement supérieures à 30 cm.

Le goujon est par contre la seule espèce dont le nombre de captures a très nettement augmenté comparativement aux années 90. Ceci témoigne du bon état de la population mosane qui semble par contre ne pas avoir une espérance de vie supérieure à 3-4 ans.

Les autres espèces ciblées présentent toutes une nette diminution du nombre de captures, excepté pour l'anguille, dont la physionomie ne permet pas un piégeage efficace, ce qui nous empêche d'interpréter efficacement les valeurs observées.

La question est de savoir si le faible taux de remontées de gardons, d'ablettes et de brèmes peut avoir eu une répercussion sur le succès reproductif de cette année. Il aurait été intéressant de suivre les remontées de juvéniles dans le cadre de ce travail, tout comme il serait intéressant d'effectuer des recensements soit par suivi des migrations dans trois ou quatre ans, soit par pêche électrique et piégeage aux filets maillants dans deux ou trois ans, en vue de déterminer la proportion d'individus nés cette année. Ceci nous permettrait de savoir si la reproduction s'est déroulée normalement ou si la perturbation subie par les poissons cette année a entraîné une faible abondance de la cohorte issue des individus nés en 2006.

Les faibles captures d'ablettes et de brèmes bordelières ne nous ont pas permis de caractériser efficacement ces populations. Par contre, nous avons pu le faire au sujet du gardon et de la brème commune.

La population migrante de gardon reste comparable en termes de taille et de poids à ce qui avait été observé durant les années 1989 à 1994. Cependant, l'histogramme des classes d'âge pourrait nous laisser penser que l'instinct de migration du gardon diminue avec l'âge. En effet, la majorité des individus capturés étaient âgés de trois à cinq ans avec une abondance relative diminuant de façon continue entre ces années. Or, la littérature nous renseigne une espérance de vie nettement plus élevée. Un autre constat que nous avons pu faire au sujet du gardon, est le retard, d'un point de vue température, dans l'initiation des migrations se déroulant généralement à 8-10 °C à Tailfer, mais n'ayant débuté cette année qu'à une température de 13 °C. Le même constat peut être tiré pour l'ablette.

En ce qui concerne la brème commune, nous pouvons tout d'abord tirer le même constat que pour le chevaine au sujet de la moyenne des longueurs. Celle-ci est significativement plus élevée par rapport aux moyennes des années 1990 à 1994, mais ce résultat est influencé par l'absence d'individus de petite taille. Nous n'avons d'ailleurs pas mis en évidence de différence significative de croissance entre les brèmes capturées cette année et celles capturées début des années 90. Nous avons ensuite pu constater que tout comme pour le gardon, les individus les plus âgés n'empruntent pas la passe lors de leur migration de reproduction.

Une estimation régulière des stocks de gardons et d'ablettes réellement présents en Meuse ne serait sans doute pas superflue pour vérifier la stabilité des biomasses présentes ainsi que de l'équilibre écologique de l'ensemble de l'écosystème Meuse. Nous pourrions ajouter qu'un suivi régulier de la pression exercée par les divers prédateurs, ainsi qu'une estimation globale de cette prédation sur les diverses espèces pourrait s'avérer utile à l'avenir en vue de prendre les mesures nécessaires à temps le cas échéant. Ceci passerait également par un suivi et une estimation des stocks des populations de sandre, brochet et silure, pour lesquels il n'existe que peu de données concernant les biomasses présentes en Meuse.

Enfin, il serait utile de tester l'efficacité de la passe de Waulsort comme il était initialement prévu durant ce travail. Ceci permettrait également de comparer les structures et caractéristiques des populations migrantes présentes dans ce qui est considéré comme le tronçon de haute Meuse le plus productif et possédant la meilleure qualité d'eau.

7. Références bibliographiques

7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Allouche, S., Thévenet, A. et Gaudin, P. Habitat use by chub (*Leuciscus cephalus* L. 1766) in a large river, the French Upper Rhone, as determined by radiotelemetry. *Archiv für Hydrobiologie* **145**, 219-236 (1999).
- Baade, U. et Fredrich, F. Movments and the pattern of activity of the roach in the River Spree, Germany. *Journal of Fish Biology* **52**, 1165-1174 (1998).
- Baker, R. R. The Evolutionary Ecology of Animal Migration. *Stoughton, Hodder & London*. (1978).
- Baras, E. Etude des stratégies d'occupation du temps et de l'espace chez le barbeau fluviatile, *Barbus barbus* (L.). *Cahiers d'éthologie* **12**, 125-442 (1992).
- Baras, E., Jeandrain, D., Serouge, B. et Philippart, J. C. Seasonal variations of time and space utilisation by radio-tagged yellow eels *Anguilla anguilla* (L.) in a small stream. *Hydrobiologia* **371/372**, 187-198 (1998).
- Baras, E., Philippart, J. C. et Salmon, B. Estimation of migrant yellow eel stock in large rivers through the survey of fish passes: a preliminary investigation in the river Meuse (Belgium). in *Stock Assessment in Inland Fisheries* (Cowx, I. G.) Fishing News Books, Blackwell Science Ltd. 82-92 (1996).
- Bengen, D., Belaud, A. et Lim, P. Structure et typologie ichtyenne de trois bras morts de la Garonne. *Annales de Limnologie* **28**, 35-56 (1992).
- Cowx, I. G. Distribution and variation in the growth of roach, *Rutilus rutilus* (L.), and dace, *Leuciscus leuciscus* (L.), in a river catchment in south-west England. *Journal of Fish Biology* **33**, 59-72 (1988).
- Dagnelie, P. Statistique descriptive et bases de l'inférence statistique. *Statistique théorique et appliquée*. De Boeck et Larcier, Paris et Bruxelles. **Tome 1**, p508 (1998).
- Dagnelie, P. Inférence statistique à une et à deux dimensions. *Statistique théorique et appliquée*. De Boeck et Larcier, Paris et Bruxelles. **Tome 2**, p659 (1998).
- Diamond, M. Some observations of spawning by roach, *Rutilus rutilus* L., and bream, *Abramis brama* L., and their implications for management. *Aquaculture and Fisheries Management* **16**, 359-367 (1985).
- Didier, J. Essais d'évaluation de la dynamique de population de deux espèces abondantes en Haute-Meuse: le gardon (*Rutilus rutilus*) et la perche (*Perca fluviatilis*) (croissance, taux de mortalité, taux d'exploitation). *Faculté Universitaire Notre Dame de la Paix, Faculté des sciences*, Namur, p68 (1990).
- Didier, J. et Micha, J-C. Dynamique de population du gardon en Meuse et stratégies de gestion. *Presses Universitaires de Namur*, p103 (1996).
- Dulcic, J. et Glamuzina, B. Length-Weight relationships for selected fish species from three eastern Adriatic estuarine systems (Croatia). *Journal of Applied Ichthyology* **22**, 254-256 (2006).
- Easton, K. W. et Dolben, I. P. The induced spawning and subsequent survival and growth of roach *Rutilus rutilus* (L). *Fisheries Management* **11**, 59-66 (1980).
- Evrard, G. et Micha, J.-C. Dynamique de population du gardon en Meuse namuroise après arrêt des repeuplements. *Presses Universitaires de Namur*, p32 (2003).
- Feunteun, E. et Marion, L. Assessment of Grey Heron predation on fish communities : the case of the largest European colony. *Hydrobiologia* **279-280**, 327-344 (1994).
- Flamant, S. Etude des population de brèmes communes (*Abramis brama* L.) en Haute Meuse belge. *Facultés Universitaires Notre Dame de la Paix, Faculté des Sciences*, Namur, p60 (2004).
- Fredrich, F., Ohmann, S., Curio, B. et Kirschbaum, F. Spawning migrations of the chub in the River Spree, Germany. *Journal of Fish Biology* **63**, 710-723 (2003).

- Gemperline, P. J., Rulifson, R. A. et Paramore, L. Multi-way analysis of trace elements in fish otoliths to track migratory patterns. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* **60**, 135-146 (2002).
- Gestion des ressources aquatiques. Bulletin français de la pêche et de la pisciculture, *Conseil supérieur de la pêche* **326-327**, p206 (1992).
- Gillet, C. Le déroulement de la fraie des principaux poissons lacustres. in *Gestion piscicole des lacs et retenues artificielles* (Gerdeaux, D. & Billard, R.) INRA. 167-186 (1985).
- Gillet, C. et Quétin, P. Effect of temperature changes on the reproductive cycle of roach in Lake Geneva from 1983 to 2001. *Journal of Fish Biology* **69**, 518-534 (2006).
- Gowans, A. R. D., Armstrong, J. D. et Priede, I. G. Movments of adult Atlantic salmon in relation to a hydroelectric dam and fish ladder. *Journal of Fish Biology* **54**, 713-726 (1998).
- Gowans, A. R. D., Armstrong, J. D., Priede, I. G. et Mckelvey, S. Movments of Atlantic salmon migrating upstream through a fish-pass complex in Scotland. *Ecology of Freshwater Fish* **12**, 177-189 (2003).
- Harden Jones, F. R. Fish Migration. Edward Arnold, London. p325 (1968).
- Hubbard, S., Babak, P., Sigurdsson, S. T. et Magnusson, K. G. A model of the formation of fish schools and migrations of fish. *Ecological Modeling* **174**, 359-374 (2003).
- Iwata, M. Downstream migratory behavior of salmonids and its relationship with cortisol and thyryoid hormones: A review. *Aquaculture* **135**, 131-139 (1995).
- Jafri, S. I. Gametogenesis in roach, *Rutilus rutilus* (L.) (Cyprinidae: Teleostei). *Pakistan Journal of Zoology* **22**, 361-377 (1990).
- Kestemont, P. Etude des potentialités d'élevage intensif de goujon *Gobio gobio* L. : reproduction et croissance larvaire. *Facultés Universitaires Notre Dame de la Paix, Faculté des Sciences*, Namur, (1988).
- Kestemont, P., Rinchar, J., Feys, V. et Fostier, A. Spawning migrations, sexual maturity and sex steroid levels in female roach *Rutilus rutilus* from the river Meuse. *Aquatic Sciences* **61**, 111-121 (1999).
- Krumme, U. et Saint-Paul, U. Observation of fish migration in a macrotidal mangrove channel in Northern Brazil using a 200-khz split-beam sonar. *Aquatic Living Ressource* **16**, 175-184 (2003).
- L'Abée-Lund, J. H. et Vollestad, L. A. Homing precision of roach *Rutilus rutilus* in Lake Arungen, Norway. *Environmental Biology of Fishes* **13**, (3), 235-239 (1985).
- L'Abée-Lund, J. H. et Vollestad, L. A. Feeding migration of roach, *Rutilus rutilus* (L.) in Lake Arungen, Norway. *Journal of Fish Biology* **30**, 349-355 (1986).
- Lilja, J., Keskinen, T., Marijomäki, T. J., Valkeajärvi, P. et Karjalainen, J. Upstream migration activity of cyprinids and percids in a channel, monitored by a horizontal split-beam echosounder. *Aquatic Living Ressource* **16**, 185-190 (2002).
- Lucas, M. C., Mercer, T., Armstrong, J. D., McGinty, S. et Rycroft, P. Use of a flat-bed passive integrated transponder antenna array to study the migration and behaviour of lowland river fishes at a fish pass. *Fisheries Research* **44**, 183-191 (1999).
- Mann, R.H.K. The growth and reproduction strategy of the goudgeon, *Gobio gobio* L. in two hard-water rivers in Southern England. *Journal of Fish Biology* **17**, 163-176 (1980).
- Maréchal, C. Prévention des dégâts occasionnés dans les piscicultures et les milieux sensibles par les oiseaux piscivores. *asbl, GIPPA*. p111 (2004).
- Mattheeuws, A., Genin, M., Detollenaere, A. et Micha, J-C. Etude de la reproduction du gardon (*Rutilus rutilus*) et des effets d'une élévation provoquée de la température en Meuse sur cette reproduction. *Hydrobiologia* **85**, 271-282 (1981).
- McDowall, R. M. The evolution of diadromy in fishes (revisited) and its place in phylogenetic analysis. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* **7**, 443-462 (1997).

- McKeown, B.A. Fish Migration. Croom Helm, London and Sydney. p224 (1984).
- Micha, J.-C., Gillet, A., Prignon, C., Vassen, F., Evrard, A. et Mine, Y. Convention d'études pour le suivi scientifique de la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse, Projet " Meuse saumon 2000". Rapport final n°5 Période février 1991 - janvier 1992. *Ministère de la Région Wallonne, Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement*. p126 (1992).
- Micha, J.-C., Gillet, A. et Vassen, F. Convention d'études pour le suivi scientifique de la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse, Projet " Meuse saumon 2000". Rapport n°3 Période janvier 1989 - janvier 1999. *Ministère de la Région Wallonne, Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement*. p118 (1990).
- Micha, J.-C., Gillet, A., Vassen, F., Evrard, A. et Mine, Y. Convention d'études pour le suivi scientifique de la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse, Projet " Meuse saumon 2000". Rapport final n°4 Période février 1990 - janvier 1991. p88 (1991).
- Micha, J.-C. et Pilette, S. L'impact de l'homme sur l'écosystème Meuse. *Namur, Presses Universitaires de*. Namur. p140 (1988).
- Micha, J.-C., Prignon, C., Gillet, A., Vassen, F., Martin, D. et Evrard, A. Convention d'études pour le suivi scientifique de la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse, Projet " Meuse saumon 2000". Rapport final n°6 Période février 1992 - janvier 1993. *Ministère de la Région Wallonne, Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement*. p137 + annexes (1993).
- Micha, J.-C., Prignon, C., Vassen, F., Fossion, P., Leblanc, G. et Evrard, A. Convention d'études pour le suivi scientifique de la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse, Projet " Meuse saumon 2000". Rapport annuel n°7 Période février 1993 - janvier 1994. *Ministère de la Région Wallonne, Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement*. p143 + annexes (1994).
- Molls, F. New insights into the migration and habitat use by bream and white bream in the floodplain of the river Rhine. *Journal of Fish Biology* **55**, 1187-1200 (1999).
- Moore, A., Ives, M., Scott, M. et Bamber, S. The migratory behaviour of wild sea trout (*Salmo Trutta* L.) smolts in the estuary of the River Conwy, North Wales. *Aquaculture* **168**, 57-68 (1998).
- Muller, K. et Berg, E. Spring migration of some anadromous freshwater fish species in the northern Bothnian Sea. *Hydrobiologia* **96**, 161-168 (1982).
- Noiset, J.-L. Dynamique de populations et exploitation de trois Cichlidae (Teleostei) de la zone inondable de la rivière San Pedro (Tabasco, Mexique). *Presses Universitaires de Namur*, p168 (1994).
- Northcote, T. G. Migratory strategies and production in freshwater fishes. in *Ecology of Freshwater Production* (Gerking, S. D.) Blackwell. 326-359 (1978).
- Northcote, T. G. Mechanisms of fish migration in rivers. in *Mechanisms of Migration in Fishes* (McCleave, J. D., Dodson, J. J., Neill, W. H.) Plenum. 317-355 (1984).
- Northcote, T. G. Migratory behaviour of fish and its significance to movements through riverine fish passage facilities. in *Fish Migration and Fish Pypasses* (Jungwirth, M., Schmutz, S., Weiss, S.) Fishing news Books, Blackwell Science Ltd. 3-18 (1998).
- Okamura, A., Yamada, Y., Mikawana, N., Tanaka, S. et Oka, H. P. Exotic silver eels *Anguilla anguilla* in Japanese waters: seaward migration and environmental factors. *Aquatic Living Resource* **15**, 335-341 (2002).
- Orlova, E.L. et Popova, A. The feeding of predatory fish, the sheatfish, *Silurus glanis* and the pike, *Esox lucius*, in the Volga delta following régulation of the discharge of the river. *Journal of Ichthyology* **16**, (1), 75-87 (1976).
- Paquay, J.-Y. et Aves, la Centrale Ornithologique. L'hivernage du grand Cormoran (phalacrocorax carbo) se stabilise-t-il en Wallonie et à Bruxelles, saison 2004-2005. *Aves*

- 42, (3), 245-251 (2005).
- Philippart, J.-C. Les poissons de Wallonie et leurs habitats. *Ministère de la Région Wallonne, Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement*. p7-46 (1998).
- Philippart, J. C., Poncin, P. et Decourt, J. Le comportement de prédation du héron cendré dans la basse Meuse en aval du barrage de Lixhe en mars-mai 2004. (2004).
- Philippart, J.-C., Baras, E., Ovidio, M., Rimbaud, G., Birtles, C. et Lambert, J. M. Convention d'études pour le suivi scientifique de la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse, Projet " Meuse saumon 2000". Rapport d'étape pour la période février 1994 - janvier 1995. *Ministère de la Région Wallonne, Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement*. p50 + annexes (1995).
- Philippart, J.-C., Rimbaud, G., Baras, E., Ovidio, M. et Parkinson, D. Les migrations de remontées des poissons dans la Meuse liégeoise et l'Ourthe. Bilan des connaissances et perspectives. *Ministère de la Région Wallonne, Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement*. p21 + annexes (1998).
- Philippart, J.-C., Rimbaud, G., Baras, E., Ovidio, M. et Parkinson, D. Convention d'études pour le suivi scientifique de la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse, Projet " Meuse saumon 2000". Rapport d'étape pour la période février 1998 - janvier 1999. *Ministère de la Région Wallonne, Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement*. p98 + annexes (1999).
- Philippart, J.-C., Rimbaud, G., Birtles, C., Ovidio, M. et Baras, E. Convention d'études pour le suivi scientifique de la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse, Projet " Meuse saumon 2000". Rapport d'étape pour la période février 1995 - janvier 1996. *Ministère de la Région Wallonne, Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement*. p57 + annexes (1996).
- Philippart, J.-C., Rimbaud, G., Birtles, C., Ovidio, M., Giroux, F., Goffaux, D., Jeandrain, D. et Baras, E. Convention d'études pour le suivi scientifique de la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse, Projet " Meuse saumon 2000". Rapport d'étape pour la période février 1996 - janvier 1997. *Ministère de la Région Wallonne, Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement*. p112 + annexes (1997).
- Philippart, J.-C., Rimbaud, G., Nzau Matondo, B., Neus, Y. et Ovidio, M. Convention d'études pour le suivi scientifique de la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse, Projet " Meuse saumon 2000". Rapport d'étape pour la période février 2003 - janvier 2004. *Ministère de la Région Wallonne, Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement*. p88 (2004).
- Philippart, J.-C., Rimbaud, G., Nzau Matondo, B., Neus, Y. et Ovidio, M. Convention d'études pour le suivi scientifique de la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse, Projet " Meuse saumon 2000". Rapport d'étape pour la période février 2004 - janvier 2005. *Ministère de la Région Wallonne, Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement*. p82 (2005).
- Philippart, J.-C., Rimbaud, G. et Ovidio, M. Convention d'études pour le suivi scientifique de la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse, Projet " Meuse saumon 2000". Rapport d'étape pour la période février - juillet 2000. *Ministère de la Région Wallonne, Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement*. p100 + annexes (2000).
- Philippart, J.-C., Rimbaud, G. et Ovidio, M. Convention d'études pour le suivi scientifique de la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse, Projet " Meuse saumon 2000". Rapport d'étape pour la période février 2001 - janvier 2002. *Ministère de la Région Wallonne, Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement*. p88 + annexes (2002).
- Philippart, J.-C., Rimbaud, G. et Ovidio, M. Convention d'études pour le suivi scientifique de

- la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse, Projet " Meuse saumon 2000". Rapport d'étape pour la période février 2002 - janvier 2003. *Ministère de la Région Wallonne, Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement*. p123 + annexes (2003).
- Philippart, J.-C., Rimbaud, G., Ovidio, M., Baras, E., Goffaux, D. et Parkinson, D. Convention d'études pour le suivi scientifique de la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse, Projet " Meuse saumon 2000". Rapport d'étape pour la période février 1997 - janvier 1998. *Ministère de la Région Wallonne, Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement*. p79 + annexes (1998).
- Philippart, J.-C., Rimbaud, G., Ovidio, M. et Parkinson, D. Convention d'études pour le suivi scientifique de la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse, Projet " Meuse saumon 2000". Rapport d'étape pour la période février 1999 - janvier 2000. *Ministère de la Région Wallonne, Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement*. p110 + annexes (2000).
- Philippart, J.-C., Rimbaud, G., Sonny, D., Neus, Y. et Ovidio, M. Convention d'études pour le suivi scientifique de la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse, Projet " Meuse saumon 2000". Rapport d'étape pour la période février 2005 - juillet 2005. *Ministère de la Région Wallonne, Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement*. p40 + annexes (2005).
- Prignon, C., Micha, J. C. et Fossion, P.. Convention d'études pour le suivi scientifique de la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse, Projet " Meuse saumon 2000". Rapport annuel n°8 Période février 1994 - janvier 1995. *Ministère de la Région Wallonne, Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement*. p74 (1995).
- Prignon, C., Micha, J.-C. et Gillet, A. Biological and Environmental Characteristics of Fish Passage at the Tailfer Dam on the Meuse River, Belgium. in *Fish migrations and fish bypasses* (Jungwirth, M., Schmutz, S., Weiss, S.) Fishing news Books, Blackwell Science Ltd. 69-84 (1998).
- Renson, A. Liège – La Meuse en bord de ... Meuse. *Profils 4*, Liège, MET, (1997)
- Rinchard, J., Kestemont, P. et Heine, R. Comparative study of reproductive biology in single and multiple-spawner cyprinid fish. 2. Sex steroid and plasma protein phosphorus concentrations. *Journal of Fish Biology* **50**, 169-180 (1996).
- Robinson, A. T., Clarkson, R. W. et Forrest, R. E. Dispersal of larval fishes in a regulated river tributary. *Transactions of the American Fisheries Society* **127**, 772-786 (1998).
- Rosecchi, E. et Kestemont, P. Le goujon (*Gobio gobio* Linné, 1766). in *Keith et Allardi* 204 (2001).
- Secor, D. H., Henderson-Arzapalo, A. et Piccoli, P. M. Can otolith microchemistry chart patterns of migration and habitat utilization in anadromous fishes? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **192**, 15-33 (1995).
- Smith, R. J. F. Social behaviour, homing and migration. in *Cyprinid Fishes - Systematics, Biology and Exploitation* (Winfield, I. J., Nelson, J. S.) Chapman & Hall. 509-529 (1991).
- Spicer, A. V., Moring, J. R. et Trial, J. G. Downstream migratory behavior of hatchery-reared, radio-tagged Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts in the Penobscot River, Maine, USA. *Fisheries Research* **23**, 255-266 (1994).
- Spillmann, C. J. Faune de France : Poissons d'eau douce. *Naturelles, Fédération Française des Sociétés*. Paris. **65**, p303 (1961).
- Tans, M. Utilisation des noues de la Meuse en tant que site de reproduction et de nurserie par les poissons de fleuve. *Facultés Universitaires Notre Dame de la Paix, Faculté des Sciences, Biologie*, Namur, p337 (2000).
- Tarbe, A.-L. Etude du régime alimentaire du grand cormoran, *phalacrocorax carbo sinensis*

- Blum., hivernant dans le bassin mosan belge. *Facultés Universitaires Notre Dame de la Paix, faculté des Sciences*, Namur, p85 (2002).
- Tesch, F. W. The Eel - Biology and management of Anguillid Eels. Chapman & Hall, London. (1977).
- Thomas Watters, G. Small dams as barriers to freshwater mussels (Bivalvia, Uninoida) and their hosts. *Biological Conservation* **75**, 79-85 (1995).
- Tsukamoto, K., Nakai, I. et Tesch, W. V. Do all freshwater eels migrate? *Nature* **396**, 635-636 (1998).
- Verstraeten, J. La haute Meuse belge: une voie fluviale entre tradition et modernité. *Traces* 5, Namur, MET (2004).
- Vollestad, L. A. et L'Abée-Lund, J. H. Reproductive biology of stream spawning roach, *Rutilus rutilus*. *Environmental Biology of Fishes* **18**, (3), 219-227 (1987).
- Vollestad, L. A. et L'Abée-Lund, J. H. Geographic variation in life-history strategy of female roach, *Rutilus rutilus* (L.). *Journal of Fish Biology* **37**, 853-864 (1990).
- Waidbacher, H. G. et Haidvogel, G. Fish migration and fish passage facilities in the Danube : past and present. in *Fish migration and fish bypasses* (Jungwirth, M., Schmutz, S., Weiss, S.) Fishing News Books, Blackwell Science Ltd. 85-98 (1998).
- Wingfield, J.C. et Sapolsky, R.M. Reproduction and resistance to stress: when and how. *Journal of Neuroendocrinology* **15**, 711-724 (2003).