
L'alimentation du saumon atlantique (*Salmo salar* L. 1758) : évaluation de la berwinne dans le cadre du projet Saumon Meuse

Auteur : Hubert, Pauline

Promoteur(s) : Caparros Megido, Rudy; Benitez, Jean-Philippe

Faculté : Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

Diplôme : Master en bioingénieur : gestion des forêts et des espaces naturels, à finalité spécialisée

Année académique : 2022-2023

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/18119>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

L'ALIMENTATION DU SAUMON ATLANTIQUE
(*Salmo salar* L., 1758) :
ÉVALUATION DE LA BERWINNE
DANS LE CADRE DU PROJET SAUMON MEUSE

PAULINE HUBERT

**TRAVAIL DE FIN D'ETUDES PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER BIOINGENIEUR EN GESTION DES FORETS ET DES ESPACES NATURELS**

ANNEE ACADEMIQUE 2022-2023
CO-PROMOTEURS: RUDY CAPARROS ET JEAN-PHILIPPE BENITEZ

© Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique de Gembloux Agro-Bio Tech. Le présent document n'engage que son auteur.

L'ALIMENTATION DU SAUMON ATLANTIQUE
(*Salmo salar* L., 1758) :
ÉVALUATION DE LA BERWINNE
DANS LE CADRE DU PROJET SAUMON MEUSE

PAULINE HUBERT

**TRAVAIL DE FIN D'ETUDES PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER BIOINGENIEUR EN GESTION DES FORETS ET DES ESPACES NATURELS**

ANNEE ACADEMIQUE 2022-2023
CO-PROMOTEURS: RUDY CAPARROS ET JEAN-PHILIPPE BENITEZ

Remerciements

Je souhaiterais remercier en premier lieu mes co-promoteurs Jean-Philippe Benitez et Rudy Caparros pour leurs conseils lors de la rédaction de ce travail et le temps passé à mon apprentissage sur le terrain.

Je voudrais ensuite remercier les membres de l'unité de gestion des ressources aquatiques et aquaculture de l'ULiège ainsi que l'unité de recherche en biologie environnementale et évolutive de l'UNamur et tous les participants aux journées de pêches électriques.

Je remercie l'équipe du Laboratoire d'Entomologie de la Faculté de Gembloux Agro-Bio Tech pour le matériel fournit et l'encadrement.

Merci à Grégoire Noël pour les conseils en statistiques et en présentation orale.

Merci à Frédéric Chérot du SPW-DEMNA pour l'aide à l'identification des derniers macroinvertébrés.

Merci à mes parents et à ma famille pour leur précieux soutien moral, leur présence et leurs encouragements, particulièrement durant ces 5 années d'études. Je ne serais pas arrivée jusque-là sans eux.

Merci à mes amis pour tous les moments passés et tout le positif qu'ils m'ont apporté durant ces années. Elles n'auraient pas été aussi belles sans eux.

Un merci particulier à Chloé et Xavier, qui ont dû me supporter pendant ce travail, pour leur bonne humeur au quotidien, leur soutien et encouragements ainsi que leur aide pour le terrain et les identifications.

Et enfin merci au corps enseignant et à toutes les personnes qui ont contribués de près ou de loin à ma réussite.

Résumé

Ce travail avait pour but d'étudier l'alimentation du saumon atlantique (*Salmo salar* L., 1758) et son adéquation avec le milieu, dont 25 000 individus avaient été relâchés en avril 2022 dans la Berwinne. Cela s'inscrit dans le projet "Saumon Meuse" de réintroduction du saumon dans le bassin de la Meuse. Les différents relevés de saumons et macroinvertébrés ont été effectués dans les radiers (lieux de prédilection des tacons) sur 4 stations réparties d'aval en amont sur la Berwinne (Berneau, Dalhem, Aubin et Val Dieu). Toutes les analyses ont été appuyées de tests non paramétriques (Kruskal et Dunn). Tout d'abord, l'analyse de 75 contenus stomacaux de tacons montre que ceux-ci se nourrissent principalement de Baetidae, Chironomidae, Simuliidae, Hydropsychidae et Rhyacophilidae. Cette alimentation est égale entre les tacons appartenant à la classe de taille inférieure et supérieure (pré-smolt). Les tacons utilisent probablement le benthos et la dérive comme sources de nourriture en fonction des familles présentes et de leur abondance. Après comparaison, il s'avère que les stations 1 (Berneau) et 2 (Dalhem) possèdent moins de macroinvertébrés d'intérêts par radiers que les 2 autres stations. Le choix des radiers par les tacons ne se fait pas uniquement sur base de la nourriture disponible. En conclusion, les tacons sont opportunistes envers les familles les plus abondantes du milieu avec une tendance sélective particulièrement pour les Simuliidae et les Chironomidae. La Berwinne (toutes stations confondues) possède des ressources adéquates et suffisantes en termes d'alimentation pour les tacons au vu des caractéristiques biométriques normales (taille, poids) de ceux-ci. Il faut rester critique face à ces résultats, d'autres facteurs pouvant entrer en jeu (compétition, saison, ...).

Abstract

The goal of this work was to study the feeding of the atlantic salmon (*Salmo salar* L., 1758) and their adequacy with the environment of life, of which 25.000 individuals had been released in april 2022 in the Berwinne. This take place in the context of the reintroduction project of the salmon in the Meuse basin, "Saumon Meuse". The different samples of salmon and macroinvertebrate were done in the riffles (preferred places of the parr) in 4 zones distributed from downstream to upstream on the Berwinne (Berneau, Dalhem, Aubin et Val Dieu). All the analysis were complemented by non parametrical test (Kruskal et Dunn). First of all, the analysis of 75 stomacal contents of parr show that they feed principally on Baetidae, Chironomidae, Simuliidae, Hydropsychidae et Rhyacophilidae. This feeding is the same for the parr of the lower size class and the ones in the upper size class. The parr probably use the benthos and the drift as sources of food depending on the families and their abundance. After comparison, it appears that the sectors 1 (Berneau) and 2 (Dalhem) possess less macroinvertebrate of interest per riffle than the two other sectors. The choice of riffles is not done solely on the basis of food available. In conclusion, the parr are opportunistic towards the most abundant families of the environment with a selective tendency particularly for the Simuliidae and Chironomidae. The Berwinne (all sector combined) possess adequate and sufficient resources in terms of food for the parr in view of their normal biometric characteristic (size and weight). We have to stay critical against these results because other factors can get in the game (competition, season, ...).

Table des figures

Figure 1 : Cycle de vie du saumon atlantique	9
Figure 2 : Evolution du nombre de saumons et de truites communes capturés en remontée dans la grande échelle à poissons du barrage de Lixhe sur la Meuse de 1999 à 2022.	15
Figure 3 : Masse d'eau MV16R (Berwinne) et les quatre secteurs.	17
Figure 4 : Occupation du sol autour de la masse d'eau MV16R	18
Figure 5 : Tacons récupérés lors des pêches 1 et 2 dans des seaux par radiers (Hubert P., 2023)	20
Figure 6 : Récupération du contenu stomacal et mise en Eppendorf (Gelder J., 2023)	21
Figure 7 : Echantillonnage des macroinvertébrés benthiques (Caparros R., 2023)	22
Figure 8 : Dispositif de tri des échantillons de macroinvertébrés (Goulard M.A., 2023)	23
Figure 9 : Dispositif d'échantillonnage des macroinvertébrés dérivants	24
Figure 10 : Relation taille à la fourche (mm)/poids(g) des tacons capturés à 11 mois post-déversement pour les 4 secteurs (1=Berneau, 2=Dalhem, 3=Aubin, 4=Val Dieu)	27
Figure 11 : Taille (à gauche) et poids (à droite) des tacons, dont le contenu stomacal a été prélevé, sur les 4 stations échantillonnées.	27
Figure 12 : Taux de croissance spécifique (%/j) (à gauche) et coefficient de condition K de Fulton (à droite) pour les tacons de 11 mois en fonction des 4 stations échantillonnées.	28
Figure 13 : Abondance relative des familles de macroinvertébrés dans les contenus stomacaux de saumon pour les 4 stations confondues. (La catégorie "Autres" regroupe les familles présentant une abondance relative <1%).	28
Figure 14 : Analyse en composantes principales des abondances relatives des familles de macroinvertébrés retrouvés dans les contenus stomacaux des saumons, regroupés par stations	29
Figure 15 : Nombre d'individus présents dans les contenus stomacaux en fonction des 4 stations échantillonnées et par famille.	30
Figure 16 : Abondance relative en Baetidae (à gauche) et en Hydropsychidae (à droite) dans les contenus stomacaux de saumon en fonction des 4 secteurs	30
Figure 17 : Analyse en composantes principales des abondances relatives des familles présentes dans les contenus stomacaux en fonction des deux classes de taille (<115 cm ou >=115cm)	31
Figure 18 : Abondance relative des familles de macroinvertébrés retrouvées dans les radiers et en dérive. (La catégorie "Autres" regroupe les familles présentes à moins de 1%.)	32
Figure 19 : PCA de l'abondance relative des familles de macroinvertébrés benthiques en fonction des radiers avec et sans présence de saumons.	33
Figure 20 : Abondance relative des Simuliidae dans les radiers avec ou sans présence de saumons	33
Figure 21 : Courbes d'accumulations des espèces de macroinvertébrés échantillonnés en fonction du nombre d'unité d'échantillonnage (les radiers) pour les stations confondues. Toutes stations confondues (en haut) et pour chaque station séparément de la 1 à la 4 (de gauche à droite).	34
Figure 22 : Abondances relatives des familles de macroinvertébrés retrouvées au niveau benthique (sur les radiers) pour les stations 1, 2, 3 et 4 (de gauche à droite).	36
Figure 23 : Comparaison entre le contenu stomacal et le benthique (à gauche) et le dérivant (à droite)	36
Figure 24 : Analyse en composante principale de l'abondance des familles de macroinvertébrés benthiques en fonction des 4 stations.	37
Figure 25 : Abondance relative par familles benthiques consommée par les saumons en fonction des stations.	37
Figure 26 : Indice de sélectivité C de Pearre (1982). Comparaison entre le contenu stomacal et le benthique (à gauche) et le dérivant (à droite)	38

Table des tableaux

Tableau 1 : Diversité en poissons sur les radiers en juillet 2022 pour les 4 secteurs (excepté les saumons) (Benitez et al., 2023)	18
Tableau 2 : Abondances relatives des familles de macroinvertébrés présentes dans les contenus stomacaux	29

Table des matières

Résumé.....	5
Abstract.....	5
Table des figures.....	6
Table destableaux.....	6
1. Introduction.....	8
1.1. Introduction générale.....	8
1.2. Biologie du saumon atlantique (Ordre Salmoniformes, Famille Salmonidés).....	8
1.3. Cycle de vie du saumon et ses migrations.....	9
1.4. Alimentation du saumon atlantique.....	11
1.5. Ressource trophique et habitat.....	12
1.6. Impact de l'anthropisation des rivières.....	13
1.7. Le saumon atlantique en Belgique.....	14
1.8. Objectif.....	16
2. Matériel et méthode.....	16
2.1. Lieu d'échantillonnage et situation.....	16
2.2. Echantillonnage des saumons atlantiques par pêche électrique.....	19
2.3. Prises de mesures et de contenus stomacaux.....	20
2.4. Echantillonnage des macroinvertébrés benthiques.....	21
2.5. Echantillonnage des macroinvertébrés dérivants.....	23
2.6. Identification des macroinvertébrés en laboratoire.....	24
2.7. Traitement statistique et formules.....	25
3. Résultats.....	26
3.1. Caractéristiques biométriques des saumons capturés sur les 4 secteurs échantillonnés.....	26
3.2. Analyse des contenus stomacaux des saumons.....	28
3.2.1. <i>Aperçu global des familles consommées par les saumons</i>	28
3.2.2. <i>Aperçu par station des familles consommées par les saumons</i>	28
3.2.3. <i>Comparaison des contenus stomacaux entre stations</i>	29
3.2.4. <i>Comparaison des contenus stomacaux entre les saumons de deux classes de tailles différentes</i>	31
3.3. Analyse des macroinvertébrés benthiques et dérivants sur les secteurs d'étude.....	31
3.3.1. <i>Aperçu global : 4 stations confondues</i>	31
3.3.2. <i>Comparaison de la composition en macroinvertébrés entre les radiers avec et sans présence de saumons</i>	32
3.3.2.a. <i>Comparaison des abondances relatives par familles consommées par les saumons et d'indice de Shannon</i>	33
3.3.3. <i>Courbes d'accumulations</i> 3.3.1. <i>Aperçu global : 4 stations confondues</i>	34
3.3.4. <i>Composition en macroinvertébrés du milieu par station</i>	34
3.3.4.a. <i>Aperçu de la composition en macroinvertébrés benthiques et dérivants par station</i>	34
3.3.4.b. <i>Comparaison des 4 stations entre elles au niveau benthique (indice de Shannon et abondances des familles consommées par les saumons)</i>	36
3.4. Indice de sélectivité.....	37
4. Discussion.....	38
4.1. Qualité des données récoltées et méthode d'acquisition.....	38
4.2. Résultats généraux.....	39
4.3. Composition en macroinvertébrés du milieu.....	40
4.4. Comparaison de la composition du milieu avec la composition des contenus stomacaux.....	43
4.5. Caractéristiques biométriques des tacons de 11 mois (évaluation du fitness).....	44
5. Contribution personnelle de l'étudiant.....	46
6. Conclusion et perspectives.....	46
7. Bibliographie.....	47
8. Annexes.....	54

1. Introduction

1.1. Introduction générale

Les écosystèmes rivières possèdent une grande richesse en terme de biodiversité, par rapport à la surface totale qu'ils occupent (Gauthier, 2021 ; Reid et al., 2018). Cependant, un déclin de 80% de cette abondance d'espèces dont le saumon atlantique (*Salmo Salar L. 1758*) a pu être observé depuis 1970 (Delmotte, Arrignon&Gonzalez, 2010 ; Gauthier, 2021 ; Reid et al., 2018 ; WWF, 2001). Celui-ci a d'ailleurs disparu de nombreuses rivières d'Europe, du continent Nord-Américain et son statut dans les autres rivières est, au mieux, "vulnérable" (WWF, 2001). Une exception à cette classification est néanmoins constatée en Norvège, Irlande, Islande et Ecosse où 43% de son effectif total est présent. Dans ces régions du monde il est considéré comme "Healthy" (WWF, 2001).

L'intérêt porté aux espèces de poissons comme le saumon atlantique n'est pas sans raison. Ce dernier possède une importance à plusieurs niveaux (Delmotte, Arrignon&Gonzalez, 2010 ; Monnerjhan, 2011 ; Nikolic, 2009 ; Wankowki&Thorpe, 1979 ; Watz et al., 2021), tels que :

- Patrimonial. C'est une espèce emblématique des cours d'eau et connue par le grand public
- Fonctionnel pour les écosystèmes. Il est un indicateur de la bonne santé des cours d'eau.
- Sociétal (culturel et économique). Il représente une ressource importante pour la pêche professionnelle et amateur.
- Éducatif. C'est un appui à la sensibilisation sur les impacts humains au niveau des cours d'eau.
- Scientifique. Il est un reflet des changements globaux sur les écosystèmes aquatiques (marins et dulçaquicoles).
- Pour la gestion des écosystèmes aquatiques. C'est une espèce parapluie, les mesures de restauration prévues pour le saumon bénéficieront à d'autres espèces aquatiques.

Du fait de son importance dans la société et dans le cadre notamment, de projets de réintroduction, de nombreuses études scientifiques ont déjà été effectuées sur cette espèce (Delmotte, Arrignon&Gonzalez, 2010 ; Klemetsen et al, 2003). Malgré tout, des zones d'ombres persistent et limitent le succès de ces projets (Klemetsen et al, 2003 ; Wankowki&Thorpe, 1979). Cela est dû, d'une part, à la complexité de son cycle vital (Watz et al., 2021). En effet, ce dernier comporte des variations au niveau de la survie, de la croissance et de l'émigration, et ce en fonction des conditions abiotiques et biotiques du milieu (Horton et al., 2008 ; Klemetsen et al, 2003). D'autre part, les nombreuses menaces qui pèsent sur les écosystèmes aquatiques impactent les populations de saumons. Les principales sont : la surexploitation, la pollution, l'altération du débit, la dégradation des habitats et les espèces exotiques, tous ces effets étant accentués par le changement climatique (Gauthier, 2021 ; Reid et al., 2018).

1.2. Biologie du saumon atlantique (Ordre : Salmoniformes, Famille : Salmonidés)

Le saumon atlantique est une espèce dont le domaine vital se trouve au niveau de l'hémisphère Nord entre l'Amérique et l'Europe dans l'océan Atlantique et la mer Baltique

(Nikolic, 2009 ; Rivot et al., 2014 ; Tréhin, 2022). C'est une espèce dite diadrome de type anadrome qui présente donc un cycle de vie se déroulant dans les rivières (milieu dulçaquicole) lors de la phase de reproduction et en mer (milieu marin) lors de la phase de croissance (Delmotte, Arrignon&Gonzalez, 2010 ; Descroix, 2009 ; Nikolic, 2009 ; Tréhin, 2022). Elle est également qualifiée d'espèce sténotherme de type froid, c'est-à-dire qu'elle ne supporte pas de grande variation au niveau de la température avec une température de 20°C comme limite supérieure tolérée (Delmotte, 2010 ; Nikolic, 2009). L'augmentation de température, due au changement climatique, a donc un impact important sur son développement en perturbant le temps de résidence dans chaque stade du cycle et le moment de passage entre ceux-ci (Thorstad et al.,2011). Ceci occasionne un déphasage avec les conditions environnementales optimales normalement rencontrées, notamment lors de la migration (dévalaison et arrivée en mer prématurée) (Teichert et al., 2020 ; Thorstad et al., 2011). De plus, la limite des 20°C est plus fréquemment dépassée entraînant une mortalité accrue, entre autres, par manque d'oxygène. Finalement, les proies des saumons sont également touchées avec un effet bottom-up au niveau de la chaîne alimentaire, en impactant la survie des niveaux supérieurs (Thorstad et al., 2011).

1.3. Cycle de vie du saumon et ses migrations

Le saumon se reproduit en hiver (de novembre à janvier) (Figure 1), en rivière, où les œufs sont enfouis sous les graviers par la femelle dans les zones de frayères qui doivent être bien oxygénées et qui se situent en amont du bassin versant (Jonsson & Jonsson, 2011 ; Nikolic, 2009 ; Tréhin, 2021). Après éclosion au printemps, le premier stade est le stade alevin (Figure 1), les individus vont tout d'abord épuiser leur réserve vitelline en restant cachés dans les graviers (Jonsson&Jonsson, 2011 ; Mc Cormick et al., 1998 ; Nikolic, 2009). Ensuite, après 4-7 mois et ayant atteint une taille de 2-3cm, ils commencent à se nourrir de proies attrapées, puis ils s'éloignent petit à petit de leur milieu de naissance afin de capturer plus de prises potentielles (Bardonnnet & Baglinière, 2011 ; Keenleyside & Yamamoto, 1962 ; Mc Cormick et al., 1998).

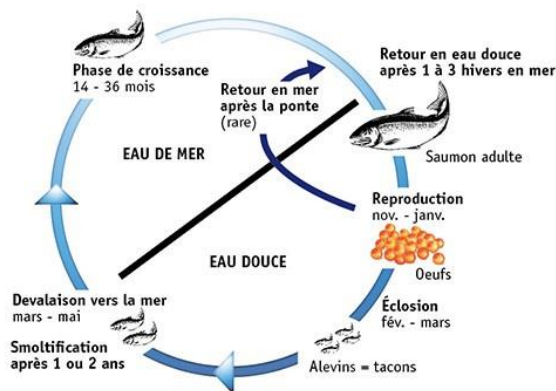


Figure 1 : Cycle de vie du saumon atlantique (Source : Le retour du saumon dans la Loire-Département de la Loire)

Le deuxième stade est le stade tacon, il mesure alors environ 5 cm et vit majoritairement de 1 à 2 ans en rivière dans les régions tempérées telles que la France ou la Belgique (Figure 1) (Baglinière, Thibault&Dumas, 1990 ; Keenleyside & Yamamoto, 1962 ; Nikolic, 2009). Cela peut aller jusqu'à 8 ans dans les pays plus au Nord comme le Québec (Klementsén et al., 2003). Les tacons colonisent un habitat particulier au sein de la rivière, le radier, où la vitesse

de courant est rapide (10-60 cm/s), la profondeur d'eau est faible (20-70cm) et le substrat est caractérisé par des roches et des cailloux (Descroix, 2009 ; Mc Cormick et al., 1998). En période sèche, ils colonisent parfois les "pools", qui sont des endroits plus profonds et avec un courant faible, quand la hauteur d'eau des radiers est trop peu élevée (Jonsson&Jonsson, 2011 ; Mc Cormick et al., 1998). Cette colonisation des "pools" par les tacons sera sans doute plus fréquente à cause des périodes de sécheresse plus marquées (Admunsen et al., 2011). Les tacons se maintiennent au fond, collés au substrat, pendant la journée afin de résister au courant. Ils se cantonnent à un territoire défini qu'ils défendent, durant la journée, contre les autres individus afin de maximiser leurs prises de nourriture (Keenleyside & Yamamoto, 1962 ; Mc Cormick et al., 1998). Durant la nuit, ils se retrouvent dans des endroits plus calmes (Keenleyside & Yamamoto, 1962).

En automne, les jeunes saumons, encore appelés tacons, font une taille de 10cm environ et sont distribués en deux catégories de taille. Ceux de la catégorie supérieure (environ 11 cm et plus) dévaleront au printemps, tandis que les plus petits attendront un an de plus (Descroix, 2009 ; Metcalfe, Huntingford&Thorpe, 1988). Ces deux classes se forment car il y a des stratégies de croissances différentes durant l'hiver, une partie des tacons continue à grandir afin d'optimiser leur taille pour la smoltification, tandis qu'une autre partie arrête de se nourrir afin d'éviter des dépenses énergétiques inutiles (Metcalfe, Huntingford&Thorpe, 1988). Un lien peut être fait également avec la maturation de certains jeunes mâles, qui alloueront moins d'énergie dans la croissance et dévaleront un an plus tard (Mc Cormick et al., 1998 ; Mobley et al., 2021). Le lien avec l'alimentation est donc clair et plus la portion de rivière exploitée par les tacons est productive, plus la proportion de smoltification à 1 an et plus (1+) au sein de la population sera élevée (Metcalfe, Huntingford&Thorpe, 1988).

Le dernier stade juvénile, appelé smolt (Figure 1), est issu d'un processus, la smoltification, qui va engendrer des modifications morphologiques, physiologiques et comportementales qui vont procurer une adaptation à l'eau de mer (Dittman, Quinn&Nevitte, 1995 ; Mc Cormick et al., 1998). La smoltification dépend de facteurs tels que la croissance, la température et la photopériode. Une fois un certain seuil atteint pour chaque facteur, comme une taille de 10-12cm par exemple, le processus est enclenché (Descroix, 2009 ; Keenleyside & Yamamoto, 1962 ; Mc Cormick et al., 1998 ; Tréhin, 2022). En accord avec les conditions environnementales, il existe une fenêtre temporelle durant laquelle la dévalaison doit être faite pour assurer une survie optimale (Teichert et al., 2020). Par exemple, un retard de croissance peut mener à une dévalaison compromise avec une "desmoltification" possible (Descroix, 2009 ; Mc Cormick et al., 1998). La dévalaison qui se déroule au printemps est initiée lorsque la température atteint 8-10°C et avec l'augmentation de la photopériode. Ils peuvent également profiter d'un pic de débit printanier pour dévaler (Mc Cormick et al., 1998 ; Teichert et al., 2020).

Finalement, après avoir rejoint la mer suite à la dévalaison (Figure 1), les smolts se nourriront pendant 1 à 3 ans afin de grossir pour atteindre une taille allant jusqu'à 120cm (Jonsson&Jonsson, 2011 ; Klemetsen et al., 2003). Suite à cela, ils retourneront dans leur rivière natale afin de se reproduire. Le phénomène de remontée des cours d'eau est appelé montaison et se déroule en deux pics de migration, un premier en avril-mai et un second en automne (Benitez et al., 2022).

Ce retour à l'endroit exact de leur naissance, parfois même jusqu'à la section précise de rivière, est appelé "homing" (Mc Cormick et al., 1998 ; Rivot et al., 2014). Cela engendre une diversité génétique conséquente au sein même de l'espèce, les jeunes stades rencontrant des conditions de vie différentes selon la rivière et étant complètement séparés d'autres populations (Dittman, Quinn&Nevitte, 1995 ; Nikolic, 2009 ; Tréhin, 2022). La particularité du saumon atlantique est donc d'avoir une souche différente en fonction de chaque bassin hydrographique (Hansen & Quinn, 1998 ; Mc Cormick et al., 1998 ; Rivot et al., 2014). La complexité du cycle vital est une caractéristique importante à prendre en compte lorsqu'il s'agit d'expliquer le taux de mortalité marine élevé rencontré chez cette espèce entre le stade smolt et le stade adulte. En effet, le saumon devant effectuer une migration de plusieurs centaines de kilomètres pour réaliser l'entièreté de son cycle vital, il est soumis à une forte prédation lors de ses premiers mois de vie (Hansen & Quinn, 1998 ; Mc Cormick et al., 1998 ; Rivot et al., 2014). Le taux de survie moyen entre ces deux stades est faible, des chiffres autour de 30-40% sont évoqués lors des années les plus favorables et des valeurs de moins de 5% dans certains cas (Hansen & Quinn, 1998).

1.4. Alimentation du saumon atlantique

Le saumon atlantique, en rivière, se nourrit principalement de macroinvertébrés (benthiques et dérivants) à tous les stades, de la larve à l'adulte (Keeley&Grant, 1997 ; Weber, 2009). Les insectes dérivants se déplacent de manière passive par la force du courant, du vent ou grâce aux animaux (Gauthier, 2021 ; Frutsaert, 2019). En ce qui concerne ces proies, les principales familles recensées font partie des Ephemeroptera, Trichoptera, Diptera, Plecoptera, Amphipoda et Mollusca¹ (Rader, 1997). Il est possible de distinguer, entre ces différentes proies, un statut plus ou moins important au sein du régime alimentaire. C'est-à-dire qu'une distinction est faite entre les proies dites indispensables qui sont nécessaires pour un bon fonctionnement du cycle biologique et les proies dites accessoires (Rossechi & Nouaze, 1987). Le saumon est qualifié de prédateur visuel, c'est-à-dire qu'il ne chasse que les organismes qu'il voit et, dans ce cas-ci, ils doivent être également en mouvement (Jorgensen&Jobling, 1991). La technique de chasse du saumon n'est donc pas intensive et les tentatives de captures peu fréquentes (Bardonnet & Baglinière, 1999).

Les variations saisonnières au niveau des proportions d'insectes dérivants impactent également la composition du bol alimentaire en fonction de l'opportunisme du saumon (Guitard, 1998 ; Vignes, 1999). Ces variations sont en lien avec la température, l'alimentation serait la plus élevée entre avril et septembre durant les mois plus "chauds" (Vignes, 1999).

Une autre tendance se dégage des nombreuses études : l'augmentation de la taille du saumon est corrélée avec l'augmentation de la taille des proies (Descroix, 2009 ; Keeley&Grant, 1997). Le but étant d'optimiser l'énergie absorbée lors de la capture de proies avec, comme contrainte, la morphologie du tacon (Keeley&Grant, 1997). Un tel changement au cours du cycle de vie au niveau alimentaire est fréquent chez une grande partie d'espèces, que ce soit une modification de taille des organismes recherchés ou une différence d'espèces consommées (Giraldo, 2012). Ces changements d'interactions trophiques correspondent à des changements d'ordre morphologiques comme la taille, l'habitat trophique et le comportement (Giraldo, 2012).

¹ Ephemeroptera Hyatt&Arms, 1891 ; Trichoptera Kirby, 1813 ; Diptera Linneaus, 1758 ; Plecoptera Burmeister, 1839 ; Amphipoda Latreille, 1816 ; Mollusca Cuvier, 1795

Il est aussi important de prendre en compte le fait que d'autres espèces de poissons se nourrissent de macroinvertébrés. La compétition entre espèces, particulièrement de Salmonidae², et individus d'une même espèce est également un facteur à prendre en compte dans l'évaluation des ressources alimentaires (Descroix, 2009 ; Vignes&Heeland, 1995). Cette compétition est plus forte si la ressource en macro-invertébrés est limitée (Guitard, 1998). Cela est d'autant plus vrai que des individus de même taille/âge choisissent le même type de proies, il y a donc plus de compétition entre espèces qu'au sein d'une même espèce (Giraldo, 2012).

Concrètement, l'alimentation d'une espèce, une fois caractérisée, permet d'aider à la compréhension plus globale des interactions entre espèces (exemple : la compétition), entre espèces et habitat ainsi que du réseau trophique (Archambaud, Corse&Dubut, 2018 ; Archambaud, Corse&Megléc, 2019 ; Rossechi & Nouaze, 1987 ; Vignes, 1999). Ces informations peuvent entre autres servir dans les domaines de la conservation des espèces (Archambaud, Corse&Megléc, 2019). Il est possible de citer plus particulièrement des applications telles que la caractérisation de l'utilisation et des exigences pour l'habitat trophique, et ce, afin d'adopter une gestion appropriée mais également pour les restaurations d'habitats et la réintroduction dans des sites adaptés (Archambaud, Corse&Dubut, 2018 ; Archambaud, Corse&Megléc, 2019 ; Denamiel et al., 2021 ; Weber, 2009). En effet, la croissance et la survie des juvéniles est fortement influencée, en plus de la qualité du milieu physique, par la quantité et la qualité de la ressource alimentaire disponible au sein d'un habitat (Descroix, 2009 ; Vignes, 1999 ; Weber, 2009).

1.5. Ressource trophique et habitat

Une rivière riche en ressources de base dans la chaîne alimentaire, que ce soit en terme d'abondance ou de richesse spécifique, possède une plus grande biodiversité globale avec plus d'interactions entre organismes (Degila, 2020 ; Guenifi, 2011 ; Tokpon, 2022). En effet, les macro-invertébrés sont une ressource essentielle pour une multitude d'autres organismes de plus haut niveau trophique, comme les poissons, et sont un maillon important pour le cycle de l'énergie (Degila, 2020 ; Ge et al., 2021 ; Guenifi, 2011 ; Guitard, 1998). Par définition, les macroinvertébrés englobent tous les invertébrés visibles à une échelle macroscopique et présents dans les rivières pendant au moins une partie de leur cycle vital, que ce soit des insectes, mollusques, vers ou crustacés (MDDEFP, 2013). Ils sont présents en grande diversité et en nombre important au sein de nos cours d'eau. Les nombreuses espèces présentent des exigences variées en termes de qualité d'environnement. De ce fait, leur étude est utilisée depuis quelques années dans le but d'effectuer un suivi et une appréciation de la qualité de nos eaux de surfaces, au travers d'indices notamment (MDDEFP, 2013). La richesse en macroinvertébrés dépend donc fortement des habitats présents dans le cours d'eau, il y a d'ailleurs des analyses de niche qui font le lien entre les macro-invertébrés et habitats retrouvés en rivière tels que les galets, macrophytes immergés, ... (Archambaud, Corse&Megléc, 2019). Plus généralement, la composition faunistique aquatique dépend de facteurs spécifiques au milieu tels que la qualité de l'eau, la morphologie et caractéristiques du cours d'eau, la composition des berges, les dégradations, ... (Beauger, 2008 ; Murria et

² Salmonidae Shinz, 1822

al., 2019 ; Weber, 2009). Par exemple, les Simuliidae³ sont typiques des habitats avec un fort courant de type radier (Beauger, 2008).

La situation plus en amont ou en aval dans le cours d'eau influence aussi cette répartition en espèces, avec des conditions naturelles qui favorisent une diversité d'espèces plus élevée en aval contrairement aux activités humaines qui tendent à la diminuer (Descroix, 2009).

Les macroinvertébrés représentant la source majoritaire de nourriture pour les premiers stades du saumon en rivière, semble impacter leur distribution spatiale. En effet, en ce qui concerne l'utilisation de l'habitat au niveau de la distribution dans l'espace et de la densité, les tacons suivent en général une règle en lien avec la disponibilité en nourriture. Par exemple, en dessous de 1+, les tacons se dispersent dans plusieurs micro-habitats à la recherche de nourriture et d'un abri contre les prédateurs (Johnston, 2002 ; Tokpon, 2022). La disponibilité en proies, qui fait référence à leur accessibilité pour les prédateurs en fonction de leur enfouissement dans le substrat par exemple, définit donc leur territoire de chasse (Frutsaert, 2019 ; Vignes et Heland, 1995). Il est possible de remarquer que les individus les plus âgés (plus de 1+) fréquentent un habitat différent en termes de profondeur, vitesse et substrat contrairement aux plus jeunes qui restent dans les mêmes habitats que les alevins (Degila, 2020 ; Tokpon, 2022). Les individus colonisent donc en premier les endroits les plus riches en macroinvertébrés. Plus tard, ils se déplaceront si la densité en individus est trop élevée et ne permet plus un gain énergétique suffisant (Weber, 2009). De plus, la grandeur du territoire défendu et occupé par le saumon serait en lien avec cette densité en nourriture ainsi qu'avec la taille du saumon. Il devra étendre son territoire dans les environnements faibles en densités de proies et un saumon plus grand aura une plus grande opportunité de le faire (Weber, 2009).

1.6. Impact de l'anthropisation des rivières

Les rivières, dites "à saumons", doivent pouvoir fournir un habitat adapté à la croissance, la reproduction et la survie (Weber, 2009). Elles sont généralement caractérisées au moyen de critères morphologiques comme la pente, le substrat, le courant et la largeur. Ceux-ci vont déterminer la capacité à accueillir une certaine taille de population (Thorstad et al., 2011 ; Tréhin, 2022 ; Wankowki&Thorpe, 1979). Plus de 2000 rivières remplissant ces conditions sont répertoriées en tant que telles, et sont regroupées par grandes régions du monde selon des critères plus larges tels que le climat, la géologie et la géographie (Rivot et al., 2014 ; Thorstad et al., 2011).

Lorsqu'il est question de réintroduire ou de redévelopper les populations du saumon atlantique dans ces rivières, il est important de considérer le degré d'anthropisation de celles-ci (Nikolic, 2009 ; Thorstad et al., 2011). En effet, ce paramètre a un impact négatif non négligeable sur le déclin du saumon et il est donc important de privilégier des rivières qualitatives, notamment en Belgique (Bardonnnet & Baglinière, 1999 ; Descroix, 2009).

Pour cause de ce déclin, premièrement, la construction importante de barrages qui constituent des obstacles impossibles à franchir et impactent particulièrement la migration (Baglinière, Thibault&Dumas 1990 ; Benitez et al., 2022 ; Parrish et al., 1998 ; Renardy et al., 2020). De nombreux autres impacts de ces barrages sur le fonctionnement global des cours d'eau sont à noter tels que, la baisse de connectivité, la modification des conditions physico-chimiques, la

³ Simuliidae Newman, 1834

perturbation du débit ou une perturbation de la température (Benitez et al., 2015, 2022 ; Furlleton et al., 2010 ; Watz et al., 2021).

Deuxièmement, une autre problématique est l'altération de l'habitat causée par une pollution des cours d'eau suite à des rejets anthropiques et par une canalisation des cours d'eau (Baglinière, Thibault&Dumas 1990 ; Parrish et al., 1998). Les rejets sont variés et proviennent majoritairement de l'agriculture, des industries et de déchets domestiques (Baras&Lucas, 2001 ; Parrish et al., 1998 ; WWF, 2001). Les principaux sont : les fertilisants qui provoquent une eutrophisation de l'eau, les sédiments organiques qui réduisent le taux d'oxygène présent, les pluies acides qui abaissent le pH de l'eau et les pesticides qui perturbent le fonctionnement interne du saumon (Baras&Lucas, 2001 ; Parrish et al., 1998 ; WWF, 2001). L'aménagement des cours d'eau par chenalisation détruit directement l'habitat physique du saumon en homogénéisant son lit et indirectement, car cela modifie le débit/courant (Baras&Lucas, 2001 ; WWF, 2001)

La dernière grande raison de cette disparition concerne la surpêche qui diminue considérablement les stocks globaux (Baglinière, Thibault&Dumas 1990 ; Berkowitz, 2014 ; Parrish et al., 1998). De même que les élevages qui posent un certain nombre de problèmes lorsque des individus s'échappent de ceux-ci. En voici quelques-uns : compétition, transmission de maladie, mélange génétique, ... (Jonsson&Jonsson, 2011 ; WWF, 2001).

1.7. Le saumon atlantique en Belgique

Le saumon atlantique a disparu des cours d'eau belges, plus précisément du bassin de la Meuse, dans les années 1930 (Prignon et al., 1999 ; Région Wallonne, 2007). Cela s'inscrit dans la diminution générale des populations en Europe et en Amérique, observée depuis le 19e siècle, suite aux aménagements pour les industries et à la densification humaine (Descroix , 2009 ; Monnerjhan, 2011 ; Parrish et al., 1998).

En Belgique, par la suite, il y a eu une amélioration de la qualité de la Meuse, particulièrement au niveau de son passage à la frontière entre les Pays-Bas et la Belgique (Philippart, 2003). Cette amélioration est due à l'arrivée de mesures concernant les rejets industriels et la mise en place d'épurations des eaux usées dans les années 1970 (Philippart, 2003).

Cela a permis le retour de quelques individus de truite de mer dans la Meuse en 1983, qui fait partie de la même famille que le saumon atlantique et présente un cycle de vie similaire (Philippart, 2003, 2007 ; Prignon et al., 1999 ; Région Wallonne, 2007). Elle fréquente le même type d'habitat et présente donc des exigences équivalentes à celui-ci. Cependant, contrairement au saumon, elle n'avait pas complètement disparu de la Meuse belge et quelques spécimens étaient régulièrement repérés (Philippart, 2003, 2007).

Après cet évènement, le projet Saumon Meuse 2000 a alors vu le jour avec pour but la réintroduction du saumon atlantique au sein du bassin de la Meuse (Philippart, 2003 ; Prignon et al., 1999). Afin d'y parvenir, trois axes primordiaux ont été définis en 1987 (Monnerjhan, 2011 ; Philippart, 2003 ; Prignon, 1999) :

- La restauration de la continuité du fleuve à l'aide d'ouvrages de franchissement ;
- Le repeuplement avec différentes souches et l'étude de leur écologie durant la phase fluviale ;

- Un suivi des individus qui reviennent lors de la montaison.

D'autres projets similaires de réintroduction du saumon ont vu le jour à la même période. Comme en Allemagne, en 1987, avec le projet "Rhine Action Programme" dont les populations ont disparu dans les années 1950 pour les mêmes raisons qu'en Belgique (Monnerjhan, 2011). Les interventions sont similaires à celles entreprises en Belgique : amélioration de la qualité de l'eau, restauration de la continuité du fleuve, réintroduction de différentes souches et monitoring (Monnerjhan, 2011). Des opérations de réintroduction et de soutien des populations dans différents cours d'eau français ont également eu lieu avec des techniques équivalentes (Baglinière, Thibault&Dumas 1990). Ces projets, présents sur la majeure partie de l'aire de répartition du saumon, permettent une mise en commun des données et donc des avancées considérables. De plus, la création en 1984 de l'organisation internationale NASCO (North Atlantic Salmon Conservation Organisation) permet une coopération et fournit des guidelines pour la conservation du saumon atlantique (NASCO, 21/06/2023).

En 2002-2003, une dizaine d'adultes ont été capturés en bassin Mosan belge avec un pic de capture en 2015 avec plus de 50 individus capturés (Figure 2) (Benitez et al., 2023). Ces captures ont ouvert la voie à la recréation d'une souche mosane par reproduction artificielle à la salmoniculture d'Erezée. Les jeunes individus sont ensuite relâchés dans des endroits propices (Philippart, 2007). Ce fonctionnement pour le repeuplement est obligatoire au vu des particularités du cycle vital décrit ci-dessus.

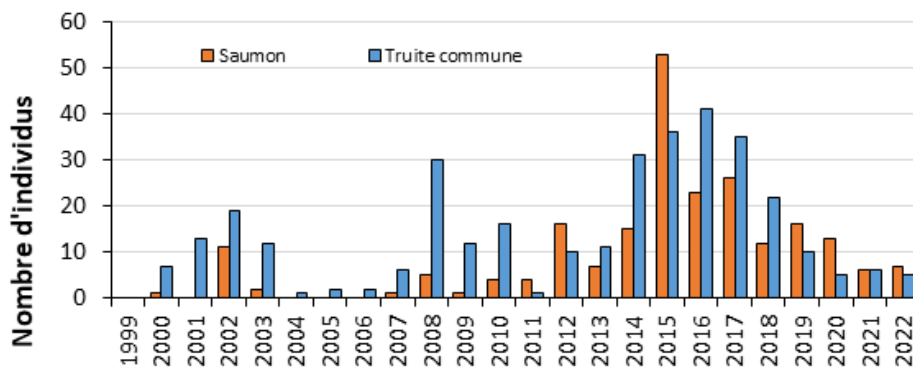


Figure 2 : Evolution du nombre de saumons et de truites communes capturés en remontée dans la grande échelle à poissons du barrage de Lixhe sur la Meuse de 1999 à 2022. (Source : Rapport final annuel 2022 au Service Public de Wallonie (DGARNE/DNF-SP) de la Subvention 2022-2023 relative au suivi scientifique de la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse)

Le retour du saumon en Meuse reste tout de même assez faible et est en diminution depuis 2017 (Figure 2) (Benitez et al., 2023). Ces chiffres sont en dessous des objectifs de population fixés et ne permettent pas le renouvellement viable de la population sans intervention humaine. Plusieurs causes sont identifiées pour expliquer ce phénomène au regard de la faible survie des juvéniles dans nos cours d'eau. Tout d'abord, il y a la forte prédation subie due, notamment, à une perte de réflexe de fuite, une adaptation lente au milieu, les perturbations anthropiques toujours présentes et finalement les ressources en macro-invertébrés limitées particulièrement au niveau des insectes dérivants (Orlov et al., 2006).

1.8. Objectif

De telles études sur des espèces exigeantes comme le saumon en termes de qualité d'eau et de besoins en proies (comme par exemple les macro-invertébrés) permettent de prendre des mesures de protections, de restaurations et de gestions adaptées (Gauthier, 2021 ; Monnerjahn, 2011). En outre, des mesures prises pour le saumon atlantique profiteront à un panel d'autres espèces se retrouvant dans le même environnement, c'est à dire les espèces rhéophiles, comme les salmonidés, cyprinidés et autres poissons (Philippart, 2007).

Cette étude se concentre sur l'alimentation du saumon en rivière qui est un point crucial à analyser. Entre autres parce que la connaissance fine de l'alimentation en eau douce du saumon apporte une compréhension sur différentes étapes clés du développement tels que la croissance, la migration ainsi que la reproduction (Rossechi & Nouaze, 1987). Cela permet également d'avoir une vision globale sur le cours d'eau occupé en quantifiant sa rentabilité, le fitness du saumon étant en lien avec sa consommation en proies (Guitard, 1998).

Le but de ce travail est d'étudier les relations trophiques existant entre le saumon atlantique et les macroinvertébrés. Il est clair que ces relations ont un impact conséquent sur la croissance et la survie des jeunes saumons en rivière. Cet impact se répercute sur la smoltification et donc sur la durée de vie en rivière ainsi que leur succès de dévalaison. Ce travail prend place dans le cadre du suivi de l'avancée du projet Saumon Meuse. L'objectif est de caractériser l'alimentation du Saumon (fitness) et plus particulièrement au niveau des macro-invertébrés. Pour cela, nous avons réalisé une étude des contenus stomacaux en comparaison avec les macroinvertébrés disponibles dans la Berwinne, affluent direct de la Meuse au niveau de Visé. L'influence de la taille des saumons sur la prise alimentaire sera également prise en compte.

Plusieurs hypothèses peuvent être avancées, la première est que (i) les saumons au stade tacon sont sélectifs au niveau de leur proies. Une deuxième hypothèse est que (ii) plus leur taille est importante, plus les proies ingérées et sélectionnées seront nombreuses et une différence en termes d'espèces est attendue. La dernière hypothèse est que (iii) la présence des proies préférentielles des tacons influence leur présence et positionnement dans certains radiers plutôt que d'autres.

2. Matériel et méthode

2.1. Lieu d'échantillonnage et situation :

La Berwinne est un affluent direct de la Meuse dont la confluence est située juste en aval du barrage de Lixhe, proche de la frontière néerlandaise (Rimbaud et al., 2014). Elle prend sa source près d'Aubel et traverse le pays de Herve avant de rejoindre la Meuse. Elle est considérée comme « ruisseau condrusien à pente forte » de sa source à Berneau, puis comme « ruisseau condrusien à pente moyenne » à partir de Moelingen (Rimbaud et al., 2014 ; SPW, 2016). Dans la classification du SPW, elle fait partie de la masse d'eau MV16R (MV = Meuse Aval) avec ses affluents (Figure 3) : le Bolland et les ruisseaux d'Asse, de Befve et de Mortier. Cette masse d'eau, qui fait partie de la tête du sous-bassin de la Meuse aval, occupe une superficie totale de 116,98 km² (Rimbaud et al., 2014 ; SPW, 2016).

La Berwinne est une rivière dont la confluence avec la Meuse est située en aval des problèmes majeurs de libre circulation de saumons. Dans le cadre du programme de réintroduction du

saumon en Wallonie, la Berwinne a donc été choisie, contrairement aux années précédentes où le focus était fait sur l'Ourthe qui s'est révélée encore trop fragmentée pour les saumons (Benitez et al, 2018, 2022 ; Renardy et al., 2018, 2020). Il est à noter que la Berwinne est la dernière rivière dans laquelle se sont reproduits les saumons en Belgique avant leur disparition totale (Philippart, 2007). En avril 2022, des juvéniles, alevins à vésicules résorbées d'environ 1 cm (N=60.0000 individus), ont été déversés dans la Berwinne pour le projet Saumon Meuse. Ils ont été relâchés dans 4 secteurs différents répartis sur le cours d'eau (Carte 1) et sur 14 à 22 radiers différents par secteur (Benitez et al., 2023). En juillet 2022, des mesures de croissance ainsi que des prélèvements de contenus stomacaux ont été effectués dans le cadre du TFE de Monsieur Tokpon (Tokpon, 2022). Des pêches électriques ont également été organisées en octobre (Benitez et al., 2023).

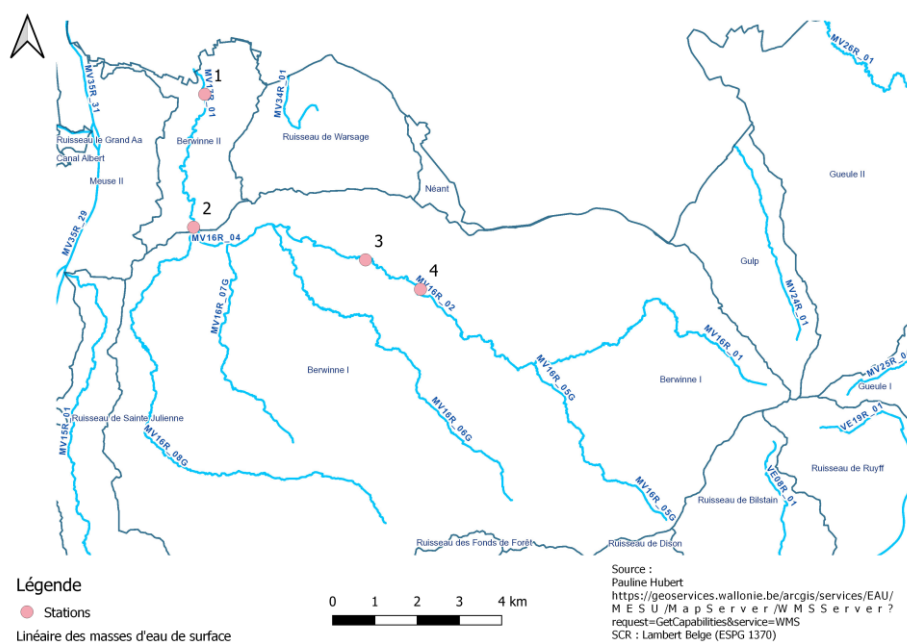


Figure 3 : Masse d'eau MV16R (Berwinne) et les quatre secteurs.

La partie Meuse aval est la plus anthropisée du bassin de la Meuse avec une densité moyenne de population de 376 habitants/km², ce qui représente plus de deux fois la moyenne du bassin de la Meuse (SPW, 2016).

Concernant la masse d'eau de la Berwinne, la densité moyenne de population est de 229,82 habitants/km², ce qui reste également beaucoup plus élevé que la moyenne de 175 habitants/km² pour le bassin de la Meuse.

De ce fait, l'occupation du sol pour ce territoire est majoritairement agricole (80,57%) dont 82,27% de prairies permanentes et artificialisées (16,32%), les forêts et milieux semi-naturels ne

représentant que 2,70% de la surface totale (Figure 4) (SPW, 2016).

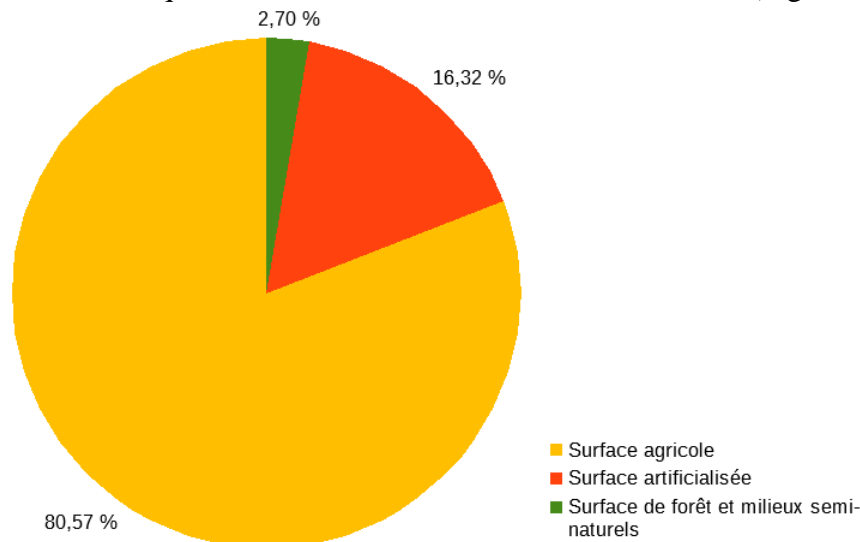


Figure 4 : Occupation du sol autour de la masse d'eau MV16R

Au niveau de la diversité en poissons présents sur les radiers (en dehors du saumon), 10 espèces sont répertoriées dans le secteur 1 pour un total de 1236 individus ; 8 espèces sont répertoriées dans le secteur 2 pour un total de 1610 individus ; 6 espèces sont répertoriées dans le secteur 3 pour un total de 809 individus et de 5 espèces dans le secteur 4 pour un total de 919 individus. Les 3 espèces majoritaires, et ce pour les 4 stations, sont le Chabot, la Loche et le Vairon (Tableau 1) (Benitez et al., 2023).

Tableau 1 : Diversité en poissons sur les radiers en juillet 2022 pour les 4 secteurs (excepté les saumons)

Nom vernaculaire	Nom latin ⁴	Berneau	Dalhem	Aubin-Neufchateau	Val-Dieu
Chabot	<i>Cottus gobio</i> L,1758	44,26%	40,81%	72,81%	35,91%
Loche	<i>Barbatula barbatula</i> L,1758	32,77%	27,76%	14,22%	33,08%
Vairon	<i>Phoxinus phoxinus</i> (L,1758)	14,89%	29,07%	11,74%	30,36%
Ablette s.	<i>Alburnoides bipunctatus</i> (Bloch, 1782)	3,07%	1,24%	0,00%	0,00%
Goujon	<i>Gobio gobio</i> (L,1758)	2,27%	0,37%	0,12%	0,00%
Truite <100mm	<i>Salmo trutta</i> L,1758	0,49%	0,12%	0,12%	0,44%
Truite	<i>Salmo trutta</i>	0,32%	0,00%	0,00%	0,11%
Chevaine <100mm	<i>Squalius cephalus</i> (L,1758)	0,24%	0,37%	0,49%	0,00%
Chevaine	<i>Squalius cephalus</i>	0,89%	0,19%	0,49%	0,00%
Vandoise	<i>Leuciscus leuciscus</i> (L,1758)	0,16%	0,00%	0,00%	0,00%

⁴ Les noms présents dans ce tableau sont valables pour tout le document

Barbeau <100mm	<i>Barbus barbus</i> (L,1758)	0,57%	0,00%	0,00%	0,00%
Anguille	<i>Anguilla anguilla</i> (L,1758)	0,08%	0,00%	0,00%	0,00%
Epinoche	<i>Gasterosteus aculeatus</i> L,1758	0,00%	0,06%	0,00%	0,00%
Pseudo rasbora	<i>Pseudorasbora parva</i> (Temminck&Shlegel,1846)	0,00%	0,00%	0,00%	0,11%

Source : Benitez et al., 2023. SUBVENTION D'ETUDE RELATIVE A LA REHABILITATION DU SAUMON ATLANTIQUE DANS LE BASSIN DE LA MEUSE Rapport final février 2022 - janvier 2023

2.2. Echantillonnage des saumons atlantiques par pêche électrique

L'échantillonnage a eu lieu dans les secteurs et radiers sur lesquels les saumons ont été relâchés l'année passée.

Par secteur, avec un effort d'échantillonnage égal, une personne munie d'un groupe électrogène portable de type EFKO - FEG 1700 balaye les radiers à l'aide d'une anode. Les radiers sont échantillonnés de l'aval vers l'amont afin d'éviter les perturbations sur les radiers non-échantillonnés. Trois personnes suivent, en aval de l'anode, avec des épuisettes afin de capturer les poissons présents dans le champ d'action de l'anode (électronarcose). Une quatrième personne récupère dans un seau (Figure 5), uniquement les saumons capturés tout en conservant l'information du radier de capture. Les conditions de débits pour les pêches électriques doivent être inférieures à 1-1.2m³/s afin de conserver une efficacité de pêche suffisante pour ce type de milieu.

Pour le secteur 1 (Annexe 1), situé à Berneau, l'échantillonnage a eu lieu le 2 mars du radier 15 (50,747416°N, 5,726727°E) au radier 1 (50,739834°N, 5,727649°E). Ce secteur est situé le plus en aval. Le débit était de 0.52-0.43 m³/s à la station limnimétrique de Dalhem (SPW-Hydrométrie - L6390). (50.71953 °N, 5.72295 °E).

Pour le secteur 2 (Annexe 2), situé à Dalhem, l'échantillonnage a eu lieu le 3 mars du radier 14 (50,718470°N, 5,722474°E) au radier 1 (50,714756°N, 5,724435°E). Le débit était de 0.43-0.47 m³/s à la station limnimétrique de Dalhem (SPW-Hydrométrie - L6390). (50.71953 °N, 5.72295 °E).

Pour le secteur 3 (Annexe 3), situé à Aubin-Neufchâteau, l'échantillonnage a eu lieu le 21 mars du radier 22 (50,708398°N,5,776680°E) au radier 1 (50,706384°N,5,784419°E). Le débit était de 0,41-0,45m³/s à la station limnimétrique de Val Dieu (SPW-Hydrométrie- L7511 (50.70767°N, 5.78155°E).

Pour le secteur 4, situé à Val Dieu (Annexe 4), l'échantillonnage a eu lieu le 23 mars du radier 14 (50,702454°N,5,796592°E) au radier 1 (50,699444°N, 5,801111°E). Ce secteur est situé le plus en amont. Le débit était de 0,36-0,4m³/s à la station limnimétrique de Val Dieu (SPW-Hydrométrie- L7511). (50.70767°N, 5.78155°E)



Figure 5 : Tacons récupérés lors des pêches 1 et 2 dans des seaux par radiers (Hubert P., 2023)

2.3. Prises de mesures et de contenus stomacaux

Après capture, les individus d'un même radier sont anesthésiés dans un bac contenant de l'eau et du phénoxyéthanol (0,2ml/L). 54 saumons ont été pêchés dans le premier secteur, 27 dans le deuxième, 29 dans le troisième et 15 dans le dernier secteur.

Ensuite, tous les saumons atlantiques sont mesurés en taille (standard et à la fourche) ainsi que pesés (à l'aide d'une balance Kern 0,1g de précision) et tagués avec des marqueurs de type RFID (Texas instrument 23mm/12 mm Glass Transpondeur).

En ce qui concerne les contenus stomacaux, les 20 premiers saumons avec contenus sont sélectionnés (sauf pour le secteur 4 où seulement 15 contenus ont été prélevés). La technique du "flushing" est utilisée afin de ne pas sacrifier les saumons. Pour cela un dispositif particulier est utilisé : il est composé d'un fin embout en plastique prolongé par un tuyau en plastique relié à un pulvérisateur rempli d'eau distillée, une pédale permet de contrôler la pression. L'embout est inséré délicatement à l'intérieur de l'orifice buccal du saumon jusqu'à la première résistance ressentie (quelques centimètres) et les opercules sont maintenus fermés afin d'éviter le passage de macro invertébrés par ce biais. De l'eau distillée est alors injectée dans l'estomac du saumon, le processus est répété plusieurs fois afin de s'assurer de la récupération de la totalité du contenu stomacal. Celui-ci est récupéré dans une passoire en plastique posée sur un support pour en assurer la stabilité (Figure 6).

Ensuite, pour chaque individu, les macro-invertébrés récupérés dans la passoire, sont mis dans un Eppendorf à l'aide d'une pince (Figure 6). Ils seront congelés pour leur conservation. Entre chaque individu, le matériel est rincé à l'aide d'eau distillée/alcool et les expérimentateurs portent des gants médicaux afin d'éviter une quelconque contamination.

Une fois les mesures effectuées et les effets de l'anesthésie dissipés, les saumons sont relâchés dans les radiers desquels ils proviennent.



Figure 6 : Récupération du contenu stomacal et mise en Eppendorf (Gelder J., 2023)

2.4. Echantillonnage des macroinvertébrés benthiques

L'échantillonnage est fait dans un premier temps au niveau des radiers dans lesquels un prélèvement stomacal a été effectué sur un ou plusieurs saumons.

- Pour le secteur n°1 Berneau, les radiers 15, 14, 13, 11 et 10 sont échantillonnés le 12 avril. Le débit était de 1.54-1.04 m³/s à la station limnimétrique de Dalhem (SPW-Hydrométrie- L6390). (50.71953 °N, 5.72295 °E).
- Pour le secteur n°2 Dalhem, les radiers 14, 13, 10, 9, 6 et 5 sont échantillonnés le 29 mars. Le débit était de 1.63-2.17 m³/s à la station limnimétrique de Dalhem (SPW-Hydrométrie- L6390). (50.71953 °N, 5.72295 °E).
- Pour le secteur n°3 Aubin, les radiers 19,17,16,14,13,11,10,9 et 8 sont échantillonnés le 6 avril. Le débit était de 0.62-0.57 m³/s à la station limnimétrique de Val Dieu (SPW-Hydrométrie-L7511). (50.70767°N, 5.78155°E)
- Pour le secteur n°4 Val Dieu, les radiers 13, 12 ,11 ,10 ,8,7,4 sont échantillonnés le 11 avril. Le débit était de 0.54-0.37m³/s à la station limnimétrique de Val Dieu (SPW-Hydrométrie- L7511). (50.70767°N, 5.78155°E)

Par secteur, 3 radiers dans lesquels aucun saumon n'a été pêché sont également échantillonnés. Cela correspond aux radiers 12,3 et 2 pour le secteur 1 ; 8,7 et 3 pour le secteur 2 ; 20,18 et 12 pour le secteur 3 et 14,9 et 5 pour le secteur 4.

Pour les individus benthiques, un échantillonnage (Figure 7) est effectué au filet troubleau de 75 cm de long à armature métallique de diamètre 30 cm, à hauteur de trois prélèvements par radiers au niveau des substrats des plus biogènes au moins biogènes et bien représentés sur la station. Les substrats sont identifiés selon la classification IBGN qui associe des couples substrats/vitesse. Les substrats les plus représentés sont : les grosses pierres et galets qui sont typique des radiers, ensuite ce sont les végétaux (racines, spermaphytes immergés, ...) et

enfin les sables et graviers. Lorsque le substrat est de type gravier/sable, le filet est posé au fond et le substrat est chassé dans le filet à l'aide de trois coups de pieds. Pour les grosses pierres (>20 cm), 3 ou 4 pierres sont frottées consciencieusement dans le filet. Enfin, en ce qui concerne les végétaux (algues, racines, plantes, ...), ils sont insérés dans le filet et frottés, et ce à trois endroits différents.



Figure 7 : Echantillonnage des macroinvertébrés benthiques (Caparros R., 2023)

Le contenu de chaque échantillon est déversé sur un ensemble de trois tamis de marque Prüfsieb DIN 4188 de 20cm de diamètre avec un maillage différent de 6,2mm, 2mm et 500 microns. Un bac blanc est présent en dessous des tamis afin de récupérer tous les organismes. La méthodologie post-prélèvement dans le milieu est la suivante (Figure 8) :

1. Le filet est rincé à l'aide d'un pulvérisateur sous pression rempli d'eau de rivière. Le substrat disposé sur le premier tamis est rincé également à l'aide du pulvérisateur (Figure 8).
2. Lors du passage sur le deuxième tamis, après rinçage, le substrat avec les macroinvertébrés sont récupérés dans un pot avec un peu d'éthanol à 70° (Figure 8).
3. La procédure est la même pour le dernier tamis, le contenu du bac blanc est reversé dans ce tamis pour vérification. Les macroinvertébrés sont récupérés dans le même pot que pour le tamis n°2.

A chaque fois, une vérification visuelle est effectuée afin de s'assurer que tous les macroinvertébrés ont été récupérés. Le cas échéant, ils ont été pris avec une pince molle et déposés directement dans le contenant. Les 3 échantillons faits sur un même radier sont mis ensemble dans un contenant.



Figure 8 : Dispositif de tri des échantillons de macroinvertébrés (Goulard M.A., 2023)

2.5. Echantillonnage des macroinvertébrés dérivants

En ce qui concerne les individus dérivants, des filets de 30x30 cm sont posés en amont du premier radier dans chacune des 4 stations, et ce pendant 2h. Les 3 filets sont disposés sur la largeur du cours d'eau à 2 cm du fond de substrats pour empêcher une récolte des individus benthiques et il doit dépasser la surface du cours d'eau (Figure 9). Le débit est mesuré à l'ouverture de chaque filet au début du prélèvement au moyen d'un courantomètre de type Flo-mate 2000 portable. Pour le secteur 1, les filets ont été posés de 13h48 à 15h50 avec un courant à l'entrée de chaque filet de respectivement 0,40 m³/s, 0,41m³/s et 0,10m³/s (Figure 9). Pour le secteur 2, les filets ont été posés de 9h49 à 12h15 avec un courant à l'entrée de chaque filet de 0,57m³/s, 0,54m³/s et 0,55m³/s. Pour le secteur 3, les filets ont été posés de 12h40 à 14h52 avec un courant à l'entrée de chaque filet de 0,25m³/s, 0,35m³/s et 0,58m³/s. Pour le secteur 4, les filets ont été posés de 9h50 à 13h40 avec un courant à l'entrée de chaque filet de 0,35m³/s, 0,30m³/s et 0,28m³/s.

La procédure de récupération des organismes capturés dans le filet est la même que pour la partie benthique avec rinçage et récupération sur tamis. Et enfin les macroinvertébrés présents dans les 3 filets sont récupérés dans un même contenant avec de l'éthanol à 70°.



Figure 9 : Dispositif d'échantillonnage des macroinvertébrés dérivants

2.6. Identification des macroinvertébrés en laboratoire

Le contenu de chaque échantillon est déversé au fur et à mesure dans une boîte de pétri afin de séparer les macroinvertébrés du reste de substrat. Les individus sont mis en conservation dans un pilulier contenant de l'éthanol à 70%.

Une fois triés à l'aide d'une pince molle, ils sont mis dans une boîte de pétri contenant de l'eau distillée puis identifiés à l'aide d'un binoculaire de grossissement 10x22. Les références et clés utilisées pour l'identification sont : la clé en ligne *Classification - PERLA - Ministère du Développement durable*. (Avril 2023, <http://www.perla.developpement-durable.gouv.fr/index.php/classification/liste>) ainsi qu'en complément le livre Tachet et al. "Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie, écologie.

Les individus pour lesquels des interrogations au niveau de l'identification de la famille persistaient ont été identifiés par Monsieur Frédéric Cherot, membre du Demna et spécialiste en macroinvertébrés.

En ce qui concerne les contenus stomacaux, ils sont décongelés et ensuite mis dans une boîte de pétri contenant de l'eau distillée. Une fois l'identification au binoculaire effectuée selon la même méthode que précédemment, ils sont remis au congélateur.

2.7. Traitement statistique et formules

La partie résultat est divisée en quatre grandes parties :

- 1. Caractéristiques biométriques des saumons capturés sur les 4 secteurs échantillonnés**
- 2. Composition du contenu stomacal**
- 3. Composition et comparaison des radiers en macroinvertébrés benthiques et dérivants**
- 4. Indice de sélectivité**

Indices :

-Test de corrélation de Spearman entre la taille et le poids :

$r_s = \frac{cov(r_{g_x}, r_{g_y})}{\sigma_{r_{g_x}} \sigma_{r_{g_y}}}$ Où r_{g_x} est la variable de rang pour la taille en millimètres (mm), r_{g_y} est la variable de rang pour le poids en grammes (g), cov est la covariance et $\sigma_{r_{g_x}}$; $\sigma_{r_{g_y}}$ sont les écart-types des variables de rang. Il varie entre -1 (corrélation négative) et +1 (corrélation positive), lorsqu'il est proche de 0 il n'y a pas de corrélation entre les deux variables.

-Taux de croissance spécifique (SGR)

$SGR \left(\frac{\%}{j} \right) = \frac{(\ln P_f) - \ln(P_i) \cdot 100}{nbr \text{ jour}}$ Où P_f est le poids (g) de l'individu au moment de l'étude, P_i est le poids (g) initial de l'individu et nbr jour est le nombre de jours (j) qui sépare la mesure de P_i et de P_f .

-Coefficient de condition de Fulton (K)

$K = \frac{P}{L^3}$ Où P est le poids en grammes (g) et L est la taille à la fourche en centimètres (L).

- Indice de Shannon (H')

$H' = -\sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$ Où i est une famille du milieu d'étude, S est la richesse spécifique et p_i est la proportion du nombre d'individus d'une famille (n_i) sur le nombre d'individus total dans le milieu d'étude (N)

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

Il varie entre 0 et ln(S), plus il est proche de ln(S) plus la diversité est grande.

-Indice de sélectivité de Pearre (C)

$$C = \pm \left[\frac{\left(|a_d \cdot b_e - b_d \cdot a_e| - \left(\frac{n}{2}\right) \right)^2}{a \cdot b \cdot d \cdot e} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{Où } a_d \text{ est le nombre d'individus d'une famille } i \text{ dans le contenu}$$

stomacal, a_e est le nombre d'individus d'une famille i dans l'environnement, b_e est le nombre d'individus total dans l'environnement (moins le nombre d'individus de la famille i) et b_d est le nombre d'individus total dans le contenu stomacal (moins le nombre d'individus de la famille i).

$$a = a_d + a_e, \quad b = b_d + b_e, \quad d = a_d + b_d, \quad e = a_e + b_e \quad \text{et} \quad n = a_e + a_d + b_e + b_d.$$

Il varie de -1 à $+1$, plus il est proche de $+1$ pour une famille plus elle est sélectionnée par préférence et plus il est proche de -1 pour une famille plus elle est évitée ou inaccessible (dans le cas de familles non consommées) et plus il est proche de 0 plus le comportement est neutre.

-Abondance relative

$$p_i = \frac{n_i}{N} \quad \text{Où } n_i \text{ est le nombre d'individus d'une espèce et } N \text{ est le nombre total d'individus}$$

Analyses statistiques :

Pour les analyses en composantes principales (ACP), les abondances relatives de chaque famille de macro-invertébrés sont utilisées. L'utilisation des données de chaque famille ne permettant pas d'obtenir une variance expliquée suffisante. Les familles présentes à moins de 1% au niveau de l'abondance totale ont été éliminées. Ensuite, les variables (familles) qui ont la variance expliquée la plus faible sont éliminées jusqu'à l'obtention de 60% minimum de variance expliquée pour les dimensions 1 et 2.

Pour les analyses de normalités des données, le test de Shapiro-Wilk est utilisé. Les hypothèses sont : Les données sont normales (H_0) et les données ne sont pas normales (H_1). La p-value limite d'acceptation/rejet des hypothèses est de 0,05. Le test afin de comparer les abondances relatives utilisé est le test non-paramétrique de Kruskal-Wallis. Les hypothèses sont : Les médianes sont les mêmes (H_0) et les médianes sont différentes (H_1). La p-value limite d'acceptation/rejet des hypothèses est de 0,05. Le test post-hoc utilisé est le test non-paramétrique de Dunn. La différence entre deux groupes comparés est vérifiée à l'aide de la p-value qui doit être inférieure à 0,025 (0,05/2).

Logiciels :

Les logiciels utilisés pour les analyses et graphiques sont : R Studio version 4.1.2, Libre Office Calc version 6.3 et Excel version 2306.

3. Résultats

3.1. Caractéristiques biométriques des saumons capturés sur les 4 secteurs échantillonnés

Au total, 125 saumons ont été capturés dans la Berwinne. Pour le secteur 1 (Berneau), 54 saumons ont été pêchés le 2 mars 2023, 27 saumons pour le secteur 2 (Dalhem), le 3 mars 2023, 29 saumons pour le secteur 3 (Aubin) le 21 mars 2023 et 15 saumons pour le secteur 4

(Val Dieu), le 23 mars 2023. Dans chaque secteur, excepté le 4 (15 contenus), 20 contenus stomacaux ont été prélevés. Tous secteurs confondus, le poids des saumons est significativement corrélé à leur taille ($r(74) = 0,97, P < 2,2e-16$; Figure 10).

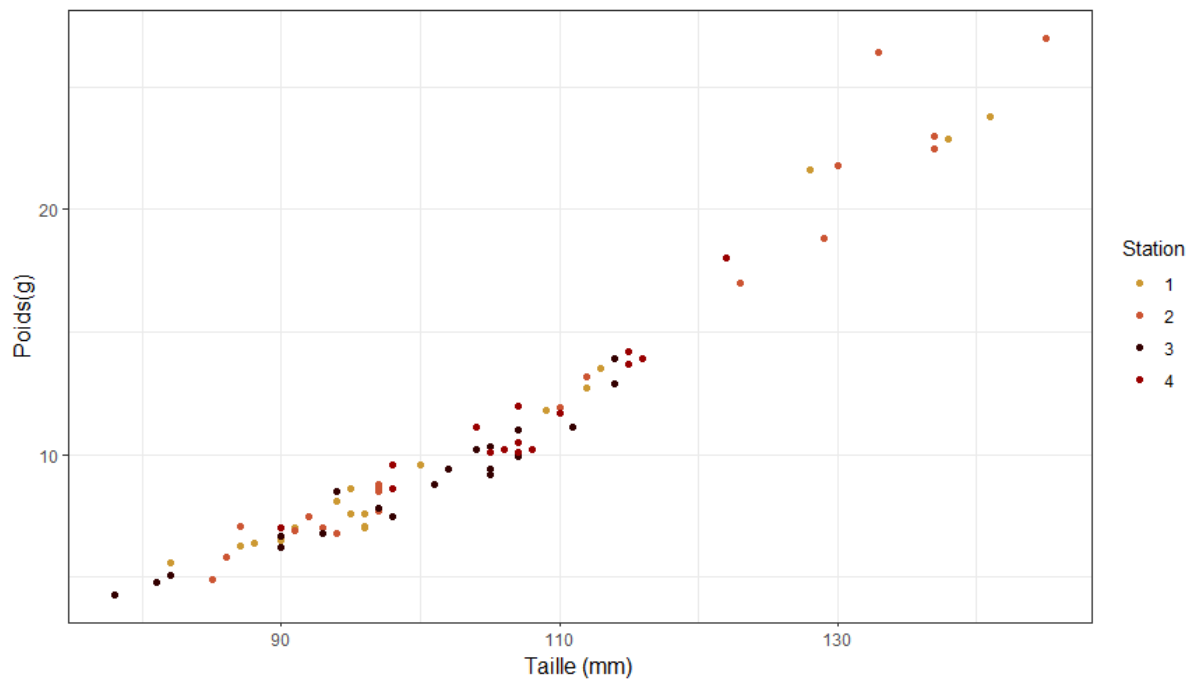


Figure 10 : Relation taille à la fourche (mm)/poids(g) des tacons capturés à 11 mois post-déversement pour les 4 secteurs (1=Berneau, 2=Dalhem, 3=Aubin, 4=Val Dieu).

La taille moyenne des saumons (Figure 11, gauche) de la station 1 (102 ± 16 mm), de la station 2 ($108 \text{ mm} \pm 20$ mm), de la station 3 ($98 \text{ mm} \pm 10$ mm) et de la station 4 ($107 \text{ mm} \pm 8$ mm) n'est pas significativement différente entre les 4 stations ($H(3) = 5,46, P = 0,14$; Figure 11, gauche). Le poids moyen (Figure 11, droite) de la station 1 ($10,6 \text{ g} \pm 5,7$ g), de la station 2 ($13,1 \text{ g} \pm 7,5 \text{ g}$), de la station 3 ($8,7 \text{ g} \pm 2,6 \text{ g}$) et de la station 4 ($11,4 \text{ g} \pm 2,7 \text{ g}$) n'est pas significativement différent entre les 4 stations ($H(3) = 6,79, P = 0,08$; Figure 11, droite).

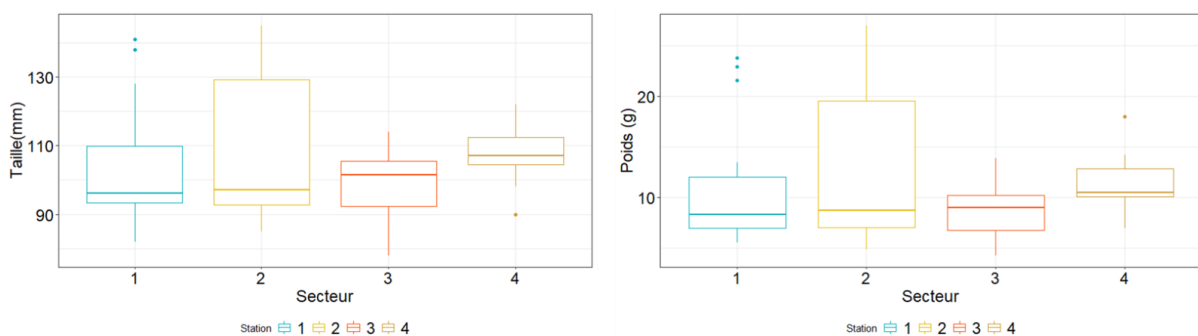


Figure 11 : Taille (à gauche) et poids (à droite) des tacons, dont le contenu stomacal a été prélevé, sur les 4 stations échantillonnées.

Le taux de croissance spécifique de la station 3 ($1,10 \pm 0,09$) est significativement plus faible que ceux de la station 1 ($1,22 \pm 0,14$) et de la station 2 ($1,27 \pm 0,18$) (Figure 12, gauche). Celui de la station 4 ($1,16 \pm 0,07$) ne montre pas de différence significative avec les 3 autres stations ($H(3) = 11,36, P = 0,01$; Figure 12, gauche). Concernant le coefficient de condition, il est en moyenne de $0,92 \pm 0,06$ dans la station 1, de $0,92 \pm 0,08$ dans la station 2, de $0,87 \pm 0,06$ dans

la station 3 et de $0,91 \pm 0,06$ dans la station 4, sans différence significative observée entre stations ($H(3) = 6,79, P = 0,08$; Figure 12, droite).

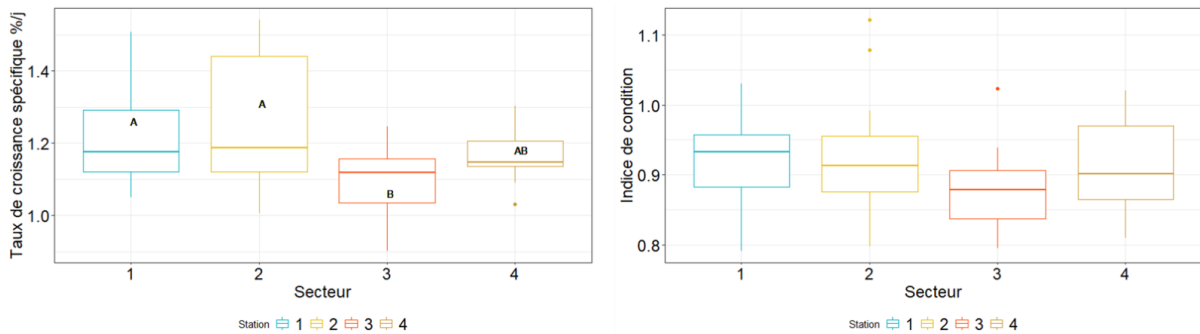


Figure 12 : Taux de croissance spécifique (%/j) (à gauche) et coefficient de condition K de Fulton (à droite) pour les tacons de 11 mois en fonction des 4 stations échantillonnées.

3.2. Analyse des contenus stomacaux des saumons

3.2.1 Aperçu global des familles consommées par les saumons

Au total, 12 familles ont été retrouvées pour un total de 597 individus de macroinvertébrés pour 75 saumons analysés. Les 3 familles majoritaires retrouvées (84,59% de l'abondance totale) sont les Baetidae (42,21%), les Chironomidae (24,79%) et les Simuliidae (17,59%) (Figure 13).

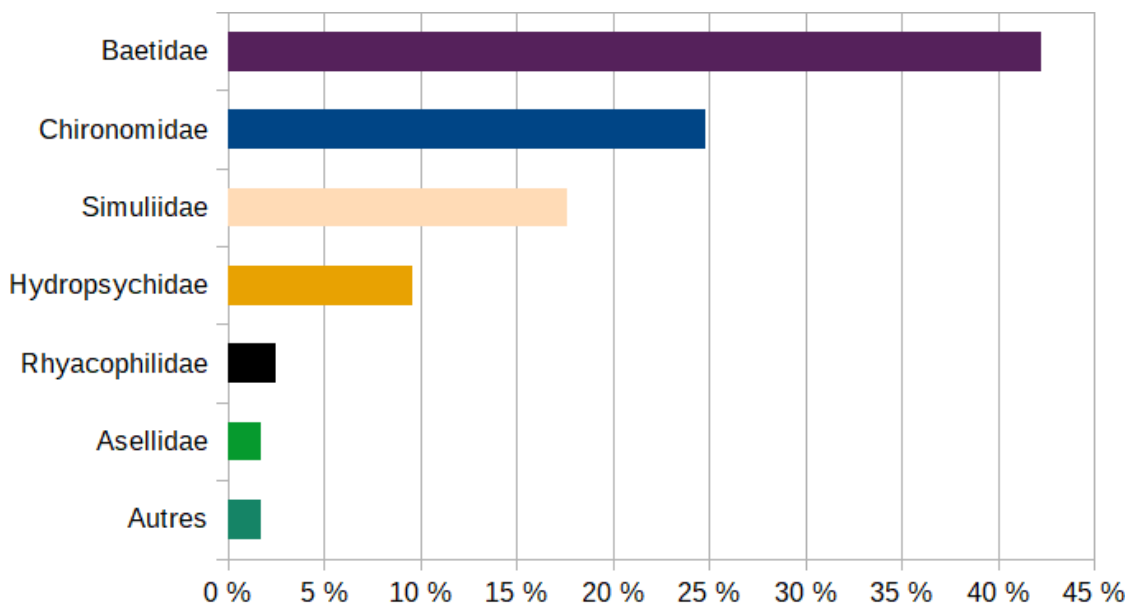


Figure 13 : Abondance relative des familles de macroinvertébrés⁵ dans les contenus stomacaux de saumon pour les 4 stations confondues (La catégorie "Autres" regroupe les familles présentant une abondance relative < 1%).

3.2.2. Aperçu par station des familles consommées par les saumons

Pour la station 1 : 5 familles sont retrouvées pour un total de 45 macroinvertébrés dont 3 familles sont majoritaires (95,55% de l'abondance totale) : les Chironomidae (51,11%), les Simuliidae (40%) et les Hydropsychidae (4,44%) (Tableau 2). **Pour la station 2 :** 8 familles (dont 2 vairons, une espèce de poisson) sont retrouvées pour un total de 139 macroinvertébrés

⁵ Voir tableau 2 pour les noms scientifiques

dont 3 familles sont majoritaires (91,97% de l'abondance totale) : les Simuliidae (42,34%), les Chironomidae (36,50%) et les Baetidae (13,14%) (Tableau 2). **Pour la station 3** : 10 familles sont retrouvées pour un total de 174 macroinvertébrés dont 3 familles sont majoritaires (84,48% de l'abondance totale) : les Baetidae (53,45%), les Chironomidae (23,56%) et les Hydropsychidae (7,47%) (Tableau 2). **Et pour la station 4** : 6 familles sont retrouvées pour un total de 239 macroinvertébrés dont 3 familles sont majoritaires (90,38% de l'abondance totale) : les Baetidae (58,58%), les Hydropsychidae (17,57%) et les Chironomidae (14,23%) (Tableau 2).

Tableau 2 : Abondances relatives des familles de macroinvertébrés présentes dans les contenus stomacaux.

Famille ⁶	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4
Oligochaeta Grube, 1850	0	0	0,57 %	0
Mégalopectera Latreille, 1802	0	0	0,57 %	0
Epheméridae Latreille, 1810	0	0	0,57 %	0
Gammaridae Latreille, 1802	0	0,72 %	0,57 %	0
Hydracarien	0	2,16 %	0	0
Asellidae Latreille, 1802	2,22 %	2,16 %	0,57 %	2,09 %
Rhyacophilidae Stephens, 1836	0	2,88 %	5,17 %	0,84 %
Hydropsychidae Curtis, 1835	4,44 %	0	7,47 %	17,57 %
Simuliidae Newman, 1834	40,00 %	41,73 %	7,47 %	6,69 %
Chironomidae Newman, 1834	51,11 %	35,97 %	23,56 %	14,23 %
Baetidae Leach, 1815	2,22 %	12,95 %	53,45 %	58,58 %

3.2.3 Comparaison des contenus stomacaux entre stations

Une analyse en composantes principales a été réalisée afin de comparer visuellement les compositions des contenus stomacaux entre les stations. Les contenus des stations 1 et 2 sont séparés de ceux des stations 3 et 4 avec 64,7% de variance expliquée par les 2 premières dimensions (Figure 14, gauche). Les contenus des stations 3 et 4 montrent des contenus en Baetidae et Hydropsychidae plus important que les stations 1 et 2 (Figure 14, droite).

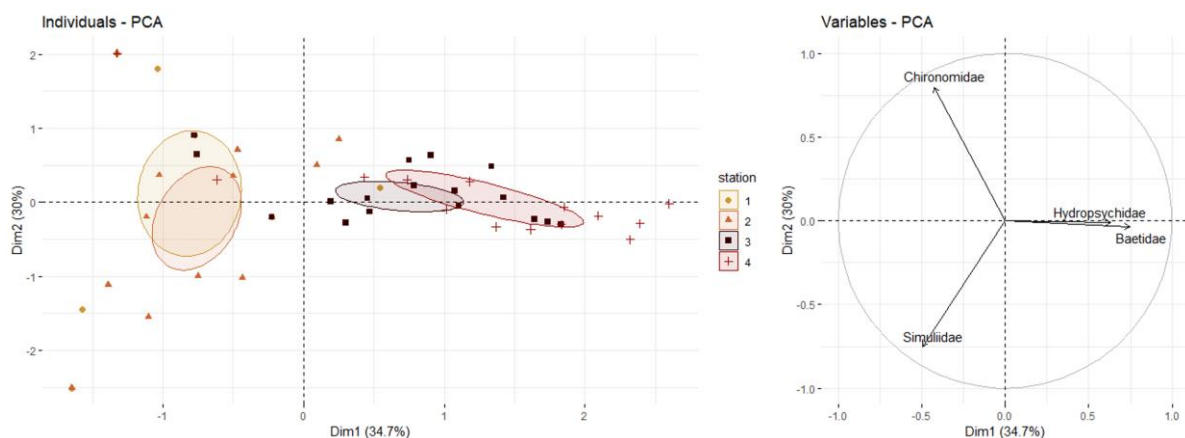


Figure 14 : Analyse en composantes principales des abondances relatives des familles de macroinvertébrés retrouvés dans les contenus stomacaux des saumons, regroupés par stations.

⁶ Les noms scientifiques sont valables pour tout le document

Le nombre d'individus dans les contenus stomacaux des saumons de la station 1 (2 ± 4) est significativement plus faible que celui des stations 2 (6 ± 9), 3 (8 ± 7) et 4 (15 ± 14) et celui de la station 2 est significativement plus faible que dans la station 4 ($H(3) = ; P=1,44e-4$; Figure 15, gauche). Les Baetidae sont en grand nombre dans les contenus des stations 3 et 4 alors que les Chironomidae sont répartis équitablement (Figure 15, droite). Concernant les Simuliidae, leur nombre dans les contenus est plus important dans la station 2 alors que finalement les Hydropsychidae sont plus représentés dans les contenus de la station 4 (Figure 15, droite). Il a été remarqué qu'une proportion des saumons avaient l'estomac vide, à savoir 40,00% pour la station 1, 13,64% pour la station 2 et 15,00% pour la station 3. L'ensemble des saumons de la station 4 avaient des proies dans l'estomac.

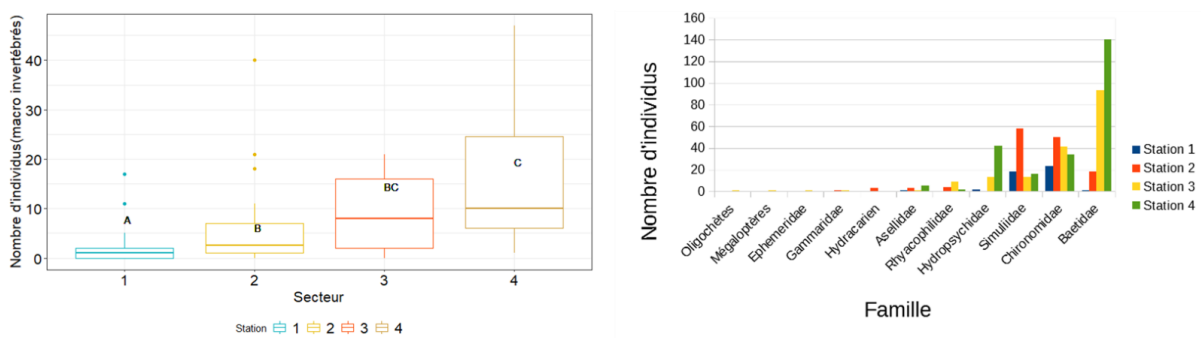


Figure 15 : Nombre d'individus présents dans les contenus stomacaux en fonction des 4 stations échantillonnées et par famille.

Pour aller plus en précision et confirmer l'ACP, des tests ont été effectués sur les abondances relatives des familles. Au niveau des contenus, les abondances relatives des Asellidae ($H(3) = 2,73, P=0,43$), des Simuliidae ($H(3) = 3,14, P=0,37$), des Chironomidae ($H(3) = 0,17, P=0,98$), des Gammaridae ($H(3) = 1,69, P=0,64$), des Rhyacophilidae ($H(3) = 7,51, P=0,06$), des Oligochètes ($H(3) = 2,85, P=0,41$), des Ephéméridés ($H(3) = 2,85, P=0,41$), des Hydracarien ($H(3) = 5,06, P=0,17$) et des Mégaloptères ($H(3) = 2,85, P=0,41$) ne présentent pas de différences significatives entre stations. Contrairement aux Baetidae ($H(3) = 37,15, P=4,27e-8$; Figure 16, gauche) et Hydropsychidae ($H(3) = 26,80, P=6,47e-6$, Figure 16, droite) qui sont, en abondance relative, significativement moins présents dans les contenus stomacaux des stations 1 et 2 par rapport à ceux des stations 3 et 4.

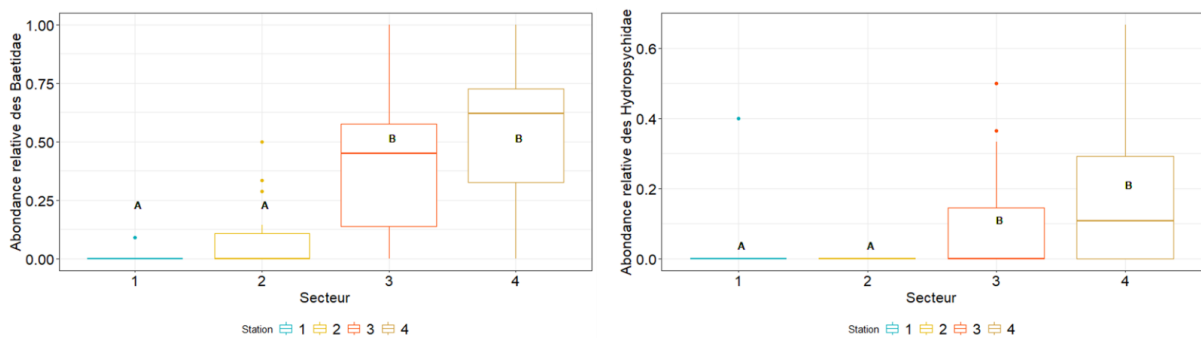


Figure 16 : Abondance relative en Baetidae_ (à gauche) et en Hydropsychidae (à droite) dans les contenus stomacaux de saumon en fonction des 4 secteur.

3.2.4. Comparaison des contenus stomacaux entre les saumons de deux classes de tailles différentes

Une analyse en composantes principales a été réalisée afin de comparer visuellement la composition des contenus stomacaux en fonction des saumons de deux classes de tailles différentes. Il n'y a pas de différence observée entre les deux classes de tailles avec 67,9% de variance expliquée par les 2 premières dimensions (Figure 17).

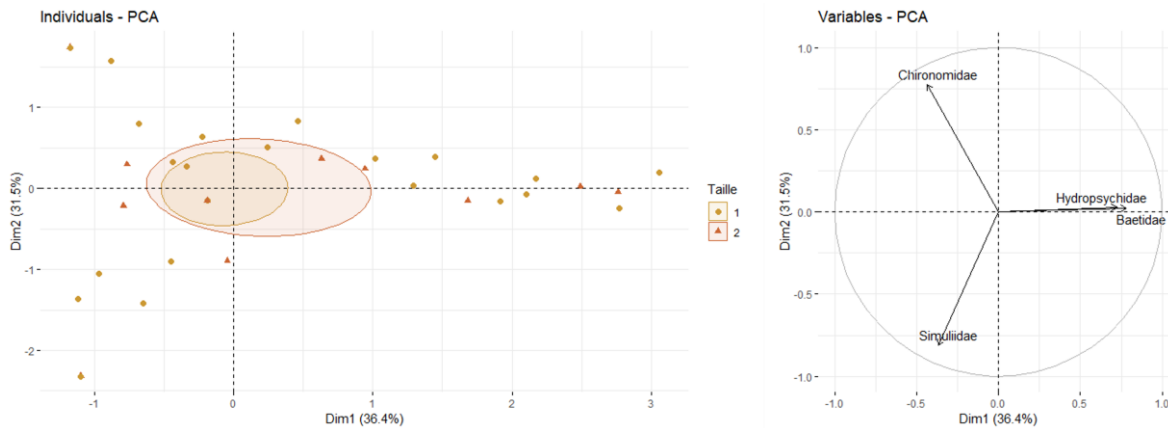


Figure 17 : Analyse en composantes principales des abondances relatives des familles présentes dans les contenus stomacaux en fonction des deux classes de taille (<115 cm ou >=115cm)

Il n'y a pas de saumons de la classe supérieure (dont les contenus ont été prélevés) dans la station 3, elle est donc exclue. Il y a 3 saumons de classe de taille supérieure dans la station 1, 7 dans la station 2 et 5 dans la station 4. Les saumons ont significativement consommé le même nombre d'individus ($H(1) = 0,91$, $P = 0,34$).

Plus précisément, au niveau des familles de macroinvertébrés consommées : les Asellidae ($H(1) = 0,01$, $P = 0,92$), les Baetidae ($H(1) = 0,04$, $P = 0,83$), les Hydropsychidae ($H(1) = 2,83$, $P = 0,09$), les Simuliidae ($H(1) = 0,20$, $P = 0,66$), les Chironomidae ($H(1) = 0,91$, $P = 0,34$) et les Gammaridae ($H(1) = 0,36$, $P = 0,55$), l'abondance relative dans le contenu stomacal n'est pas significativement différente entre les saumons des 2 classes de tailles. Pour les Rhyacophilidae, les saumons de la classe de taille 2 (supérieure) les consomment en abondance relative significativement plus que ceux appartenant à la classe de taille 1 ($H(1) = 7,77$, $P = 5,3e-3$). La différence provient du fait que les saumons de classe 1 n'ont pas consommé de Rhyacophilidae (sauf un). Leur abondance relative reste faible dans la classe de taille 2 également.

3.3 Analyse des macroinvertébrés benthiques et dérivants sur les secteurs d'étude

3.3.1. Aperçu global : 4 stations confondues

Au niveau benthique, 41 familles sont retrouvées pour un total de 5355 individus dont 3 familles sont majoritaires (62,71% de l'abondance totale) : les Baetidae (32,01%), les Sphaeriidae⁷ (19,33%) et les Chironomidae (11,37%) (Figure 18, gauche). Au niveau de la dérive, 20 familles sont retrouvées pour un total de 266 individus dont 3 familles sont

⁷ Sphaeriidae Deshayes, 1855

majoritaires (63,15% de l'abondance totale) : les Caenidae⁸ (29,32%), les Baetidae (20,32%) et les Chironomidae (13,53%) (Figure 18, droite). Il y a 0,072 individus/m³ dans la dérive en moyenne.

Les différences notables de familles retrouvées en termes d'abondance entre dérive (D) et benthique (B) sont pour : les Sphaeriidae (19,33% B et 1,88% D), les Caenidae (5,68 % B et 29,32% D), les Gammaridae (3,12% B et 7,89% D) et les Elmidae⁹ (1,68% B et 4,14% D). Certaines familles appartenant à la catégorie "Autres" (<1%) dans le benthique ne le sont pas dans le dérivant et inversement, c'est le cas pour les Simuliidae, Oligochètes, Planorbidae¹⁰, Erpobdellidae¹¹, Epheméridae, Hydracarien et Leptoceridae¹² (Figure 18).

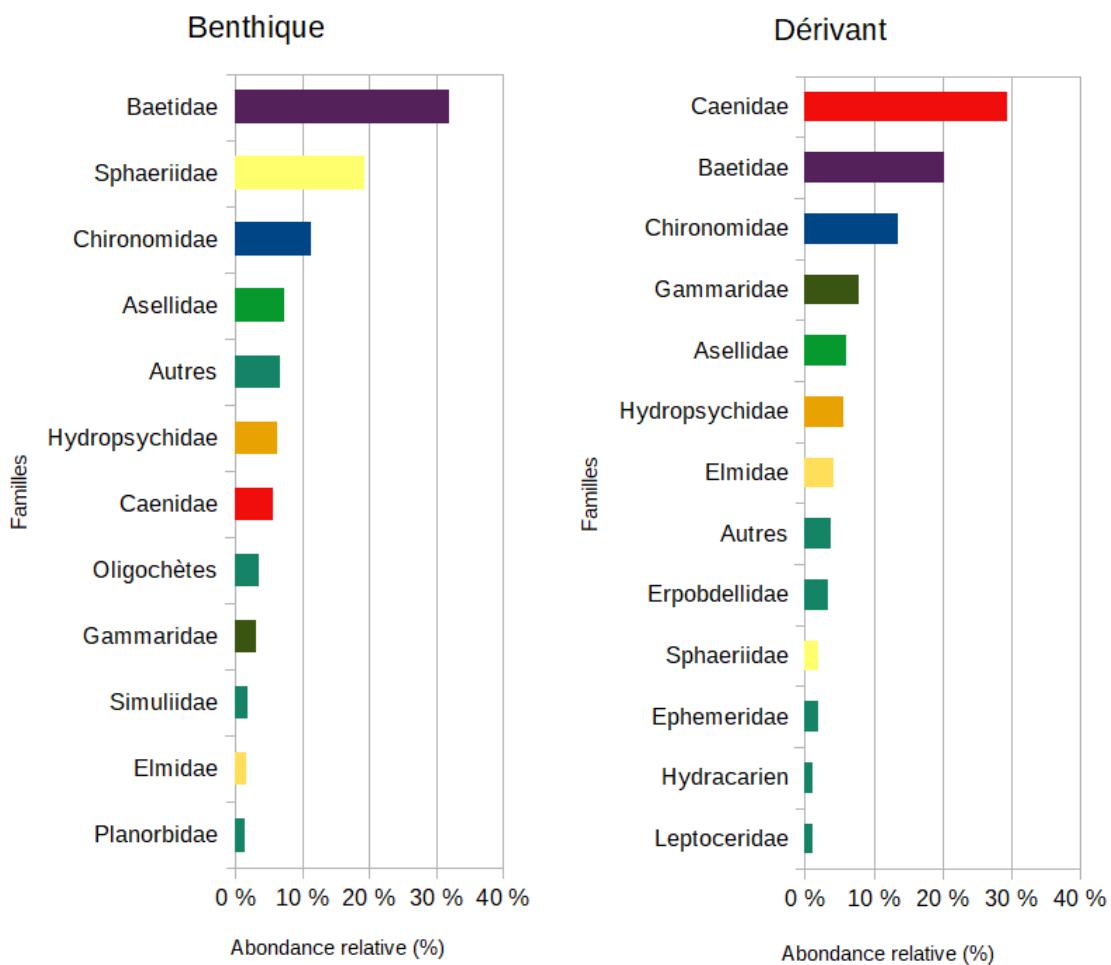


Figure 18 : Abondance relative des familles de macroinvertébrés retrouvées dans les radiers et en dérive. (La catégorie "Autres" regroupe les familles présentes à moins de 1%.)

3.3.2. Comparaison de la composition en macroinvertébrés entre les radiers avec et sans présence de saumons

⁸ *Caenidae* Newman, 1853

⁹ *Elmidae* Curtis, 1830

¹⁰ *Planorbidae* Rafinesque, 1815

¹¹ *Erpobdellidae* Blanchard, 1894

¹² *Leptoceridae* Leach, 1815

Une analyse en composante principale a été réalisée afin de comparer visuellement la composition en macroinvertébrés benthiques des radiers avec ou sans présence de saumons. Par station, 3 radiers dans lesquels aucun saumon n'avait été pêché ont été échantillonnés. Il n'y a pas de différences visibles de composition (abondance de familles de macroinvertébrés) entre les radiers dans lesquels des saumons ont été retrouvés et les radiers sans saumons détectés, avec 62,2% de variance expliquée par les 2 premières dimensions (Figure 19).

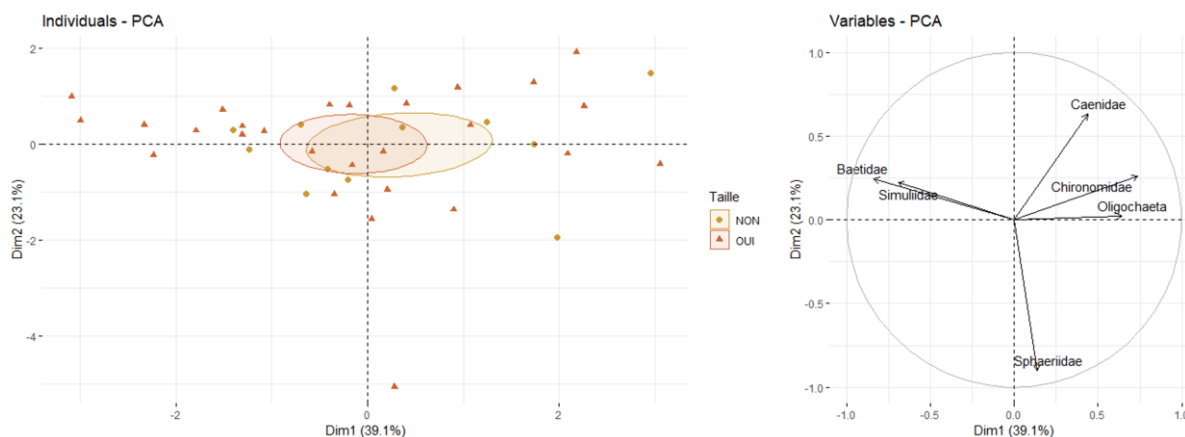


Figure 19 : PCA de l'abondance relative des familles de macroinvertébrés benthiques en fonction des radiers avec et sans présence de saumons.

3.3.2.a Comparaison des abondances relatives par familles consommées par les saumons et d'indice de Shannon

Au niveau benthique, les Asellidae ($H(1)=0,27$, $P=0,60$), les Baetidae ($H(1)=0,06$, $P=0,81$), les Hydropsychidae ($H(1)=1,13$, $P=0,29$), les Chironomidae ($H(1)=1,01$, $P=0,31$), les Gammaridae ($H(1)=0,16$, $P=0,68$), les Rhyacophilidae ($H(1)=0,66$, $P=0,41$), les Oligochètes ($H(1)= 2,06$, $P=0,15$) et les Epheméridae ($H(1)=0,13$, $P=0,71$), qui sont présents dans les contenus stomacaux également, ont une abondance relative qui n'est pas significativement différente entre les radiers avec/sans présence de saumons. Les Simuliidae ($H(1) = 3,65$, $P=0,047$) sont, quant à eux, en abondance relative significativement plus nombreux dans les radiers avec saumons (Figure 20). En termes de diversité globale, l'indice de Shannon ne montre pas de différence significative entre les radiers avec/sans présence de saumons ($H(1) = 1,07$, $P=0,30$).

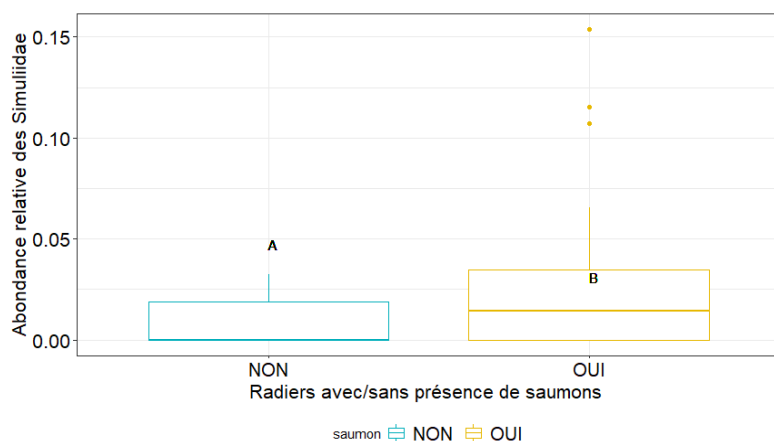


Figure 20 : Abondance relative des Simuliidae dans les radiers avec ou sans présence de saumons.

3.3.3. Courbes d'accumulations

La courbe d'accumulation permet de voir qu'une stabilisation du nombre d'espèces trouvées (41 espèces) sur les radiers, 39 au total, semble arriver au niveau des deux dernières unités d'échantillonnages (Figure 21, haut). L'effort d'échantillonnage global paraît donc suffisant. Il en va de même pour chaque station séparément (Figure 21, bas).

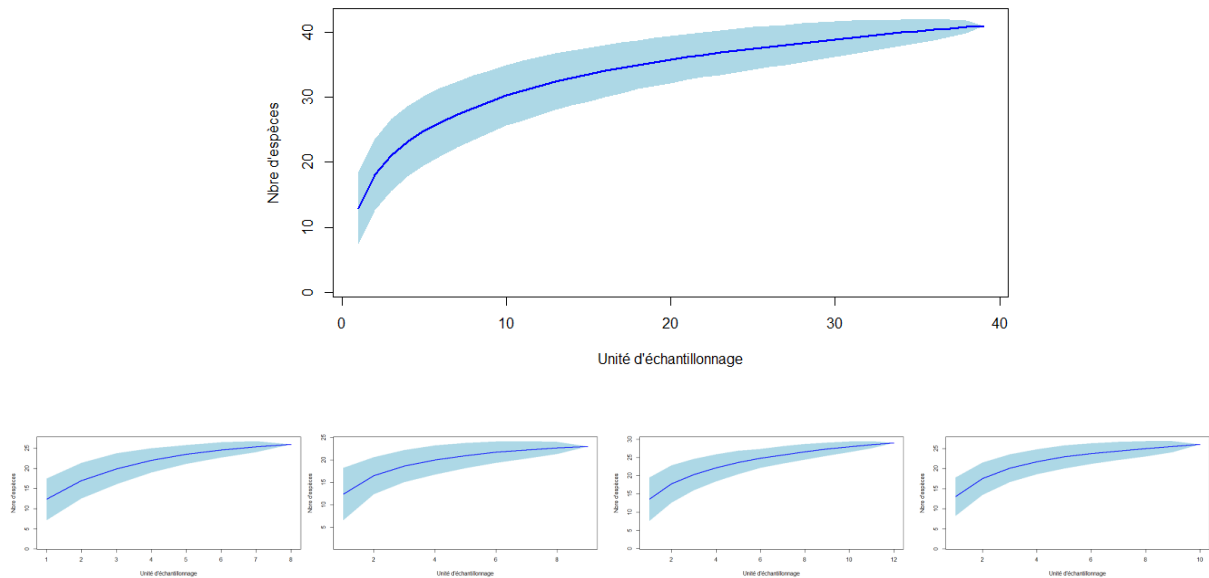


Figure 21 : Courbes d'accumulations des espèces de macroinvertébrés échantillonnés en fonction du nombre d'unité d'échantillonnage (les radiers) pour les stations confondues. Toutes stations confondues (en haut) et pour chaque station séparément de la 1 à la 4 (de gauche à droite).

3.3.4. Composition en macroinvertébrés du milieu par station

3.3.4.a Aperçu de la composition en macroinvertébrés benthiques et dérivants par station

Pour le secteur 1, 27 familles sont retrouvées dans le benthique pour un total de 662 individus sur 8 radiers. Les 3 familles majoritaires (58,16% de l'abondance totale) sont les Chironomidae (22,66%), les Baetidae (21,75%) et les Caenidae (13,75%) (Figure 22). **Pour le secteur 2**, 24 familles sont retrouvées pour un total de 608 individus sur 9 radiers. Les 3 familles majoritaires (59,38% de l'abondance totale) sont les Baetidae (36,35%), les Gammaridae (15,63%) et les Chironomidae (7,40%) (Figure 22). **Pour le secteur 3**, 29 familles sont retrouvées pour un total de 1567 individus sur 12 radiers. Les 3 familles majoritaires (69,25% de l'abondance totale) sont les Baetidae (47,80%), les Chironomidae (10,98%) et les Caenidae (10,47%) (Figure 22). **Pour le secteur 4**, 26 familles sont retrouvées pour un total de 2518 individus sur 10 radiers. Les 3 familles majoritaires (72,96% de l'abondance totale) sont les Sphaeriidae (38,05%), les Baetidae (23,83%) et les Asellidae (11,08%) (Figure 22).

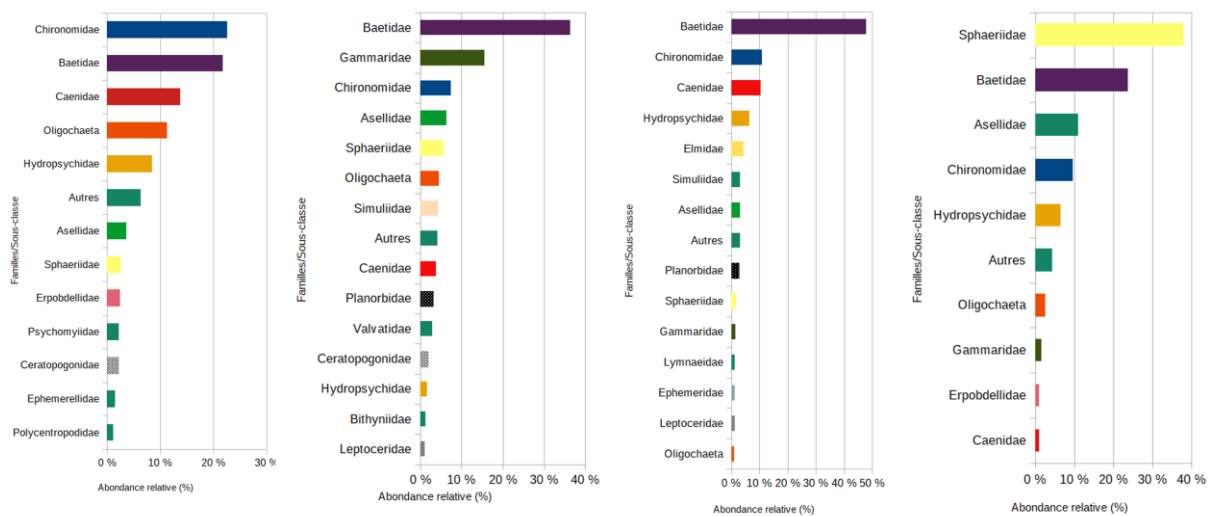


Figure 22 : Abondances relatives des familles de macroinvertébrés¹³ retrouvées au niveau benthique (sur les radiers) pour les stations 1, 2, 3 et 4 (de gauche à droite).

Pour le secteur 1, 8 familles sont retrouvées dans la dérive pour un total de 51 individus dont 3 familles sont majoritaires (86,27% de l'abondance totale) : les Baetidae (50,98%), les Caenidae (27,45%) et les Chironomidae (7,84%) (Figure 23). **Pour le secteur 2**, 11 familles sont retrouvées pour un total de 85 individus dont 3 familles sont majoritaires (62,35% de l'abondance totale) : les Caenidae (24,71%), les Gammaridae (22,35%) et les Baetidae (15,29%) (Figure 18). **Pour le secteur 3**, 11 familles sont retrouvées pour un total de 83 individus dont 3 familles sont majoritaires (73,50% de l'abondance totale) : les Caenidae (46,99%), les Chironomidae (16,87%) et les Baetidae (9,64%) (Figure 23). **Pour le secteur 4**, 11 familles sont retrouvées pour un total de 47 individus dont 3 familles sont majoritaires (59,57% de l'abondance totale) : les Chironomidae (27,66%), Erpobdellidae (17,02%) et Baetidae (14,89%) (Figure 23).

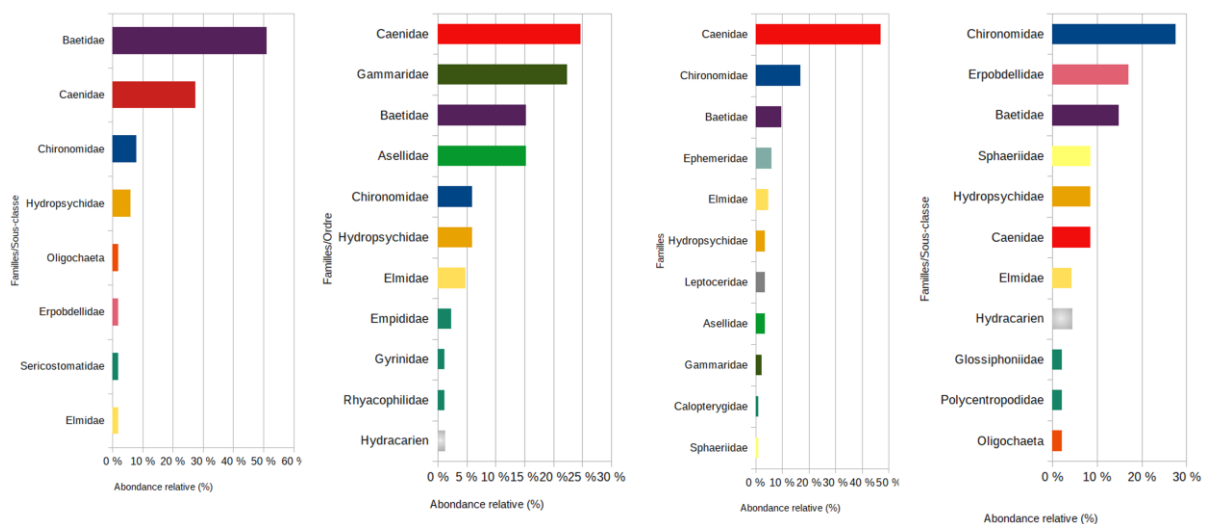


Figure 23 : Abondances relatives des familles de macroinvertébrés¹⁴ retrouvées dans la dérive pour les stations 1, 2, 3 et 4 (de gauche à droite).

¹³ Psychomyiidae Walker, 1852 ; Ceratopogonidae Grassi, 1900 ; Polycentropodidae Ulmer, 1903 ; Valvatidae J.E. Gray, 1840 ; Bithyniidae Gray, 1857 ; Lymnaeidae Rafinesque, 1815

Entre le benthique et la dérive, quelques différences d'abondances sont visibles pour certaines familles, les Caenidae sont beaucoup plus présents dans la dérive que dans le benthique, les Elmidae sont également plus présents dans la dérive. Les gastéropodes sont, eux, moins nombreux voir absents dans la dérive (Figure 17 et 18). Il y a globalement moins de familles (environ la moitié) dans la dérive que dans le benthique également.

3.3.4.b Comparaison des 4 stations entre elles au niveau benthique (indice de Shannon et abondances des familles consommées par les saumons)

Une analyse en composantes principales a été réalisée afin de comparer la composition en macroinvertébrés entre stations. La composition des stations 2 et 3 est éloignées des stations 1 et 4 avec 62,2% de variance expliquée par les 2 premières dimensions (Figure 24, gauche). Au niveau benthique, les stations 2 et 3 possèdent relativement plus de Simuliidae et Baetidae que les deux autres stations. La station 4 possède relativement plus de Sphaeriidae et moins de Caenidae que les autres stations. La station 1 est la plus éloignée des autres stations, elle possède relativement plus de Chironomidae et d'Oligochaeta (Figure 24, droite).

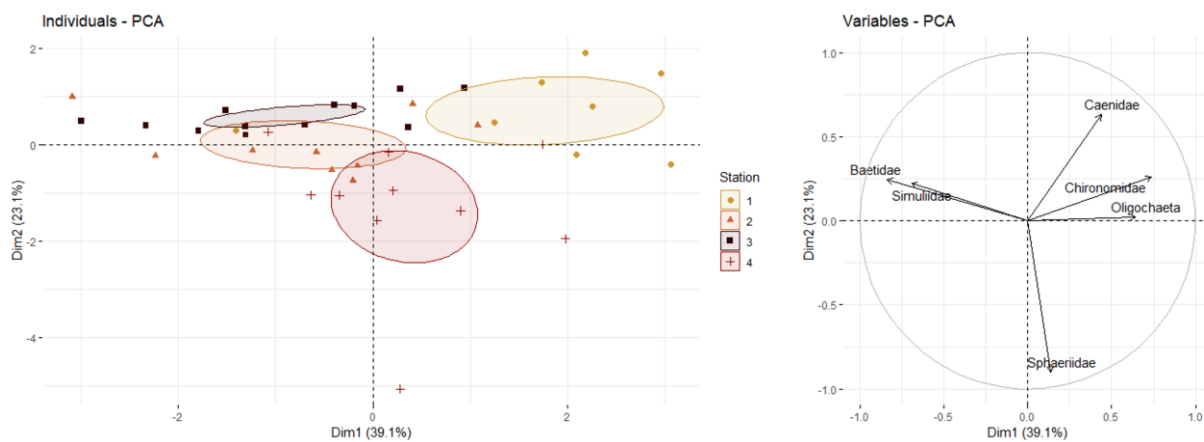


Figure 24 : Analyse en composante principale de l'abondance des familles de macroinvertébrés benthiques en fonction des 4 stations.

En termes de biodiversité globale, l'indice de Shannon n'est pas significativement différent entre les 4 stations ($H(3) = 2,19$; $P = 0,53$). Pour les familles consommées par les saumons, il n'y a pas de différence significative d'abondance relative entre stations uniquement pour les Rhyacophilidae ($H(3) = 0,88$; $P = 0,83$). Pour les autres familles, la station 1 a une abondance relative significativement plus haute que les stations 2,3 et 4 pour les Oligochaeta ($H(3) = 12,20$; $P = 6,74e-3$) et que les stations 2 et 3 pour les Chironomidae ($H(3) = 8,05$; $P = 0,045$) (Figure 25). La station 2 a une abondance relative significativement plus haute pour les Gammaridae ($H(3) = 14,06$; $P = 2,81e-3$) et plus basse pour les Hydropsychidae ($H(3) = 13,09$; $P = 4,44e-3$) que les stations 1,3 et 4 (Figure 25). La station 3 a une abondance relative significativement plus haute que les stations 1,2 et 4 pour les Epheméridae ($H(3) = 15,46$; $P = 1,46e-3$) (Figure 25). Les stations 1 et 4 ont une abondance relative significativement plus faible que les stations 2 et 3 pour les Simuliidae ($H(3) = 14,81$; $P = 1,98e-3$) et que la station 3 pour les Baetidae ($H(3) = 15,22$; $P = 1,64e-3$) (Figure 25).

¹⁴ Sericostomatidae Stephens, 1836 ; Empididae Latreille, 1804 ; Gyrinidae Latreille, 1810 ; Calopterygidae Selys, 1850 ; Glossiphoniidae Vaillant, 1890

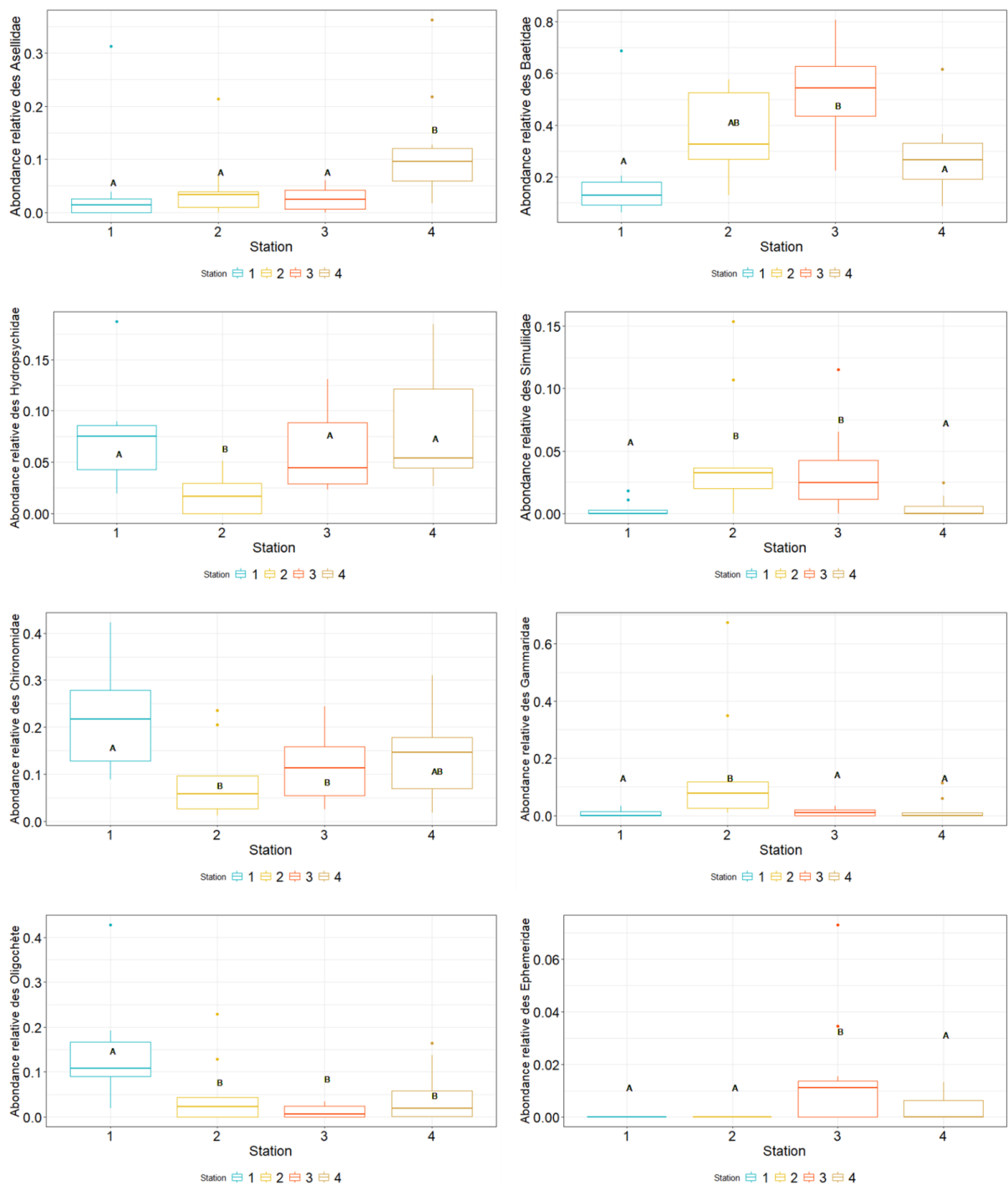


Figure 25 : Abondance relative par familles benthiques consommée par les saumons en fonction des stations.

3.4. Indice de sélectivité

L'indice de sélectivité est positif, c'est-à-dire qu'il y a une sélection de ces familles par les saumons, pour les Simuliidae (0,26 Benthique ; 0,25 Dérivant), les Chironomidae (0,12 B ; 0,12 D), les Baetidae (0,07 B ; 0,02 D), les Rhyacophilidae (0,08 B ; 0,06 D), les Hydropsychidae (0,04 B ; 0,06 D), les Mégaloptera (0,02 B ; 0,01 D) et les Hydracariens (0,04 uniquement pour le benthique) (Figure 26). L'indice est négatif, c'est-à-dire que le saumon a un côté plutôt opportuniste, pour les Oligochètes (-0,06 B ; -0,07 D), les

Ephemeridae(-0,02 B ; -0,11 D), les Asellidae (-0,07 B ; -0,12 D), les Gammaridae (-0,05 B ; -0,22 D) et les Hydracariens (-0,05 uniquement pour le dérivant) (Figure 26).

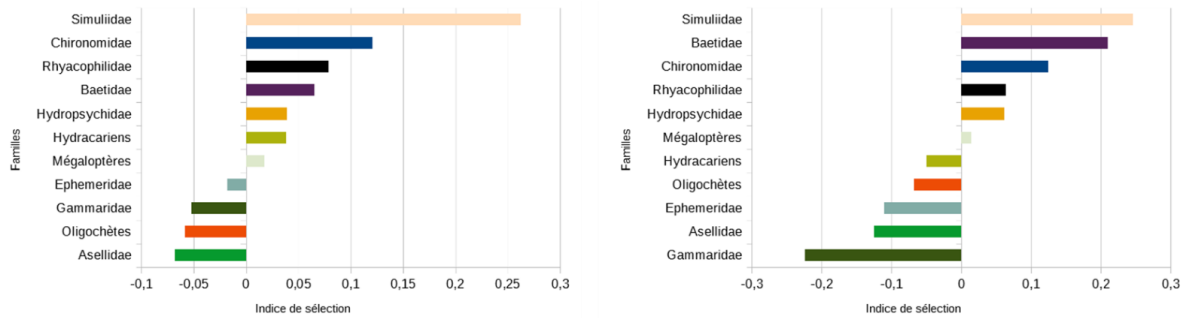


Figure 26 : Indice de sélectivité C de Pearre (1982). Comparaison entre le contenu stomacal et le benthique (à gauche) et le dérivant (à droite)

4. Discussion

4.1. Qualité des données récoltées et méthode d'acquisition

Dans le cadre du projet Saumon Meuse, la majorité des efforts de repeuplements en juvéniles de saumon sont effectués dans le bassin de l'Ourthe et ses affluents. Néanmoins depuis le printemps 2022, des repeuplements ont été effectués pour la première fois dans la Berwinne. Ce choix récent de rivière est justifié par le fait qu'elle représente un milieu propice à l'accomplissement complet du cycle vital du saumon en évitant les problèmes de libre circulation présents en amont, dans la région de Liège (Benitez et al., 2022 ; Renardy et al., 2020). Le but étant de favoriser, par l'intensification des repeuplements au sein d'affluents directs de la Meuse, un meilleur taux de remontée des saumons en Wallonie (Benitez et al., 2023). Dans cette optique de gestion, ce travail va contribuer à l'enrichissement des connaissances sur la capacité d'adaptation des juvéniles de saumon dans la Berwinne, par l'étude de leur acclimatation au milieu et en fonction des ressources alimentaires qu'ils utilisent. L'échantillonnage s'est déroulé sur 4 stations différentes, plus précisément au niveau des radiers qui sont les zones préférentielles des tacons pour l'exploitation des ressources (Heland&Dumas, 1994 ; Bardonnnet&Baglinière, 1999). Dans ces 4 stations (Berneau, Dalhem, Aubin et Val Dieu) réparties d'aval en amont sur environ 14km de linéaire de la Berwinne, 60 000 saumons à vésicules résorbées (25 000/ secteur) avaient été déversés en avril 2022.

Après 10 mois de vie en rivière, les principales contraintes qui ont impacté cet échantillonnage en période de pré-dévalaison vers la mer (Teicher et al., 2020) ont été, la main d'œuvre nécessaire (une dizaine de personne par jour de pêche) ainsi que les aléas des conditions de terrain avec de fortes précipitations qui ont augmenté le débit. Ces pics de débit de ce mois de mars 2023 ont compromis le calendrier d'échantillonnage idéal en allongeant le temps initialement prévu (quelques jours) entre chaque journée d'échantillonnage. De ce fait, la variation des facteurs externes (température, stade de développement des organismes, ...) est non négligeable et doit donc être prise en compte lors de l'interprétation des résultats. En composant avec les contraintes évoquées, pour les macroinvertébrés présents dans la Berwinne, un nombre d'échantillons a été choisis afin d'obtenir une qualité de données maximale. D'après l'analyse des courbes d'accumulations obtenues, ce nombre semble être suffisant pour les macroinvertébrés benthiques (que ce soit globalement ou par station) afin de

rendre compte de la diversité présente. Concernant les dérivants, un échantillonnage plus conséquent aurait permis d'effectuer des analyses statistiques complémentaires aux analyses descriptives. Les données récoltées permettent de répondre à certaines questions de gestion posées dans l'objectif et d'ouvrir la porte à d'autres analyses plus précises et ciblées. Elles serviront également pour un suivi sur plusieurs années de l'évolution des populations de saumons dans la Berwinne.

En ce qui concerne les techniques utilisées pour la capture des poissons et la récupération de leurs contenus stomacaux, la pêche électrique et le flushing (lavage gastrique) ont été choisis. La pêche électrique à l'aide d'un groupe portable est principalement utilisée dans ce genre de contexte, c'est-à-dire un cours d'eau peu large et peu profond (au niveau des radiers) afin de capturer des poissons vivants pour un suivi régulier (Pottier et al., 2022 ; Portt et al., 2006). En effet, il y a peu de mortalité et l'efficacité en conditions optimales (pas de turbidité, peu de végétation aquatique, ...) est d'environ 80% pour les saumons atlantiques (Pottier et al., 2022 ; Portt et al., 2006). Le flushing est une technique particulière, qui évite de sacrifier des saumons et qui possède une bonne efficacité de récupération (98-99% du contenu total) pour les petits individus se nourrissant de macroinvertébrés (Meehan & Miller, 1978 ; Gaudin, Martin & Caillere, 1981). Le flushing, utilisé pour la première fois par l'équipe de l'UGERAA, n'a pas d'impact sur la mortalité des individus ni sur leur future prise de nourriture (Meehan & Miller, 1978 ; Gaudin, Martin & Caillere, 1981). Pour les prélèvements de macroinvertébrés, la technique de tri et d'échantillonnage s'appuie sur la norme NF T 90-350, des méthodes déjà employée au sein du laboratoire de l'unité de Gestion durable des bio-agresseurs.

4.2. Résultats généraux

Régime alimentaire

Au niveau du régime alimentaire général des juvéniles de saumon en Berwinne, les principales familles consommées correspondent aux Baetidae (Ephemeroptera), Chironomidae (Diptera), Simuliidae (Diptera), Hydropsychidae (Trichoptera) et Rhyacophilidae (Trichoptera)¹⁵. Des ordres observés dans les contenus stomacaux, ont été préalablement recensés comme faisant partie du régime alimentaire : les Ephemeroptera, Trichoptera, Diptera, Plécoptera, Amphipoda et Mollusca¹⁶ (Rader, 1997). Lors de notre étude, aucun Plécoptère n'a été retrouvé au sein des contenus stomacaux mais ils n'ont pas été recensés dans les secteurs d'étude de la Berwinne. Quant aux Mollusques, aucun individu n'a été retrouvé au sein des contenus stomacaux malgré leur présence dans le milieu d'étude. Cependant, les saumons peuvent se nourrir d'une large gamme de macroinvertébrés par simple opportunisme (Keeley&Grant, 1997 ; Vignes, 1999), le régime alimentaire peut donc légèrement varier d'une étude à l'autre pour les familles de macroinvertébrés non majoritaires dans l'alimentation. D'autres observations appuient ce propos, il est possible de remarquer que d'autres ordres (Oligochaeta, Megaloptera et Hydracariens) non cités dans l'étude de Rader (1997) ont actuellement été retrouvés dans les contenus stomacaux, en proportion inférieure à 1%. En effet, il y a quatre ordres sur lesquels se focalisent les juvéniles en rivière et qui forment l'essentiel de leur alimentation : les Epheméroptères (particulièrement les Baetidae), les Diptères (particulièrement les Chironomidae mais aussi les Simuliidae), les Trichoptères ainsi que les Plécoptères (Guitard, 1998 ; Vignes, 1999 ; Descroix, 2009). Les

¹⁵ Ephemeroptera Hyatt&Arms, 1891 ; Diptera Linnaeus, 1758 ; Trichoptera Kirby, 1813

¹⁶ Plecoptera Burmeister, 1839 ; Amphipoda Latreille, 1816 ; Mollusca Cuvier, 1795

résultats de notre étude montrent que les cinq familles majoritairement retrouvées dans les contenus stomacaux appartiennent effectivement à ces quatre ordres. De plus, le travail effectué sur des saumons de 3 mois dans les mêmes stations démontre que les 5 familles majoritairement consommées sont identiques. Seul le classement en fonction de l'abondance relative est différent pour les Hydropsychidae et Chironomidae en comparaison avec notre étude (Tokpon, 2022). Suite à ces résultats, ces 5 familles en particulier sont considérées comme étant les proies préférentielles des juvéniles de saumon atlantique et essentielles pour leur développement dans la Berwinne à partir de leur 3 mois et ce jusqu'à leur dévalaison.

Pour rappel, les tacons sont distribués en deux classes de tailles : ceux de la classe supérieure qui se préparent à la dévalaison en tant que pré-smolt et ceux de la classe inférieure qui dévaleront l'année suivante (Metcalf et al, 1988). La classe inférieure est composée d'un nombre plus important de mâles que de femelles car ils vont tendre à privilégier une maturation précoce (mâles satellites) (Metcalf, Huntingford&Thorpe, 1988 ; Mobley et al, 2021), même si dans notre cas, la proportion de femelle mature qui remonte en rivière est trop faible (Benitez et al., 2022) pour qu'il y ait reproduction naturelle. La distribution bimodale des tailles apparaît en automne durant lequel une partie des individus accélèrent leur croissance par un nourrissage plus conséquent contrairement à l'autre partie des individus (notamment certains mâles qui vont maturer sexuellement) (Metcalf, Huntingford&Thorpe, 1988). L'écart entre les deux classes de tailles se précise en hiver, lorsque les plus grands individus continuent leur croissance et non les plus petits (Metcalf, Huntingford&Thorpe, 1988). Finalement au printemps, d'après nos résultats, aucune différenciation significative identifiée d'un point de vue alimentation (nombre d'individus et abondance relative des familles consommées) n'a été observée entre les deux classes de tailles. Il est à noter qu'un saumon de classe de taille supérieure avait tout de même consommé deux vairons, ce qui laisse suggérer qu'ils commencent à être en capacité d'intégrer de petits poissons dans leur alimentation. En effet, des proies de tailles plus importantes (notamment des poissons) ne sont ingérables que par les saumons d'une certaine taille (Keeley&Grant, 1997 ; Hansen&Quinn, 1998). Ce passage d'une distribution unimodale à bimodale relève donc d'une différence de stratégie d'alimentation (et de maturation sexuelle des mâles) uniquement durant l'automne et l'hiver précédant le premier printemps de dévalaison. Une fois l'arrivée du printemps, les deux classes se nourrissent à nouveau de manière égale, l'automne apparaît donc comme étant la période déterminante pour l'établissement de la proportion de tacons qui entreprendront une smoltification.

4.3. Composition en macro invertébrés du milieu

Le développement optimal des saumons dépend du milieu dans lequel ils évoluent. Il est donc important de caractériser sa composition (dérive et benthique) mais aussi sa qualité globale. Tout d'abord, la diversité benthique globale (toutes stations confondues) des radiers a été caractérisée à l'aide de l'indice de diversité de Shannon. Cet indice permet de prendre en compte la richesse spécifique ainsi que l'équitabilité basée sur l'abondance relative des espèces, plus l'indice est proche de 0 moins la diversité dans le milieu est importante. Dans notre étude, l'indice de Shannon obtenu est de 2,25 avec un total de 41 familles retrouvées sur les radiers. A titre de comparaison, une étude effectuée dans la Meuse avait recensé 33 familles et obtenu un indice de 2,08 dans des stations fortement hétérogènes au niveau des habitats, celles-ci avaient été qualifiées comme étant riches et diversifiées (Evrard&Micha,

1995). Le milieu d'étude (radiers) peut donc être qualifié comme étant riche et diversifié. La valeur maximale de l'indice qui est de 3,71 n'est pas atteinte car, bien que le nombre d'espèces retrouvées soit assez élevé, le graphique d'abondance relative des espèces montre que quelques-unes d'entre elles forment la majorité des effectifs totaux, ce qui reflète un éloignement de l'équitabilité parfaite.

Ensuite, deux sources de macroinvertébrés sont disponibles en rivière : le benthos et la dérive. En comparant leur composition en macroinvertébrés, des différences de diversité sont observées, celle-ci est plus faible dans la dérive avec moitié moins de familles retrouvées que dans le benthos. Cela est logique car les macroinvertébrés retrouvés dans la dérive proviennent du benthos suite à un décrochement du substrat, qui peut être favorisé par différents facteurs (Bournaud et al., 1983). De ce fait, toutes les familles ne dérivent pas et certaines sont plus propices à la dérive. Par exemple, il y a très peu de mollusques dans la dérive car ils sont généralement fixés sur le substrat. Les Caenidae quant à eux sont présents majoritairement dans la dérive (1ère famille dans le classement d'abondance relative), ce qui n'est pas le cas pour le benthos (7ème famille dans le classement d'abondance relative). Ceux-ci vivent dans les zones où le courant est plus faible, ils sont sans doute plus facilement emportés par un fort courant puisqu'ils n'y sont pas adaptés (Elouard&Gibon, 2001). En ce qui concerne les familles principales du régime alimentaire des saumons, les Baetidae et Chironomidae sont présents en proportion assez égale entre le benthique et la dérive. Il en va de même pour les Hydropsychidae et les Rhyacophilidae. Seule une différence marquante est observée pour les Simuliidae qui sont absents de la dérive, cette absence peut être expliquée par le fait qu'ils s'accrochent au substrat à l'aide d'un organe faisant office de ventouse (Mammeri, 2016). Les tacons trouvent donc les Simuliidae (3ème famille la plus abondante dans les contenus stomacaux) exclusivement dans le benthos. Ensuite, la densité de dérive mesurée au printemps 2023, est très faible, notamment en comparaison aux chiffres de l'année passée. La procédure utilisée étant la même que dans le travail de Monsieur Tokpon réalisé en juillet 2022 (Tokpon, 2022), on peut déduire que, comparativement, la dérive est plus importante en été. D'après ces résultats, il est difficile d'affirmer l'information relayée par de nombreux auteurs qui est que : "le saumon, étant un prédateur visuel, se nourrit principalement de macroinvertébrés présents dans la dérive", qui est ici peu différente du benthos (Bardonnnet&Baglinière, 1999 ; Keeley&Grant, 1997 ; Vignes, 1999). La composition de la dérive correspond à la composition des contenus stomacaux (à l'exception des Simuliidae) mais l'abondance des macroinvertébrés dans celle-ci est faible. Il est possible que les tacons privilégient effectivement les macroinvertébrés en dérive (sauf pour les Simuliidae) et complètent avec des individus du benthos si besoin.

En second lieu, la comparaison de la composition en macroinvertébrés entre les 4 stations va permettre d'identifier si celles-ci sont toutes adéquates pour accueillir les tacons. Pour commencer, les résultats des indices de diversité de Shannon sur les différents radiers montrent que les 4 stations présentent des diversités non significativement différentes. D'un point de vue de l'abondance en macroinvertébrés par radiers (toutes familles confondues), la station 2 (+68 individus/radiers) possède une abondance plus faible que la station 1 (+83 individus/radiers) mais également que la station 3 (+131 individus/radiers) et enfin que la station 4 (+252 individus/radiers) qui possède la plus haute abondance. A noter que pour l'échantillonnage des macroinvertébrés, le facteur temps entre les échantillonnages ne sera pas pris en compte car il est considéré comme trop faible pour avoir un impact. Il faut

également préciser que l'échantillonnage n'a pas été normalisé par la surface échantillonnée, ces chiffres donnent néanmoins un ordre d'idée de la disponibilité en nourriture. La station 1 et particulièrement la station 2 possèdent moins de macroinvertébrés, au niveau des radiers, que les stations 3 et 4 et seraient donc moins favorables au développement des tacons.

Cependant, il faut également regarder les abondances relatives respectives des familles d'intérêts pour les juvéniles de saumon afin de certifier qu'une station est moins propice au développement des tacons. En premier, les Baetidae sont, si l'on croise les résultats statistiques significatifs des différences d'abondances relatives entre stations avec le nombre d'individus par radiers retrouvés, le moins nombreux dans les stations 1 et 2. Deuxièmement, pour les Chironomidae, c'est dans la station 2 que les individus de cette famille sont les moins nombreux. Troisièmement, les Simuliidae sont les moins nombreux dans la station 1. Enfin, les Hydropsychidae sont moins nombreux dans la station 2 comparés au 3 autres stations et moins nombreux dans les stations 1 et 2 que 3 et 4. Pour les autres familles présentes dans les contenus stomacaux, leur abondance relative ne suit pas de tendance particulière au niveau de leur représentation dans les stations. Suite à ces résultats, les stations 3 et 4 ressortent comme étant plus riches en ressources alimentaires pour les tacons que les deux autres stations. Cela ne veut pas dire que les stations 1 et 2 sont défavorables, c'est-à-dire qu'elles ne contiennent pas assez de ressources alimentaires pour la densité de tacons actuelle. Il faut rester prudents car d'autres facteurs, au-delà de la disponibilité alimentaire, entrent en jeu comme la compétition entre espèces (Guitard, 1998) au niveau alimentaire et la présence de prédateurs potentiels comme la truite, le chevaine, le cormoran ou le héron (Staub, 2004). Les caractéristiques de l'habitat (Guitard, 1998) sont également à considérer comme : la proportion de ripisylve, la granulométrie disponible (aucune différence significative n'a été identifiée entre les 4 stations (Tokpon, 2022)) et la présence d'habitats servant de refuges.

Lors de l'échantillonnage, par pêche électrique, de la présence de saumon sur les radiers repeuplés en avril 2022, des individus n'ont pas été retrouvés sur tous les radiers. Un des objectifs de cette étude était donc de savoir si le choix d'un radier comme milieu de vie, peut se définir uniquement en fonction de la nourriture présente sur ceux-ci (Vignes & Heeland, 1995). Au niveau des macroinvertébrés benthiques, il n'y a pas de différence significative de biodiversité ni d'indice de Shannon entre les radiers sur lesquels des saumons ont été retrouvés et les radiers avec absence de saumons. Plus précisément, une seule famille (du régime alimentaire) présente des différences d'abondance entre les deux types de radiers. Les Simuliidae, qui sont la 3ème famille la plus consommée par les saumons, sont en proportion plus abondante dans les radiers avec présence de saumons. Dès lors, il est possible que l'abondance relative des Simuliidae soit discriminante dans le choix des radiers dans lesquels les saumons vont résider. Néanmoins, une étude réalisée sur le déplacement des saumons dans la station 1 montrent que les tacons sont mobiles dans leur milieu (Jehaes, 2023) et peuvent exploiter jusqu'à 500m de linéaires de rivière sur une période de 3 mois. Ils se déplacent journalièrement afin de compléter leurs différents besoins en cherchant de la nourriture, des habitats refuges, ... (Ménard, 2005). Il y a donc une forte probabilité que la présence d'individus sur un radier en particulier soit une information uniquement ponctuelle. De plus, il y a une incertitude sur le fait d'avoir capturé tous les tacons présents car l'efficacité de capture n'est pas de 100% (Pottier et al., 2022 ; Portt et al., 2006). Néanmoins, certains radiers sont plus favorables que d'autres car celui-ci est plus complet et hétérogène. De plus,

moins les tacons auront à se déplacer dans la rivière, plus ils réduisent les risques de prédation et la dépense d'énergie (Ménard, 2005).

4.4. Comparaison de la composition du milieu avec la composition des contenus stomacaux

Indice de sélectivité

Le saumon est décrit comme étant majoritairement opportuniste, se nourrissant des macroinvertébrés les plus abondants dans le milieu (Keeley&Grant, 1997 ; Vignes, 1999). L'indice de sélectivité est positif pour les 5 familles principalement consommées par les saumons, ce qui confirme leur appétence particulière pour celles-ci. En premier, les Baetidae et les Chironomidae qui font partie des familles les plus abondantes du milieu (benthique et dérivant) sont les 2 familles les plus consommées par les tacons. L'indice de Pearre est positif, elles sont donc tout de même légèrement sélectionnées (Flinkman et al, 1998 ; Sueur, 1993) car d'autres familles très abondantes comme les Sphaeriidae pour le benthos et les Caenidae pour la dérive ne sont pas du tout consommées. Néanmoins d'après la valeur de l'indice au niveau benthique, le comportement envers les Baetidae est plutôt opportuniste et plus fortement sélectif envers les Chironomidae. L'indice de sélectivité est plus élevé pour les Baetidae dans la dérive, les tacons consomment sûrement ceux-ci dans la dérive de manière plus importante que dans le benthos (Vignes, 1999). Ensuite, les tacons ont un comportement particulièrement sélectif envers les Simuliidae car l'indice de Pearre calculé est le plus élevé de toutes les familles retrouvées dans les contenus stomacaux. En effet, c'est une famille qui est fortement consommée (3ème famille la plus abondante dans les contenus stomacaux) alors que son abondance dans le benthos est bien inférieure à celle des Baetidae et Chironomidae et qu'elle est absente de la dérive. Pour les Hydropsychidae, les tacons se rapprochent d'un comportement neutre envers cette famille avec un indice qui se rapproche de 0. Cela correspond au fait que cette famille est presque aussi abondante dans le milieu que dans le contenu. Elle fait tout de même partie des proies préférentielles car l'indice reste positif.

Pour les familles très peu consommées (<1%) par les tacons (Oligochètes, Mégaloptères, Hydracariens, Ephemeridae, Hydracariens et Gammaridae), l'indice est très variable entre la dérive et le benthos. On constate le passage d'un comportement neutre à un comportement d'évitement (indice négatif) (Flinkman et al, 1998 ; Sueur, 1993). Finalement, les résultats de cet indice confirment que les 5 familles les plus abondantes dans le contenu stomacal sont bien les proies préférentielles des tacons avec un indice de sélectivité positif. Les autres familles, à partir des Asellidae qui possèdent un indice négatif, ont une présence opportuniste ou accidentelle dans le contenu stomacal. Ses résultats permettent aussi la confirmation d'un opportunisme envers les familles les plus abondantes avec une tendance sélective, particulièrement pour les Simuliidae.

Comparaison des régimes alimentaires entre les stations de la Berwinne.

Un des objectifs était de voir si les différences de ressources alimentaires présentes dans les différentes stations d'étude de la Berwinne, ont significativement impacté le régime alimentaire des tacons. Tout d'abord, une consommation significativement plus faible de macroinvertébrés est observée dans les stations 1 et 2 comparativement à la station 4 et dans la station 1 comparativement à la station 3. Une première explication possible est que la température plus basse de début de printemps a pu engendrer une activité de nourrissage

réduite des tacons (Vignes, 2021). Une deuxième est que le nombre de macroinvertébrés présents dans le milieu est inférieur dans les stations 1 et 2 que dans la station 3 et particulièrement que dans la station 4. D'après ces résultats, la densité de macroinvertébrés du milieu a un impact sur l'alimentation des tacons. Il ne faut pas oublier que d'autres facteurs que la disponibilité en macroinvertébrés, influencent leur alimentation. Par exemple, il y a une densité plus importante de tacons dans les stations plus en aval (1 et 2) que dans celles en amont (Benitez et al, 2023) ce qui fait que la compétition pour la nourriture y est plus importante.

Il est à noter qu'il y a une différence significative du nombre d'individus consommés entre la station 1, qui a démontré une forte proportion d'estomacs vides retrouvés, et la station 2. Une hypothèse de cette différence observée serait que les contenus stomacaux de la station 1 n'ont été prélevés qu'en début d'après-midi pour des tacons capturés au matin. Cette différence de protocole est due à la nécessité de la présence d'un opérateur expérimenté au flushing lors de la première journée de prélèvement. Alors que pour les autres stations, les prélèvements de contenu ont été réalisés au fur et à mesure des captures de tacons. Les saumons se nourrissent principalement à l'aube, la digestion était donc certainement déjà avancée (Admunsen&Hernandez, 2019) pour les individus de la station 1.

Ensuite, il y a eu une proportion significativement plus grande de Baetidae et d'Hydropsychidae retrouvés dans les contenus stomacaux des stations 3 et 4 comparativement à ceux des stations 1 et 2. En effet, le nombre d'individus de ces deux familles retrouvées dans les contenus stomacaux est plus élevé dans la station 3 et particulièrement dans la station 4 que dans les stations 1 et 2. Pour rappel, dans le milieu, un nombre inférieur de Baetidae et d'Hydropsychidae ont été retrouvés dans les stations 1 et 2 comparé aux stations 3 et 4.

Pour ces deux familles, les résultats obtenus des contenus stomacaux concordent donc avec les résultats obtenus pour les macroinvertébrés benthique. Nous pouvons conclure que les ressources alimentaires présentes dans le milieu benthique ont un impact visible et significatif sur le régime alimentaire des tacons pour celles-ci. Cette observation confirme que la consommation de Baetidae et Hydropsychidae par les tacons est plus opportuniste. Leur sélection se faisant en fonction de leur abondance relative dans le milieu. Quant aux tacons des stations 1 et 2, ils consomment majoritairement des Chironomidae et Simuliidae, qui sont les deux familles possédant l'indice de sélection le plus élevé. Suite à cette observation, il est possible de confirmer que la consommation de Chironomidae et Simuliidae est plus sélective car elle est plus indépendante de leur abondance relative retrouvée dans le milieu. Toutes ses considérations sont en lien avec la composition benthique, si l'on regarde au niveau de la dérive, les différences d'abondance de ces 4 familles observées dans la dérive entre les 4 stations ne permettent pas d'expliquer les différences observées dans les contenus stomacaux.

4.5. Caractéristiques biométriques des tacons de 11 mois (évaluation du fitness)

Finalement, il est intéressant de voir si ces différences identifiées entre les stations 1 et 2 et les stations 3 et 4 ont un impact significatif sur le fitness des tacons en étudiant leurs caractéristiques biométriques. En effet, la taille et le poids des tacons sont révélateurs de leur fitness et donc de leur adaptation globale au milieu (Bolger&Connolly, 1988). Il est également intéressant d'un point de vue gestion, principalement en terme d'efforts de repeuplement, de regarder si les stations de la Berwinne sont toutes favorables aux tacons. Ici,

le développement des tacons est égal, peu importe la station, tant au niveau du poids et de la taille des juvéniles de saumon, puisqu'aucune différence significative n'a été observée pour ces deux caractéristiques biométriques. Il est à noter que la distribution de taille et de poids est plutôt étalée dans la station 2, sans doute car plus de tacons appartenant à la classe de taille supérieure ont été échantillonnés dans celle-ci. Cependant, 18 jours séparent l'échantillonnage des deux premières stations et des deux dernières, il est donc intéressant de regarder le taux de croissance spécifique pour chaque station. Cet indice prend en compte uniquement la différence de poids entre le jour d'introduction dans le milieu et le jour d'échantillonnage. Il ne prend pas en compte la différence de taille, cependant celle-ci est positivement corrélée au poids. Une différence significative de l'indice entre stations signifie donc une différence de poids et de taille. Il est possible de remarquer que les saumons présents dans la station 3 ont une croissance significativement moins élevée que dans les 2 premières stations. Cette différence de croissance avait déjà été remarquée pour les tacons âgés de 6 mois (Tokpon, 2022). Il est important de noter que dans notre cas, aucun saumon de la classe de taille supérieure n'a été échantillonné dans la station 3. Au-delà de cette remarque, les tacons ont une croissance rapide durant les premiers mois de vie, cette différence s'est installée au tout début de leur vie en rivière.

Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour ce début de croissance plus compliqué dans la station 3 : manque de ressources alimentaires adéquates, compétition avec d'autres espèces de poissons et autres facteurs externes. Tout d'abord, il n'y a pas d'informations sur la présence d'un facteur externe (occupation du sol, pollution, ...) particulier pour le secteur 3 qui puisse expliquer une telle différence par rapport aux autres stations. Ensuite, la compétition pour la nourriture avec la truite commune (autre Salmonidae et principal concurrent du saumon atlantique) (Heggenes, Baglinière & Cunjak, 1995 ; Vassen, 1998 ; Vignes & Heeland, 1995) est probablement très faible au vu de sa proportion dans les secteurs (<0,5% en juillet). Enfin, d'un point de vue des ressources alimentaires présentes dans la station, pour les Baetidae et Simuliidae, la station 3 a une abondance relative plus haute que les stations 1 et 4. Pour les Chironomidae, elle est uniquement plus basse que la station 1. En ce qui concerne la dérive, elle possède une abondance relative similaire à la station 2 pour les Chironomidae et Baetidae réunis. De même que le nombre de macroinvertébrés par radiers retrouvés dans cette station est supérieur à celui des stations 1 et 2. De plus, le nombre de macroinvertébrés consommés n'est pas significativement plus faible que dans les autres stations. La disponibilité en macroinvertébrés d'intérêt ne semble pas être la cause qui engendre une croissance plus faible dans cette station en particulier. Cependant, une espèce de poisson rhéophile est particulièrement abondante dans le secteur 3 (72,81%) comparé aux autres stations : le chabot (l'espèce la plus abondante sur tous les secteurs). Certains auteurs mentionnent que le chabot présent en densité élevée peut, lui aussi, entrer en compétition avec les saumons pour la nourriture (Gaudin & Heland, 1984 ; Mason & Machidori, 1976).

En ce qui concerne le coefficient de condition, les 4 stations ne présentent pas de différence significative. Ce léger retard de croissance dans la station 3 ne semble donc pas avoir d'impact à long terme sur le fitness des tacons, le coefficient exprimant l'état physiologique (Deguarra et al, 2013). Le coefficient est légèrement inférieur à 1 ce qui veut dire qu'ils sont légèrement déficitaires en poids, ce qui n'était pas le cas à l'âge de 6 mois (Tokpon, 2022). Plusieurs explications peuvent être fournies, certains mâles vont déjà commencer leur maturation sexuelle et consommer l'énergie qui aurait été mise dans la prise de masse à un

autre moment (Mobley et al., 2021). De plus, les saumons qui commencent leur smoltification vont adopter une allure plus profilée et auront donc un coefficient réduit (Heland&Dumas, 1994 ; Mobley et al., 2021 ; Stefansson et al., 1991). On peut également noter que l'échantillonnage a été réalisé en mars, à la sortie de l'hiver, les conditions extérieures (température basse) font que la prise de nourriture est réduite (notamment pour les individus de la classe de taille inférieure) et qu'il y a en général une perte de lipides notable (Cunjak, Prowse & Parrish, 1998 ; Metcalfe, Huntingford & Thorpe, 1986). Ce déficit ne reflète donc pas un manque d'adaptation des tacons au milieu ou une inadéquation de celui-ci.

5. Contribution personnelle de l'étudiant

J'ai participé à 4 pêches électriques sur les 4 secteurs afin de récupérer mes échantillons de contenus stomacaux avec l'équipe de l'université de Liège dont mon co-promoteur Monsieur Benitez et de Namur du projet Saumon Meuse. J'ai également réalisé les échantillonnages macroinvertébrés sur le milieu avec l'aide de mes promoteurs et d'une collègue. En ce qui concerne la partie tri et identification en laboratoire, j'ai reçu de l'aide de mes collègues et de Monsieur Cherot, uniquement pour quelques individus plus complexes à identifier. Finalement, après avoir encodé les données saumons et macroinvertébrés j'ai effectué le traitement des données afin de créer mes résultats.

6. Conclusion et perspectives

Le but de ce travail de fin d'études était d'enrichir les connaissances sur l'adaptation des juvéniles à leur milieu, en fonction de leur alimentation et des ressources alimentaires disponibles. Et ce, suite au repeuplement d'alevins à vésicules résorbées dans 4 stations réparties sur la Berwinne (affluent de la Meuse) en avril 2022 dans le cadre du projet "Saumon Meuse". Les résultats ont permis de mettre en évidence :

- Les 5 familles essentielles de l'alimentation des tacons de leur 3 mois à leur dévalaison en Berwinne sont : les Baetidae, les Chironomidae, les Simuliidae, les Hydropsychidae et les Rhyacophilidae.
- Les tacons ont un comportement sélectif envers les Chironomidae et les Simuliidae et opportuniste envers des familles abondantes dans le milieu comme les Baetidae et Hydropsychidae. Ils ont une large gamme de familles dont ils peuvent s'alimenter par opportunisme.
- Les tacons des deux classes de taille ne présentent pas de différenciation au niveau de leur alimentation au premier printemps de dévalaison. Ceux de la classe supérieure sont néanmoins en capacité d'assimiler de petits poissons tels que les vairons.
- Globalement, la diversité benthique sur les radiers est riche et diversifiée. Les tacons se nourrissent des macroinvertébrés en dérive, dont la densité est ici plus faible qu'en été, et benthiques. D'après la littérature, ils privilégient la dérive ce qui est confirmé pour les Baetidae ; pour les autres familles, excepté les Simuliidae présents uniquement dans le benthos, il n'est pas possible de confirmer cela.
- Une différence d'abondance en Simuliidae entre les radiers avec présence relevée (abondance plus importante) et sans, a été identifiée. Néanmoins, les tacons sont mobiles au sein du milieu dans le secteur 1, l'information de présence dans un radier serait donc ponctuelle. Il n'y a donc pas de certitude à ce niveau-là.

- Les ressources alimentaires sont moins abondantes dans les stations 1 et 2 comparativement aux stations 3 et 4.
- Les caractéristiques biométriques des tacons sont normales pour toutes les stations. Les tacons de la station 3 ont une croissance moins importante due à d'autres facteurs (compétition) que l'alimentation. Les ressources alimentaires sont donc suffisantes pour la densité de tacons présente sur la Berwinne (toutes stations confondues).

Il faut rester prudent face à ces résultats car d'autres facteurs que l'alimentation influencent le développement et la survie des juvéniles de saumons. Il faut donc les mettre en perspective avec des études sur les différents sujets. Il serait intéressant de prélever plus de contenus stomacaux afin de disposer de plus de données pour les analyses, certains contenus étant complètement vides. Mais également, d'étudier particulièrement le déplacement intra-station des tacons et de répéter les mesures de présence/absence afin de voir si certains radiers sont plus propices aux tacons. Et enfin, de reproduire cette étude de multiples fois et plus tôt dans l'année afin de capter les individus avant dévalaison. Tout cela dans une optique d'optimisation de la gestion sur la Berwinne afin de favoriser les remontées d'adultes.

7. Bibliographie

Admunsen P., Hernandez J. (2019). Feeding studies take guts – critical review and recommendations of methods for stomach contents analysis in fish. *J Fish Biol.* 95:1364–1373. DOI: 10.1111/jfb.14151

Archambaud-suard, G., Corse, E., Meglécz, E., Chappaz R., Dubut V. (2019) Une étude inédite de métabarcoding pour étudier le régime alimentaire de l'apron. Sciences Eaux & Territoires. <https://hal.science/hal-02462400>

Archambaud, G., Corse, E., Dubut, V. (2018). Etude du régime alimentaire de l'apron du Rhône dans le Verdon. L'eau précieuse du Verdon : un écosystème, une ressource, un patrimoine. Courrier scientifique (N°4). Savoirs du parc naturel régional du Verdon.

Baglinière, J.L., Thibault, M., Dumas, J. (1990). Réintroduction et soutiens de populations du saumon atlantique (*Salmo salar* L.) en France. *Revue d'écologie (La terre et la vie)* 5, 299-323. https://www.persee.fr/doc/revec_1168-3651_1990_sup_45_5_6357

Bardonnet, A., Baglinière, J.-L., (1999). Freshwater habitat of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian journal fish aquatic science* 57, 497-506.

Baras, E., C. Lucas, M. (2001). Impacts of man's modifications of river hydrology on the migration of freshwater fishes: A mechanistic perspective. *Ecohydrology and Hydrobiology* 1 (3), 291-304. <https://www.researchgate.net/publication/285854983>

Beauger, A. (2008). Bio-évaluation de la qualité de l'eau : établissement d'un protocole d'échantillonnage simplifié, basé sur la collecte des macroinvertébrés benthiques sur les seuils des rivières à charge de fond graveleuse. [Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal.] ffNNT : 2008CLF21860ff. Fftel-00730658f

Benitez, J.-P., Dierckx, A.; Rimbaud, G.; Nzau Matondo, B.; Renardy, S.; Rollin, X.; Gillet, A.; Dumonceau, F.; Poncin, P.; Philippart, J.-C. (2022). Assessment of Fish Abundance, Biodiversity and Movement Periodicity Changes in a Large River over a 20-Year Period. *Environments* 9, 22. <https://doi.org/10.3390/environments9020022>

Benitez, J.-P.; N. Matondo, B.; Dierckx, A.; Ovidio, M. (2015). An overview of potamodromous fish upstream movements in medium sized rivers, by means of fish ^passes monitoring. *Aquatic Ecology* 49, 481-497. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10452-015-9541-4>

BENITEZ, J.P., RENARDY, S., DIERCKX, A., GELDER, J., NZAU MATONDO, B. & OVIDIO, M. (2023). Rapport final annuel 2022 au Service Public de Wallonie (DGARNE/DNF-SP) de la Subvention 2022-2023 relative au suivi scientifique de la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse. Université de Liège, 90 pages.

Benitez, J.P.; Ovidio, M. (2022). RESTORATION OF THE FREE MOVEMENT OF FISH IN THE MEUSE: 20 YEARS OF MONITORING OF FISH PASSES. Colloque SHF "Aménagements et biodiversité".

Berkowitz, H. (2014). Le problème de la surpêche et sa gestion. *Le Libellio* 10(4), 37-42. <https://hal.science/hal-03543969/document>

Biffi, M. (2017). Influence des facteurs environnementaux et des interactions biotiques sur la sélection de l'habitat et le régime alimentaire du desman des Pyrénées, *Galemys pyrenaicus*. [Thèse de doctorat, Université de Toulouse].

Bolger T. et Conolly P.L. (1988). The selection of suitable indicis for the measurement and analysis of fish condition. *Journal of Fish Biology*, 34, 171-182. <https://www.researchgate.net/profile/Thomas-Bolger-2/publication/227832970/The-selection-of-suitable-indices-for-the-measurement-and-analysis-of-fish-condition/links/59dbe5fe0f7e9b1460fc2cda/The-selection-of-suitable-indices-for-the-measurement-and-analysis-of-fish-condition.pdf>

Bournaud, M., Keck, G., Richoux, P. (1980). LES PRELEVEMENTS DE MACROINVERTEBRES BENTHIQUES EN TANT QUE REVELATEURS DE LA PHYSIONOMIE D'UNE RIVIERE. *Annls Limnol.* 16 (1), 55-75. <https://www.limnology-journal.org/articles/limn/pdf/1980/01/limn1980161p55.pdf>

Cunjak R., Prowse T., Parrish D. (1998). Atlantic salmon (*Salmo salar*) in winter: "the season of parr discontentl"? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 55(Suppl. 1): 161-180

Degila, D. (2020). Évaluation du fitness du saumon atlantique (*Salmo salar*) repeuplé à deux stades de vie précoces dans six affluents mosans. [Travail de fin d'étude Master de spécialisation en gestion des ressources aquatiques et aquaculture, Université de Liège]. : <http://hdl.handle.net/2268.2/9805>

Deguarra S., Cort J., Galaz T., Estruch V., Perez E. (2013). USE OF FULTON'S CONDITION FACTOR TO FILTER OUT OUTLIERS FROM ATLANTIC BLUEFIN TUNA (*THUNNUS THYNNUS L.*) LENGTH-WEIGHT RELATIONSHIPS. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 69(2): 671-683

Delmotte, S., Arrignon, F., Gonzalez, M. (2010). Analysis and management of ecological risks : interests of PRA.17e Congrès de Maîtrise des Risques et de Sécurité de Fonctionnement, La Rochelle, France. fhal-00999828f

Denamiel, M., Cure, C., Cordier, R. et al. (2021). Guide des protocoles pour l'analyse des contenus digestifs en vue de l'étude des réseaux trophiques. Département Ressources Biologiques et Environnement, Laboratoire Ressources Halieutiques de Boulogne sur Mer, Centre Manche Mer du Nord Plateforme Réseaux Trophiques .

DESCROIX, A. (2009). Croissance et régime alimentaire des juvéniles de Saumon atlantique (*Salmo salar L.*) dans la rivière Allier: Origine et transferts des acides gras dans la chaîne trophique. [Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal.] <https://theses.hal.science/tel-00725306/document>

Direction des Eaux de surface (2016). District hydrographique international de la Meuse : Fiche de caractérisation de la masse d'eau MV16R Berwinne I. SPW, V2.1. <http://eau.wallonie.be/fme/MV16R.pdf>

Direction des Eaux de surface (2016). Deuxièmes Plans de gestion Document d'accompagnement État des lieux. SPW.

Dittman, A.; P.Quinn, T.; A.Nevitt,G. (1995). Timing of imprinting to natural and artificial odors by Coho Salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 53, 434-442. DOI: 10.1139/cjfas-53-2-434

Elouard J., Sartori M., Gattoliatt J., Oliarinory R. (2001). BIODIVERSITE ET BIOTYPOLOGIE DES EAUX CONTINENTALES DE MADAGASCAR.

Evrard M., Micha J. (1995). Relation entre la diversité du substrat et la diversité faunistique dans un bief belge de la rivière Meuse. *Annls Limnol.* 31 (2) 93-103.

Flinkman J., Aro E., Vuorinen I., Viitasalo M. (1998). Changes in northern Baltic zooplankton and herring nutrition from 1980s to 1990s: top-down and bottom-up processes at work. *MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES*, 165, 127-136. <https://www.int-res.com/articles/meps/165/m165p127.pdf>

Friedland,K. (1998). Ocean climate influences on critical Atlantic salmon (*Salmo salar*) life history events. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55, 119-130. <https://www.gulfofmaine.org/kb/uploads/14277/Friedland1998.pdf>

Frustraert, G (2019). Effets de la prédation de la truite arc-en-ciel déversée pour la pêche de loisir sur la faune aquatique d'un ruisseau ardennais. [Thèse de doctorat Faculté des bioingénieurs, Université catholique de Louvain]. <http://hdl.handle.net/2078.1/thesis:22416>

H.Fullerton, A.; K.Burnett, M.; A. Steel, E.; L.Flichtcroft, R.; R.Pess,G.;E.Feist,B.; E.Torgensen, C.; J. Miller, D.; L.Sanderson,B. (2010). Hydrological connectivity for riverine fish: measurement challenges and research opportunities. *Freshwater Biology* 55, 2215-2237. doi:10.1111/j.1365-2427.2010.02448.xPublished

Gaudin P. et Heland M. (1984). Influence d'adultes de chabots (*Cottus gobio L.*) sur des alevins de truite commune (*Salmo trutta L.*): étude expérimentale en milieux semi-naturels. *Oecologica*, 5(1), 71-83. https://www.researchgate.net/profile/Philippe-Gaudin/publication/273457058_Influence_of_sculpin_adults_Cottus_gobio_L_on_brown_trout_Salmo_trutta-L_fry_-_Experimental_study_in_semi-natural_environments/links/55030ae40cf231de076fce6f/Influence-of-sculpin-adults-Cottus-gobio-L-on-brown-trout-Salmo-trutta-L-fry-Experimental-study-in-semi-natural-environments.pdf

Gaudin P., Martin E., Caillere L. LE TUBAGE GASTRIQUE CHEZ LES POISSONS : MISE AU POINT D'UN EQUIPEMENT ET TEST CHEZ LE CHABOT *Cottus gobio L.* <http://dx.doi.org/10.1051/kmae:1981009>

Gauthier, M.(2020). Dynamique des métacommunautés dans les têtes de bassin versant fragmentées : une perspective moléculaire. [Thèse de doctorat, Sciences de la Terre. Université de Lyon]. <https://theses.hal.science/tel-03352894>

Gayraud, S., Hérouin,E., Philippe,M. (2002). LE COLMATAGE MINÉRAL DU LIT DES COURS D'EAU : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE DES MÉCANISMES ET DES CONSÉQUENCES SUR LES HABITATS ET LES PEUPELEMENTS DE MACROINVERTÉBRÉS. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* 365-366; 339-355. <https://doi.org/10.1051/kmae:2002039>.

Giraldo,C. (2012). Ecologie trophique du poisson *Pleuragramma antarcticum* dans l'Est Antarctique. [Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie]. [theses.hal.science. https://theses.hal.science/tel-00829475](https://theses.hal.science/tel-00829475)

Guenifi, S. (2011). Etudes des interactions trophiques entre phytophages et impact sur la structure du réseau trophique des agroécosystèmes de type bananeraie en Martinique via l'approche code barre ADN. CIRAD.https://agritrop.cirad.fr/562421/1/document_562421.pdf

Guitard, A. (1998). COMPORTEMENT ALIMENTAIRE DE L'OMBLE DE FONTAINE, *SALVELINUS FONTINALIS*, ET DU SAUMON ATLANTIQUE, *SALMO SALAR*, EN MILIEU LOTIQUE. [Mémoire en maîtrise en Sciences de l'environnement. Université du Québec].

- Hammock, B., Krigbaum, N., Johnson, M. (2012). Incorporating invertebrate predators into theory regarding the timing of invertebrate drift. *Aquatic ecology* 46, 153-163. DOI 10.1007/s10452-012-9388-x
- Hansen, L.P., Quinn, T.P. (1998). The marine phase of the Atlantic salmon (*Salmo salar*) life cycle, with comparisons to Pacific salmon. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55, 104-118. https://web.archive.org/web/20190222184040id_/http://pdfs.semanticscholar.org/3b4b/c35ccdfe5f4b82ab13863fac932ef83e8ce4.pdf
- Heggenes J., Baglinière J.L., Cunjak R. (1995). NOTE DE SYNTHÈSE SUR LA SÉLECTION DE NICHE SPATIALE ET LA COMPÉTITION CHEZ LE JEUNE SAUMON ATLANTIQUE (*SALMO SALAR*) ET LA TRUITE COMMUNE (*SALMO TRUTTA*) EN MILIEU LOTIQUE. *Bulletin français pêche et pisciculture*, 337/338/339, 231-239. <http://dx.doi.org/10.1051/kmae:1995026>
- Horton, G.; Havens Letcher, B.; M.Bailey, M.; T.Kinnison, M. (2009). Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolt production: the relative survival and body growth. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 66, 471-483. doi:10.1139/F09-005
- Ifremer. (1994). Le saumon atlantique. ISBN 2-905434-48-1.
- Johnston, P. (2002). Facteurs de l'habitat physique influençant le comportement et la croissance des saumons atlantiques juvéniles (*Salmo Salar*) des rivières petite rivière cascapédia et bonaventure (gaspésie, Québec). [Travail de fin d'étude, Université du Québec]. <https://espace.inrs.ca/id/eprint/2059/1/T000312.pdf>
- Jonsson, B.; Jonsson, N. (2011). Ecology of Atlantic Salmon and Brown Trout: 1 Habitat as a Template for Life Histories, *Fish & Fisheries Series* 33. DOI 10.1007/978-94-007-1189-1_1
- Jørgensen, E.H., Jobling, M. (1992). Feeding behaviour and effect of feeding regime on growth of Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture* 101, 135-146. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90238-G](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90238-G).
- Keeley, E. & Grant, J. (1997). Allometry of diet selectivity in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54, 1894-1902.
- Keenleyside, M., Yamamoto, F. (1962). Territorial Behaviour of Juvenile Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.). *Behaviour* 19 (½), 139-169. <https://www.jstor.org/stable/4533008>
- Klemetsen, A., Amundsen, P.-A., Dempson, J.B., Jonsson, B., Jonsson, N., O'Connell, M.F. and Mortensen, E. (2003). Atlantic salmon *Salmo salar* L., brown trout *Salmo trutta* L. and Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.): a review of aspects of their life histories. *Ecology of Freshwater Fish*, 12: 1-59. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0633.2003.00010.x>
- Malbrouck, C., Micha, J.-C., & Philippart, J.-C. (2007). *La réintroduction du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse : synthèse et résultats*. Région Wallonne. <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/221520/1/saumon2000RW2006.pdf>
- Mammeri I. (2015). Etude Des Communautés De Macro-invertébrés Benthiques Dans La Bassin Versant De L'oued Nil (jijel). [Mémoire de fin d'étude, Université Mohammed Seddik Ben Yahia]
- Mason J., Masidori S. (1976). Populations of sympatric sculpins, *Cottus Aleuticus*, and *Cottus asper*, in four adjacent salmon-producing coastal stream on Vancouver island. *Fishery bulletin* 74(1).
- McCormick, S., Hansen, L., Quinn, T., Saunders, R. (1998). Movement, migration, and smolting of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55, 77-92. DOI: 10.1139/cjfas-55-S1-77

Meehan W. et Miller R. (1978). . Stomach flushing: effectiveness and influence on survival and condition of juvenile salmonids. *J. Fish. Res. Board Can.* 35: 1359-1363.

Menard A. (2005). Influence de la Morphologie du Cours D'eau sur les Mouvements Journaliers du Saumon Atlantique Juvénile à L'automne au Début de L'hiver. [Mémoire de fin d'étude, Université du Québec]

Metcalf, N. B., Huntingford, F. A., Thorpe, J. E. (1988). Feeding Intensity, Growth Rates, and the Establishment of Life-History Patterns in Juvenile Atlantic Salmon *Salmo salar*. *Journal of Animal Ecology* 57(2), 463–474. <https://doi.org/10.2307/4918>

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MDDEFP), 2013. Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec – Cours d'eau peu profonds à substrat grossier, 2013. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-69169-3 (PDF), 2e édition : 88 p. (incluant 6 ann.).

Mobley K., Aykanat T., Czorlich Y., House A., Kurko J., Miettinen A., Verho J., Salgado A., Waters M., Verta j., Primmer C. (2021). Maturation in Atlantic salmon (*Salmo salar*, Salmonidae): a synthesis of ecological, genetic, and molecular processes. *Fish biology et fisheries* , **31**, 523–571

Monnerjahn,U. (2011). Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) re-introduction in Germany : a status report on national programmes and activities. *Journal of applied ichthyology* 27(3), 33-40. doi: 10.1111/j.1439-0426.2011.01849.x

Múrria, C., Väisänen,L., Somma,S., Wangenstein,O., Arnedo,M., Prat,N. (2020). Towards an Iberian DNA Barcode Reference Library of Freshwater Macroinvertebrates and Fishes. *Limnetica* 39 (1), 73-92. <https://doi.org/10.23818/limn.39.06>.

NASCO. (19/06/2023). <https://nasco.int/about/>

Nikolic,N. (2009). Diversité génétique et taille efficace chez les populations de poissons sauvages : le cas du Saumon atlantique un poisson migrateur amphihaline menacé. [Thèse de doctorat, Université de Toulouse]. Archemer.ifremer.fr. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00074/18544/16093.pdf>

OVIDIO, M. & J.C. PHILIPPART (avec la collaboration technique de Y. NEUS, G. RIMBAUD et A. FRANCOIS), 2007 b. Suivi scientifique de l'efficacité des nouvelles échelles à poissons sur la Berwinne aux barrages de Berneau et de Mortroux. Bilan global des études et perspectives. Rapport final au Ministère de la Région Wallonne, DGRNE-Division de l'Eau, Direction des Cours d'eau non navigables. Université de Liège, Laboratoire de Démographie des Poissons et d'Hydroécologie, 159 pages (avril 2007)

Parrish,D., Behnke,R., Gephard,S., McCormick,S., Reeves,G.(1998). Why aren't there more Atlantic salmon (*Salmo salar*)? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55, 281-287.DOI: 10.1139/d98-012

PHILIPPART, J.-Cl.(2003). Restauration de la biodiversité: le cas des poissons migrateurs dans la Meuse. *Biologie* 73, 75-84.

PHILIPPART,J.-Cl.(2007). L'érosion de la biodiversité : les poissons. Région Wallonne. https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/218709/1/dossier_FFH_philippart_1%3A3.pdf

Portt C., Coker G., Ming D., Randall R. (2006). A review of fish sampling methods commonly used in Canadian freshwater habitats. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences. https://docs.streamnetlibrary.org/CanadaDFO/cdfo-techrpt_2604.pdf

Pottier G., Azam D., Beaulaton L., Vigneron T., Rives J., Marchand F., Pénil C. (2022).. La pêche scientifique à l'électricité dans les milieux aquatiques continentaux. [Rapport de recherche] OFB; INRAE., 136 p. fhal-03715338f

Prignon,C.; Micha, J.C.; Rimbaud,G.; Phillipart,J.C. (1999). Rehabilitation efforts for Atlantic salmon in the Meuse basin area: Synthesis 1983-1998. *Hydrobiologia* 410, 69-77.

- Prouzet P., Gueguen J. (1994). Le saumon Atlantique Biologie et gestion de la ressource.
- Rader, R.B., 1997. A functional classification of the drift: traits that influence invertebrate availability to salmonids. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54, 1211–1234. <https://doi.org/10.1139/f97-025>
- Renardy, S.; Benitez, J-P.; Tauzin, A.; Dierckx,A.; N. Matondo,B.; Ovidio,M. (2020). How and where to pass ? Atlantic salmon smolt's behaviour at a hydropower station offering multiple migration routes. *Hydrobiologia* 847, 469-485. [https://doi.org/10.1007/s10750-019-04108-w\(0123456789\(..-volV\)\(0123456789\(..-volV\)\)](https://doi.org/10.1007/s10750-019-04108-w(0123456789(..-volV)(0123456789(..-volV)))
- RIMBAUD G., OVIDIO M., DIERCKX A., BENITEZ J.P., NZAU B., MATONDO, PHILIPPART J.C., PONCIN, P. (2014). EVALUATION DE LA QUALITE BIOLOGIQUE DES RIVIERES WALLONNES SUR BASE DES INDICES BIOLOGIQUES POISSONS SUPPORT TECHNIQUE AUX INVENTAIRES 2014.
- Rivot, E., Massiot-Granier, F., Prévost, E. et al. (2014). Mieux comprendre la dynamique des populations sauvages de saumon atlantique pour optimiser leur gestion. L'apport des modèles hiérarchiques Bayésiens : Ecoknows deliverable 7.1. NGO Stakeholder paper; Case study Atlantic salmon. <https://hal.science/hal-01210267>
- Rossechi E, Nouaze Y (1987). COMPARAISON DE CINQ INDICES ALIMENTAIRES UTILISÉS DANS L'ANALYSE DES CONTENUS STOMACAUX . *Rev. Trau. Inst. Pêches marit.* 49 (3 et 4), 111-123.
- SPW (2020). État biologique des masses d'eau de surface. <http://etat.environnement.wallonie.be/home.html>
- Staub E. (2004). Documentation du déclin des poissons. Rapport final Fishnetz. [https://www.dora.lib4ri.ch/eawag/islandora/object/eawag%3A14746/datastream/PDF/Dollenmeier-2004-Sur la trace du d%C3%A9clin-%28published version%29.pdf](https://www.dora.lib4ri.ch/eawag/islandora/object/eawag%3A14746/datastream/PDF/Dollenmeier-2004-Sur%20la%20trace%20du%20d%C3%A9clin-%28published%20version%29.pdf)
- Stefansson, S. O., B. Th. Björnsson, T. Hansen, CHaux, G. L. Taranger, and R. L. Saunders. 1991. Growth, parr-smolt transformation, and changes in growth hormone of Atlantic salmon (*Salmo salar*) reared under different photoperiods. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48: 2100-2108.
- Sueur F. (1993). La raison du choix de l'hôte lors du kleptoparasitisme des limicoles par la mouette rieuse. *Revue d'Écologie*, 48 (1), pp.65-71. [ffhal-03529094](https://hal-03529094)
- Teichert N, Benitez J-P, Dierckx A, et al (2020). Development of an accurate model to predict the phenology of Atlantic salmon smolt spring migration. *Aquatic Conserv: Mar Freshw Ecosyst*, 30:1552–1565. <https://doi.org/10.1002/aqc.3382>
- Thorstad, E., Whoriskey,F., Rikardsen,A., Aarestrup,K., Flemming,I., Einum,S. (2011). *Atlantic Salmon Ecology*. John Wiley & Sons. ISBN 978-1-4051-9769-4
- Thorstad, B.E.; Okland,F.; Aarestrup,K.; Heggberget,G.T. (2008). Factors affecting the within-river spawning migration of Atlantic salmon, with emphasis on human impacts. *Fish Biology and Fisheries* 18, 345-371. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11160-007-9076-4>
- Tokpon, Y. (2022). *Evaluation du potentiel de la Berwinne en tant que rivière d'empoisonnement du Saumon atlantique (Salmo salar L) et le suivi du fitness des Alevins émergeant déversés*. [Travail de fin d'étude Master de spécialisation en gestion des ressources aquatiques et aquaculture,Université de Liège]. <http://hdl.handle.net/2268.2/16026>
- Tréhin, C. (2022). Réponse des populations de salmonidés migrants aux changements globaux : rôle de la croissance dans les stratégies d'histoire de vie et la dynamique de population chez le saumon atlantique (*Salmo salar*). [Thèse de doctorat, Sciences agricoles. Agrocampus Ouest]. <https://theses.hal.science/tel-03896540>

Vassen, F. (1998). Etude de la compétition interspécifique entre les juvéniles de la truite commune (*Salmo trutta* L.) et du saumon atlantique (*S. salar* L.) en rivière. [Thèse de doctorat. Faculté des Sciences. Université de Namur]. ISBN 2-87037-254-X. 240 pp.

VIGNES, J.C. & HELAND, M. (1995). COMPORTEMENT ALIMENTAIRE AU COURS DU CHANGEMENT D'HABITAT LIÉ A L'ÉMERGENCE CHEZ LE SAUMON ATLANTIQUE, *SALMO SALAR* L., ET LA TRUITE COMMUNE, *SALMO TRUTTA* L., EN CONDITIONS SEMI-NATURELLES. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* (1995) 337/338/339 , 207-214. <http://dx.doi.org/10.1051/kmae:1995023>

Vignes, J-C. (1999). Feeding rhythms of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and trophic relationship with invertebrate drift. *VIE ET MILIEU*, 49 (4), 293-300. <https://hal.sorbonne-universite.fr/hal-03180867/document>

Vignes J.C. (1999). RYTHMES ALIMENTAIRES DE JEUNES SAUMONS ATLANTIQUES (*SALMO SALAR* L.) ET RELATIONS TROPHIQUES AVEC LA DÉRIVE DES INVERTÉBRÉS. *Vie et Milieu / Life & Environment*, pp.293-300. fahal-03180867f

Wankowski, J W J; Thorpe, J E (1979). Spatial distribution and feeding in atlantic salmon, *Salmo salar* L. juveniles. *Journal of fish biology.*14(3), .239-247. **DOI:** 10.1111/j.1095-8649.1979.tb03515.x

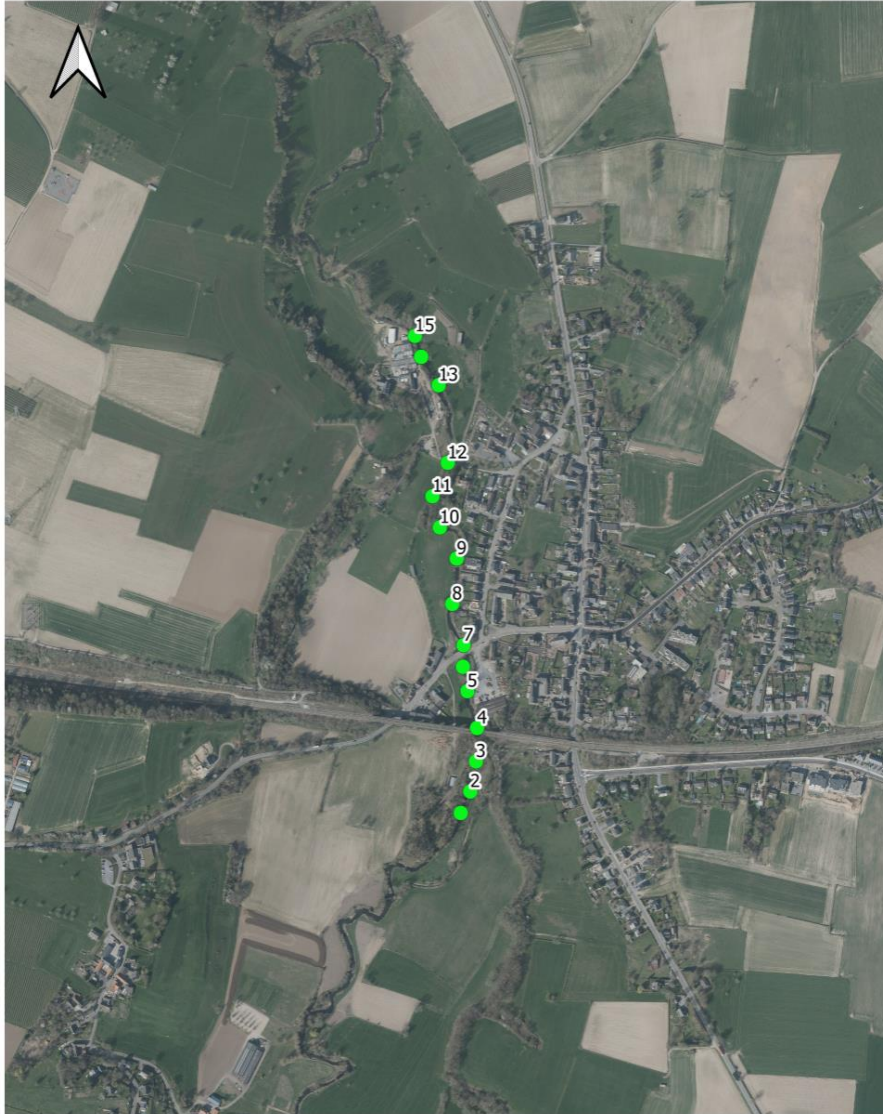
Watz,J.; Aldvén, D.; Andreasson, P.; Aziz, K.; Blixt, M.; Calles, O.; L. Bjornas, K.; Olsson, I.; Osterling, M.; Stalhammar, S.; Tielman, J.; J.Piccolo, J. (2021). Atlantic salmon in regulated rivers : Understanding river mangement through the ecosystem services lens. *Fish and Fisheries* 23, 478-491. DOI: 10.1111/faf.12628

Weber,N. (2009). Evaluation of macroinvertebrates as a food resource in the assessment of lotic salmonid habitat. [Thèse de doctorat, Université de l'Utah]. https://digitalcommons.usu.edu/etd/286?utm_source=digitalcommons.usu.edu%2Fetd%2F286&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages

Weigand,H., Beermann,A., Čiampor,F., Costa,F., Csabai,Z., Duarte,S., Geiger,M., Grabowski,M., Rimet,F., Rulik,B., Strand,M., Szucsich,N., Weigand,A., Willassen,E., Wyler,S., Bouchez,A., Borja,A., Čiamporová-Zaťovičová,Z., Ferreira,S., Dijkstra,K-D., Ekrem,T. (2019). DNA barcode reference libraries for the monitoring of aquatic biota in Europe: Gap-analysis and recommendations for future work. *Science of the total environment* 678, 499-524. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.247>

WWF (2001). The status of WILD ATLANTIC SALMON : A RIVER BY RIVER ASSESSMENT. <https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/salmon2.pdf>

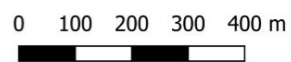
8. Annexe



Pauline Hubert
Source:
Géoportail de Wallonie, Orthophoto 2021
https://geoservices.wallonie.be/arcgis/services/IMAGERIE/ORTHO_2021/MapServer/WMServer?request=GetCapabilities&service=WMS
Jean-Philippe Benitez

Légende

● Radiers



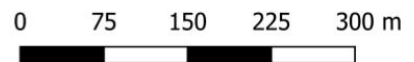
Annexe 1 : Carte des radiers composants le secteur 1



Pauline Hubert
 Source:
 Géoportail de Wallonie, Orthophoto 2021
https://geoservices.wallonie.be/arcgis/services/IMAGERIE/ORTHO_2021/MapServer/WMS/Server?request=GetCapabilities&service=WMS
 Jean-Philippe Benitez

Légende

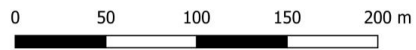
● Radiers



Annexe 2 : Carte des radiers composant le secteur 2



Pauline Hubert
 Source:
 Géoportail de Wallonie, Orthophoto 2021
https://geoservices.wallonie.be/arcgis/services/IMAGERIE/ORTHO_2021/MapServer/WMSServer?request=GetCapabilities&service=WMS
 Jean-Philippe Benitez



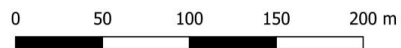
Légende

● Radiers

Annexe 3 : Carte des radiers composant le secteur 3



Pauline Hubert
 Source:
 Géoportail de Wallonie, Orthophoto 2021
https://geoservices.wallonie.be/arcgis/services/IMAGERIE/ORTHO_2021/MapServer/WMSServer?request=GetCapabilities&service=WMS



Légende

● Radiers

Annexe 4 : Carte des radiers composant le secteur

