

Travail de fin d'études

Auteur : Tokpon, Yisségnon Aubin

Promoteur(s) : 8790; 8795

Faculté : Faculté des Sciences

Diplôme : Master de spécialisation en gestion des ressources aquatiques et aquaculture

Année académique : 2021-2022

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/16026>

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.

FACULTE DES SCIENCES

Département de Biologie, Ecologie et Evolution

**MASTER DE SPECIALISATION EN GESTION DES RESSOURCES AQUATIQUES
ET AQUACULTURE (GERAA)**

**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**

*Présenté et défendu en vue l'obtention du diplôme de Master en Gestion des
Ressources Aquatique et Aquaculture*

Présenté par

TOKPON Yisségnon Aubin

Promoteur :

Prof Patrick KESTEMONT

Directeur de URBE / UNamur

Encadrant :

Dr Alexandre ERRAUD

Chercheur à URBE / UNamur

Année Académique 2021-2022

Dédicace

A

Mon épouse B. C. Chantal SAHOSSI et nos enfants Y. Nathanaël et E. Joyce

Remerciements

Mes remerciements vont à l'endroit :

- ✓ de l'Eternel Dieu, le créateur du ciel et de la terre, lui qui m'a soutenu, protégé et donné le souffle de vie jusqu'à ce jour ;
- ✓ de l'ARES pour cette bourse octroyée et de toute son équipe ;
- ✓ des coordonnateurs du Master GeRAA, Profs Patrick KESTEMONT et Carole ROUGEOT pour n'avoir ménagé aucun effort à la réussite de cette formation;
- ✓ du Prof Patrick KESTEMONT, Directeur du Laboratoire de Physiologie et Toxicologie Environnementale de l'Université de Namur pour m'avoir accepté dans son laboratoire ;
- ✓ de mon encadrant, Dr Alexandre ERRAUD pour son assistance quotidienne, sa qualité d'écoute, sa confiance, ses encouragements et ses conseils et orientation pour la réussite de ce travail. Ce fut un grand plaisir d'avoir travaillé sous votre supervision. Soyez-en remercié ;
- ✓ de Dr Liévin CASTALAIN, pour son aide pendant l'identification des macroinvertébrés ;
- ✓ de François D'HALLUIN, pour son aide et les bons moments passés ensemble sur le terrain ;
- ✓ de tous les enseignants du Master GeRAA pour la qualité de l'enseignement reçu, et spécialement au Dr Carole ROUGEOT pour son assistance permanente durant cette formation et durant les durs moments du confinement engendré par le Covid-19 ;
- ✓ de tous mes promotionnaires du Master GeRAA 2021-2022 ; notamment à Abdouramane DOSSOU-YOVO, Emmanuel CITCHIBANDJI, Cédric NTEMUNY, Florianne V. S.NYAMSI et Florette W. ZANGUE ;
- ✓ de Pamphile AGBOHESSOU, Dedonougbo D. B. DEGILA, Scholastique E. GBEDO, Pétra GANBAKPO et Edith A.YACOUTO ; pour vos conseils et encouragements ;
- ✓ de tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réussite de cette formation et principalement de ce travail.

Résumé

Cette étude a été réalisée dans le but d'évaluer le potentiel de la Berwinne dans le cadre d'action d'empoissonnement du saumon Atlantique (*Salmo salar L*) dans le bassin de la Meuse et de

faire le suivi du fitness des alevins émergeant déversés dans cette rivière. Les données ont été collectées du mois d'avril au mois de juillet 2022 soit quatre mois. Les AEVR (*i.e.* Alevins Emergeant à Vésicule Résorbé) ont été repeuplés à un poids moyens de 0,20g. Au total, 62541 individus ont été empoissonnés sur quatre secteurs pour un total de 65 radiers de l'aval vers l'amont soit en moyenne, 15635 ± 256 individus par secteur. Durant cette étude, la structure granulométrique et les ressources alimentaires des différents secteurs ont été caractérisés. La survie, la croissance, l'allométrie, l'indice de Fulton (K) ainsi que le comportement alimentaire des AEVR ont été déterminés et analysés. Les résultats de cette expérimentation montrent que l'ensemble des secteurs sont composés essentiellement de cailloux grossiers avec une tendance vers les particules fines pour les secteurs 2 et 4. Pour les ressources alimentaires, elle varie d'un secteur à un autre. Les densités moyennes des macroinvertébrés benthique et dérivant sont évalué à $9740,00 \pm 1786,67$ ind / m² ($p > 0,05$) et $1,68 \pm 0,57$ ind / m³ ($p < 0,05$) respectivement. Au total 25 taxa sont dénombrés dans le benthos contre 24 taxa dans la dérive. Les principales familles identifiées dans cette étude sont des *Simuliidae*, les *Baetidae*, les *Chironomidae*, les *Elmidae* et les *Gammaridae*. Le taux de survie est croissant de l'amont vers l'aval (*i.e.* de 0,6% à 6,99%) avec un SGR similaire (3,02 % - 3,82 %) ($p < 0,05$) traduisant une bonne croissance. Par contre l'allométrie est de type négatif ($b < 3$:) pour l'ensemble des secteurs (2,23 – 2,89). Le facteur de condition K indique plutôt un embonpoint des AEVR dans cette rivière ($1,16 \pm 0,09$ – $1,25 \pm 0,08$) ($p < 0,001$). L'analyse des contenus stomacaux révèle chez les tacons un comportement alimentaire bien sélectif. Les *Baetidae*, les *Simuliidae*, les *Chironomidae* et les *Hydropsychidae* constituent leur principale ressource alimentaire. En conclusion la Berwinne présente une bonne richesse nutritionnelle en adéquation avec le régime alimentaire de ces derniers permettant une bonne survie et une bonne croissance des AEVR. Il semble donc pertinent de continuer le repeuplement dans cette rivière en vue d'augmenter la chance des tacons de dévaler en nombre important pour un retour conséquent quelques années plus tard dans la Berwinne.

Mots clés : Macroinvertébrés, ressource alimentaire, croissance, densité, facteur de condition.

Table des matières

Dédicace	i
Remerciements	ii
Résumé	ii
Liste des tableaux	v
Liste des figures	vi
1. INTRODUCTION BIBLIOGRAPHIQUE	1
1.1. Présentation du Saumon atlantique.....	1
1.2. Biologie du Saumon atlantique.....	2
1.4. Etat des lieux du stock du saumon atlantique	5
1.5. Mesure de restauration du Saumon ‘Projet Saumon Meuse’	6
1.6. Potentiels difficultés du retour du saumon dans les rivières Wallonnes	8
1.7. Problématique et objectif de l'étude	8
2. MATERIEL ET METHODES	10
2.1. Choix et localisation des stations.....	10
2.2. Déversement des AEVR dans la Berwinne	11
2.3. Caractérisation des stations	11
2.4. Caractérisation des Ressources alimentaires de la Berwinne	13
2.4.1. Echantillonnage des macroinvertébrés	13
2.4.2. Indentification et quantification des macroinvertébrés	14
2.5. Suivi des AEVR déversés dans la Berwinne	15
2.6. Analyses statistiques des données	17
3. RESULTATS	18
3.1. Granulométrie des différents secteurs	18
3.2. Caractérisation des ressources trophique.....	19
3.3. Performances de survie et de croissances des AEVR déversés dans la Berwinne	21

3.3.1.	Taux de survie et densité des jeunes saumons	21
3.3.2.	Ichtyofaune des habitats des AEVR déversés dans la Berwinne	22
3.3.3.	Taux de croissance spécifique (SGR) des AEVR	23
3.3.4.	Allométrie des AEVR	24
3.3.5.	Indice de Fulton (K) des tacons dans la Berwinne.....	25
3.3.6.	Analyse du contenu stomacal et caractérisation du comportement alimentaire des tacons	26
4.	DISCUSSION	28
5.	CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	32
6.	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	33
7.	ANNEXES	a

Liste des tableaux

Tableau 1: Valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques et de la vitesse de l'eau par station d'étude.	12
Tableau 2: Echelle granulométrique de Wentworth (1922) modifiée dans Malavoi et Souchon (2002)	13
Tableau 3 : Résultats de la distribution des particules dans la Berwinne en fonction des secteurs suivant la méthode de Wolman (1954).	19
Tableau 4: Densité des macroinvertébrés benthiques et dérivants dans la Berwinne en fonction des secteurs.....	20
Tableau 5 : abondance des espèces par secteurs dans la Berwinne	22
Tableau 6 : Taux de croissance Spécifique moyen et l'écart-type des AEVR en fonction des secteurs de déversement.	23
Tableau 7 : Facteur de conditions des tacons de saumons déversés dans la Berwinne.....	25

Liste des figures

Figure 1 : a : Saumon atlantique mâle capturé dans la passe à poissons des Grosses Battes le 16 novembre 2020 (Photo : SP/SPW de la pisciculture d'Erezée ; b : Tacon de saumon capturé en juillet 2022 dans la Berwinne.....	2
Figure 2 : Le voyage périlleux des poissons grands migrateurs dans la Meuse. APAMLg asbl, Liège, Philippart, J.-C. (2005).....	4
Figure 3 : voies migratoires du saumon atlantique (ASF, 2000)	5
Figure 4 : Statut de conservation des populations de saumon dans 2005 cours d'eau à saumon (d'après WWF,2001).....	6
Figure 5 : Evolution annuelle du pourcentage cumulé de captures de saumon par an selon la saison (Benitez et al., 2019)	7
Figure 6: Localisation GPS des radiers par secteurs sur la Berwinne.....	10
Figure 7 : schémas indiquant l'axe de Mesure de la granulométrie d'une pierre. Axe b : axe perpendiculaire à la longueur de la pierre (axe a et à son épaisseur (axe c)	13
Figure 8 : Identification et quantification des macroinvertébrés. 1 : Tamis de rinçage et le bac de tri des macroinvertébrés ; 2 : loupe binoculaire Nikon SMZ 1270 ; 3 : Clé d'identification.	15
Figure 9 : Matériels de mesure morphométrique : balance électronique (Kern, 0,1g près) à gauche ; Ichtyomètre (mm près) à droite.....	17
Figure 10: Courbes de fréquence de taille du substrat grossier dans la Berwinne en fonction des secteurs	18
Figure 11: Abondance relatives des taxons de macroinvertébrés benthiques identifié dans la Berwinne en fonction des secteurs	20
Figure 12: Abondance relatives des taxons de macroinvertébrés dérivant identifié dans la Berwinne en fonction des secteurs	21
Figure 13: variation de la Densité et taux de survie des AEVR déversés dans la Berwinne en fonction des secteurs	22
Figure 14 : abondances ichthyologique à la Pêche de contrôle dans les secteurs de déversement des AEVR dans le Berwinne	23
Figure 15 : Taux de croissance spécifiques des tacons de saumon déversés dans la Berwinne suivant les secteurs de déversement.	24
Figure 16 : Relation entre le logarithme du poids et le logarithme de la longueur totale des AEVR	25

Figure 17 : distribution du facteur de condition (k) des tacons de saumon déversés dans la Berwinne en fonction des secteurs.	26
Figure 18 : Abondance relative des taxa dans les contenus stomacaux des tacons en fonction des secteurs.....	27
Figure 19 : Index de sélection des taxa chez les tacons dans la Berwinne.....	27

1. INTRODUCTION BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Présentation du Saumon atlantique

Le saumon atlantique (*Salmo salar*) est un poisson de la famille des salmonidés et du genre *Salmo* (Buoro and Prévost, 2018). Son corps de forme fusiforme hydrodynamique et puissant est recouvert de petites écailles avec une coloration métallique qui varie en fonction des stades de développement et suivant les périodes de reproduction. (**Figure 1a**) Les tacons (les jeunes saumons) présentent sur les flancs 8 à 11 barres verticales de couleur foncée (**figure 1b**). Le smolt et l'adulte quant à eux ont une livrée argentée avec des points noirs au-dessus de la ligne latérale (Descroix et al., 2009; Rochard and Elie, 1994). Au moment de la reproduction, le mâle se pare de couleurs éclatantes. La bouche s'étend jusqu'à la partie située sous l'arrière de l'œil et possède des dents bien développées. Les adultes présentent un dimorphisme sexuel au niveau du museau. Les femelles possèdent un museau arrondi alors que les mâles présentent un museau allongé et ses mâchoires se courbent fortement en vieillissant, ce qui lui vaut le nom de bécard.(Rochard and Elie, 1994). Le pédoncule caudal est allongé et plus mince que chez la truite avec laquelle le saumon partage de nombreux caractères communs (Aas et al., 2010). On dénombre au total 19 rayons moux sur la nageoire caudale (Oliver, 1970) et elle est assez échancrée mais fourchue chez les individus de moins de 20 cm (Kottelat and Freyhof, 2007). Il possède deux nageoires dorsales dont une adipeuse de couleur grise permettant spécialement de le différencier de la truite fario au stade tacon. Il peut vivre jusqu'à 15 ans maximum avec un poids de 47 kg pour une taille de 1,5 m mais la taille courante est de 0,5 à 0,7m, pour un poids de 2,3 à 9,1kg. Néanmoins, la taille la plus courante est comprise entre 50 à 70 cm, pour un poids de 2,3 à 9,1 kg. Le saumon est classé parmi les poissons noble et très prisé des consommateurs compte tenu de ses qualités organoleptiques. Il est ainsi très convoité pour sa valeur marchande, scientifique, culturelle et sportive (Mocq, 2013).





Figure 1 : (A) Saumon atlantique mâle capturé dans la passe à poissons des Grosses Battes le 16 novembre 2020 (Photo : SP/SPW de la pisciculture d'Erezée ; (B) Tacon de saumon capturé en juillet 2022 dans la Berwinne

1.2. Biologie du Saumon atlantique

La vie du saumon atlantique se déroule en deux principales étapes. La première est caractérisée par le développement en eau douce où le saumon voit le jour. Dans ce milieu il se passera le développement embryonnaire, larvaire et de juvénile (tacon). La durée de cette phase est comprise entre une à deux années (Malbrouck et al., 2007). C'est à ce stade que les saumoneaux entament une longue migration de dévalaison pour les eaux salées C'est au cours de cette migration que les tacons subissent des transformations morphologiques et physiologiques pour la vie en mer : c'est la smoltification. Dans les eaux salées commence la deuxième étape de vie. Dans ce milieu les saumons passeront le restant environ 14 à 36 mois de leur vie jusqu'à la maturité sexuelle pour les jeunes individus puis reprennent le chemin retour vers les eaux fluviales pour les fonctions de reproduction (Klemetsen et al., 2003). La majeure partie de ses géniteurs perdrons la vie pour cause d'épuisement énergétique puisque ces derniers exploitent uniquement les réserves énergétiques durant ce voyage. Seulement quelques-uns survivent (< 5%) et pourront donc avoir la chance de se reproduire une deuxième fois encore au cours de leur vie (Philippart, 2005; Valiente et al., 2005). La reproduction a lieu entre le mois d'octobre au mois de décembre (Armstrong and Nislow, 2006; Buoro and Prévost, 2018). La sélection des sites de fraie est réalisée par les femelles en testant plusieurs sites. Il s'agit des zones de radier à courant rapides avec une structure granulométrique bien spécifique. Ils sont en amont des bassins versants à quelques kilomètres voir des centaines de kilomètres de l'estuaire (Bardonnnet and Bagliniere, 2000). Les radiers ont une profondeur variant entre 20 à 35 cm et présentent un courant d'eau rapide de l'ordre de 40 à 65 cm/s ; un substrat constitué d'éléments

grossiers (pierres ou cailloux non colmatés), une très bonne oxygénation avec une température de 6° à 10°C (Aas et al., 2010). La fécondité relative moyenne est de 500 à 2000 œufs / kg de poids corporel de la femelle (Hendry and Cragg-Hine, 2003). Les œufs sont déposés dans un nid creusé à une profondeur de 15 à 60 cm dans le substrat (Rochard and Elie, 1994; Roche, 1994), puis fertilisé immédiatement par les mâles anadromes. Les jeunes tacons précoces participent aussi à la reproduction en relâchant leur laitance pendant la fertilisation des gros mâles (Armstrong and Nislow, 2006; Richard, 2012). Cette maturation sexuelle précoce des tacons mâles est assez fréquente au sein de l'espèce (Klemetsen et al., 2003). Les œufs sont recouverts d'une couche de graviers, ce type de substrat permettant une bonne circulation de l'eau par percolation et ainsi une bonne oxygénation du nid (Fleming, 1996). L'incubation des œufs dure environ 100 jours en fonction des conditions physiques de la rivière en occurrence la température mais peut aller jusqu'à 160 jours dans le cas extrême. Des milliers de larves éclosent souvent au printemps. Ces larves émergent du gravier entre le mois de mars et d'avril après résorption de leur poche vitelline (Malbrouck et al., 2007). Elles vont ensuite coloniser les zones de radier par dérivation du courant de l'eau avec une variation de 5 m en 10 jours pour atteindre quelques centaines de mètres (Armstrong and Nislow, 2006). Leur régime alimentaire est constitué de macroinvertébrés principalement des larves et des insectes à la dérive (Kottelat and Freyhof, 2007; Malbrouck et al., 2007). Les éphéméroptères, les trichoptères, les plécoptères, les diptères, les annélides (planaires), les mollusques et les amphipodes sont les plus rencontrés dans ce régime (Rader, 1997). Compte tenu de la demande de plus en plus importante en aliment, les tacons vont se disperser davantage dans des micro habitats. Ces micro habitats leur offrent non seulement de la nourriture mais aussi des refuges contre les prédateurs. Pour cela, ils prennent des apparences de camouflage caractérisé par des stries verticales et mouchetures rouge au début de l'été (Malbrouck et al., 2007). Les tacons âgés de moins d'un an ou 0+ vivent dans les mêmes types d'habitats que les alevins, tandis que ceux âgés de plus d'1 an vont habiter des zones dont la profondeur est de 20 à 40 cm avec un débit d'eau plus fort (60 à 75 cm/s) et un substrat de cailloux et de roches (64 – 256 mm) (WWF, 2001). Le régime thermique optimal de ces individus est de 16 °C (Malbrouck *et al.*, 2007). Le taux de survie est souvent faible après ce stade et dépasse rarement 10% (Benitez et al., 2020, 2019)

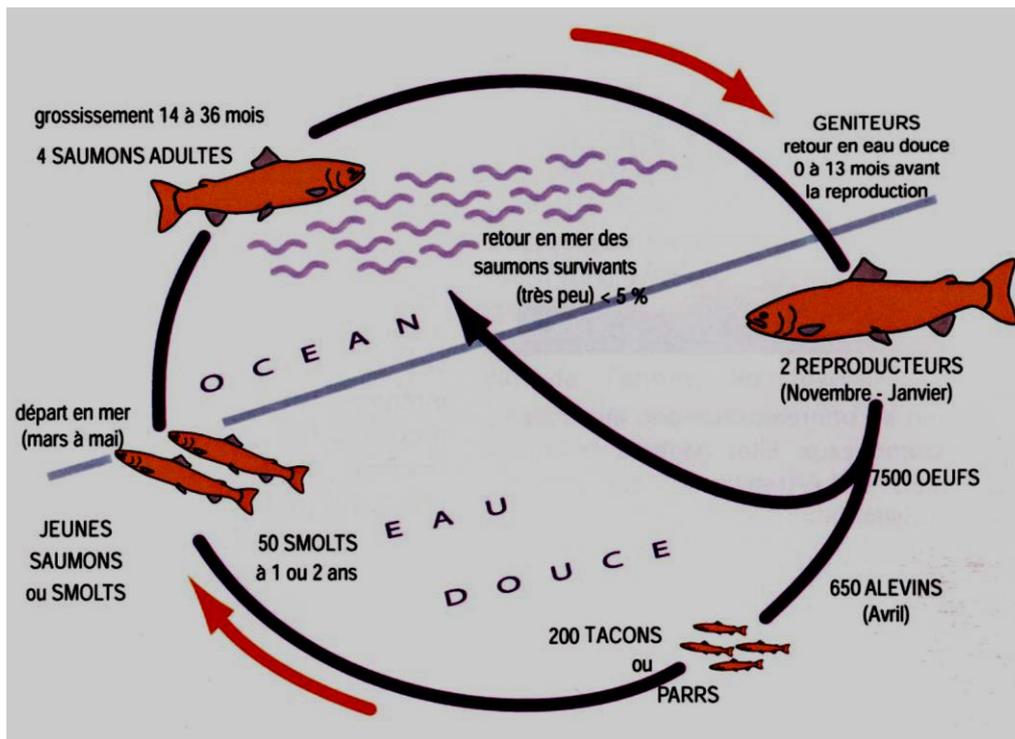


Figure 2 : Le voyage périlleux des poissons grands migrants dans la Meuse. APAMLg asbl, Liège, Philippart, J.-C. (2005).

1.3. Distribution géographique

L'espèce *Salmo salar* est bien répandue dans le monde particulièrement dans les régions européenne et Américaine. De par le passé, elle couvre les pays baignés par l'océan Atlantique nord (Aas et al., 2010). Il s'agit des côtes européennes le Portugal et le golfe de Gascogne constituant sa marge Sud ; les côtes Nord-Est américaines, le Canada et la côte Nord des États-Unis. Elle s'étend également à la mer baltique en se prolongeant jusqu'à la péninsule de Kola (Russie) (Mocq, 2013). Espèce amphihaline anadrome, les saumons adultes atteignent leur maturité en mer et entament une migration de reproduction dite de montaison vers les cours d'eau douce des eaux froides et tempérées où ils sont nés. Ils arrivent dans les zones de frayère à la fin de l'automne (Malbrouck et al., 2007). Il existe aussi des populations de saumons qui ne font pas la migration (non anadromes) passant leur cycle de vie entièrement en eau douce. Ces populations seraient apparues durant les ajustements isostatiques des côtes après la fin de la dernière glaciation (Buoro and Prévost, 2018; Klemetsen et al., 2003).



Figure 3 : voies migratoires du saumon atlantique (ASF, 2000)

1.4. Etat des lieux du stock du saumon atlantique

La révolution industrielle du 18^{ème} siècle et les activités de pêches ont considérablement impactées le stock des saumons dans les écosystèmes aquatiques des pays du Nord. Cette perturbation se note principalement par la diminution voire l'extinction de plusieurs populations de saumon dans les secteurs méridionaux côtiers de l'océan atlantique (Philippart et al., 2014; VanderZwaag et Pudden, 2011). Aux Etat Unis, des populations ont été également éteinte dans cette zone méridionale de distribution de l'espèce et d'autres présentes au Maine demeurent sous le statut de "En danger " depuis 2002 (ICES, 2007). Bon nombre de fleuves sur le continent Européen, comme la Seine (France), le Rhin (Allemagne) et la Tamise (Angleterre), ont été parmi les premiers à perdre leurs populations de saumon compte tenu des aménagements des fleuves, de la construction des barrages, des rejets des eaux industrielles et domestiques (Monnerjahn, 2011). La situation des stocks de saumons dans le monde au début des années 1990 était très peu connue ou sous-évalué, néanmoins les rapports faisant déjà état de 19 pays en 2001 disposant encore de rivières à saumon où l'état des populations pourrait être établi pour 2005 (WWF, 2001).

En 2005 sur le continent Européen, seulement quelques populations de saumon sont encore présentes dans certains fleuves de la France et de la côte nord de l'Espagne. En Belgique jusqu' en 1840, le saumon est encore présent dans le bassin jusqu'à la hauteur de Monthermé en France. En Belgique, le déclin du stock de saumon a commencé vers les années 1885. Toutefois, à la fin du 19^{ème} siècle, la capture de saumon était estimée entre 21600 – 104000 individus par année dans le Rhin et la Meuse Hollandaise (Malbrouck et al., 2007). Les derniers individus de la souche mosane sont capturés à Visé dans les années 1940 (Philippart et al., 2014). (Philippart

et al., 2016). Aujourd'hui, le projet appelé « Meuse Saumon 2000 » et dorénavant renommé « Saumon Meuse » initié depuis 1987 pour le retour du saumon dans la Meuse est toujours à pied d'œuvre pour la reconstitution d'un nouveau stock en Belgique.

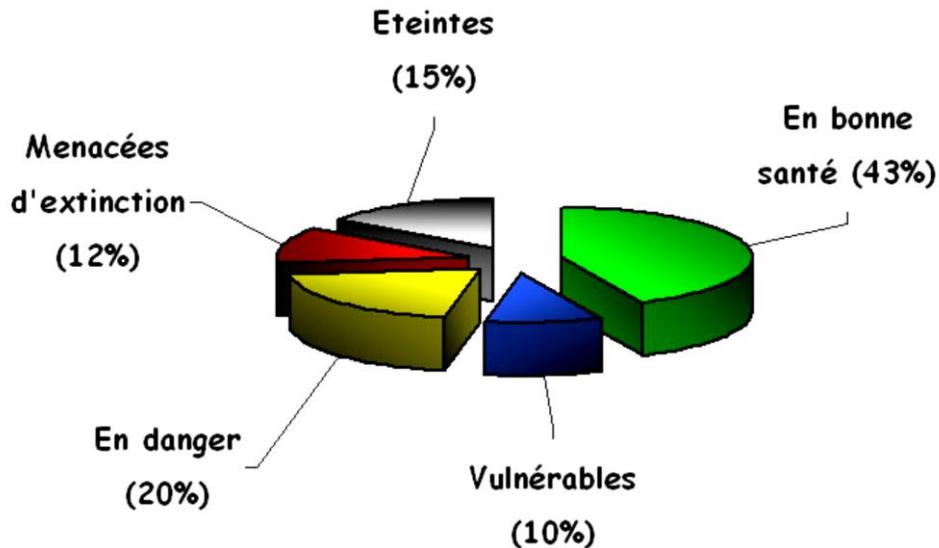


Figure 4 : Statut de conservation des populations de saumon dans 2005 cours d'eau à saumon (d'après WWF, 2001)

1.5. Mesure de restauration du Saumon ‘Projet Saumon Meuse’

Le Saumon est une espèce emblématique très appréciée par les consommateurs. Il est surnommé le Roi des poissons d'eau douce car c'est un poisson qui vit dans des zones propres de très bonne qualité (Malbrouck et al., 2007; Philippart et al., 2014). Sa disparition des eaux européennes a été un signal fort pour l'ensemble des parties prenantes qui sont les gouvernements, les scientifiques, les environnementalistes de même que les riverains. Afin de rétablir l'équilibre écologique de ces écosystèmes, les actions de restauration et de réintroduction de saumon dans les bassins hydrographiques sont lancées dans beaucoup de pays européens et des États-Unis (Monnerjahn, 2011). Mais avant d'entreprendre toute action, il faut s'assurer en premier lieu de la qualité physico-chimique des écosystèmes devant accueillir les jeunes individus de saumon. Les mesures d'aménagement et de restauration en Belgique ont permis une amélioration de la qualité des eaux de la Meuse dans les années 1980. Suite à cette amélioration, une autre espèce de salmonidés migrateurs qui est la truite de mer a recolonisé la Berwinne à la frontière Belgo-hollandaise (Malbrouck et al., 2007). Ce retour de la truite a été l'effet déclencheur de la mise

en place du Projet Saumon Meuse. Ce projet est issu de la collaboration entre les équipes des facultés universitaire Notre Dame de la Paix de Namur, de l'Université de Liège et du service de la pêche de la région Wallonne. La mise en œuvre de ce projet a conduit à l'amélioration de la libre circulation des poissons à travers la mise en place de passes de migration de montaison et de dévalaison fonctionnelles et adaptées aux grands migrateurs dans le bassin de la Meuse tant sur le territoire belge qu'Hollandais. Parallèlement à cela, des campagnes de repeuplement sont organisées chaque année principalement sur le bassin de l'Ourthe. Pour ses rempoissonnements, principalement des alevins de souche française (Loire Allier) sont utilisés. Les efforts consentis par ce projet ont porté ses fruits en 2002 avec le retour de 13 saumons adultes en migration de reproduction. Depuis lors des suivis réguliers sont fait chaque année afin de suivre le mouvement du saumon sur différentes rivières wallonnes (figure 5). En vue de pérenniser les actions d'empoissonnement et disposer de ses propres alevins, le projet a installé une unité de production de saumons et ce, en vue de proposer une souche mosane et éviter toute dégénérescences génétiques au sein des populations repeuplées. Il s'agit de la salmoniculture Erezée qui est la cheville ouvrière de ce vaste programme de rempoissonnement des rivières wallonne et de manière générale la réhabilitation de l'espèce en Belgique.

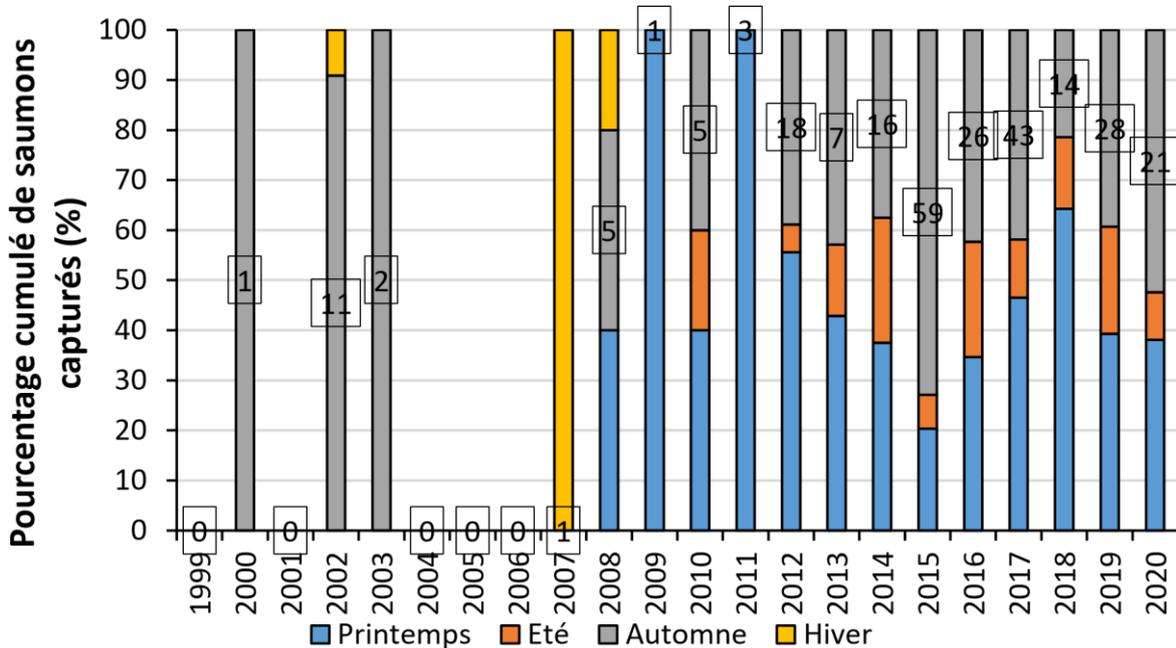


Figure 5 : Evolution annuelle du pourcentage cumulé de captures de saumon par an selon la saison (Benitez et al., 2019)

1.6. Potentiels difficultés du retour du saumon dans les rivières Wallonnes

Le projet ‘Saumon Meuse’ depuis son lancement a réalisé de grands travaux. Ces derniers s’inscrivent dans la perspective de faciliter la libre circulation du saumon mais par la même occasion celle de toutes les espèces et ceci, à travers le réaménagement et la construction des passes à poissons au niveau des barrages de la Meuse (Malbrouck et al., 2007). Il effectue chaque année de nombreux déversement (milliers de jeune saumon) dans la Meuse et ses affluents (Benitez et al., 2020, 2019). Mais malgré tous ces efforts consentis, le retour des saumons reste encore faible au vue des investissements réalisés pour ce projet (Benitez et al., 2019). Ce faible retour de Saumons dans la Meuse est lié à plusieurs autres paramètres. Au nombre de ses paramètres, on note le faible taux de survie des jeunes saumons déversés dans les rivières dû à un certain nombre de conditions à savoir: la prédation des ichtyophages, le retard dans l’adaptation à leurs nouveaux habitats, les ressources alimentaires limitée, la vitesse et l’intensité de la dérive et la perturbation ou la perte du réflexe de fuite en face d’un prédateur (Orlov et al., 2006; Rodewald et al., 2011; Weber et al., 2014). La difficulté de franchissement des passes à poissons pour les tacons lors de la dévalaison reste un obstacle potentiel. Sur la Meuse en Belgique, on dénombre au total 16 passes migratoires sur seulement cinq sont des passes modernes, de bonnes attractivités et dont le dimensionnement convient aux poissons migrateurs dont le Saumon (Malbrouck et al., 2007).

1.7. Problématique et objectif de l’étude

Au vue des retours d’adultes relativement faibles et fluctuants d’une année à l’autre, il semble totalement judicieux d’identifier le potentiel d’une ou plusieurs rivières d’empoissonnement afin d’optimiser leur chance de survie et de descente vers la mer. Pour cela, l’évaluation des ressources alimentaires disponibles et leur caractérisation avant le déversement des AEVR semble être pertinent. C’est dans cette optique que Otjacques et al. (2011) a évalué le potentiel d’accueil du Samson et de l’Ourthe en alevins de saumon sur la base de leur ressource alimentaire disponible. Quant au fitness des alevins, il a été évalué par Erraud (2019, 2020) et approfondie par Degila (2020) dans six affluents mosans dont la Berwinne. Les tacons ayant survécu à l’entame de la migration se voit ensuite parcourir de grande distance et franchir un nombre important de passes migratoires. Parmi toutes les rivières accueillant des jeunes saumons la Berwinne offre un avantage considérable comparativement aux autres. Il s’agit de sa proximité du dernier barrage de la Meuse en Belgique celui de Lixhe. Non seulement cela, elle est celle qui a donné naissance au projet ‘Saumon Meuse’. En dehors des données sur la

ressource alimentaire et le fitness des AEVR et tacons collectées par Degila (2020) seulement sur une station de la Berwinne il urge de réaliser une étude globale sur le potentiel de cette rivière pour accueillir davantage des jeunes saumons. C'est dans cette perspective que s'inscrit cette étude dont l'objectif principal est d'évaluer le potentiel de la Berwinne en tant que rivière d'empoissonnement et suivre le fitness des alevins émergeant déversés dans cette rivière. De façon spécifique, il s'agit dans un premier temps de caractériser les ressources alimentaires suivant les zones de déversement puis dans un second temps évaluer une survie estimée, la croissance et l'allométrie des poissons et enfin de déterminer leur comportement alimentaire dans le milieu.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Choix et localisation des stations

Ce travail a été réalisé sur la rivière Berwinne. La Berwinne est un affluent direct de la Meuse à la limite de la frontière Hollandaise. Elle est située à l'Est de la Belgique entre Liège et Maastricht (Zone Néerlandaise) avec une longueur inférieure à 30Km.

Au total 4 secteurs ont été définis pour le déversement des AEVR. Ils ont été choisis de l'Aval vers l'Amont sur une longueur d'environ 14 km suivant les caractéristiques hydrologiques spécifique à l'habitat des saumoneaux qu'est la vitesse d'écoulement et les substrats des zones de radiers. Plusieurs radiers constituent un secteur et varie entre 14 et 22 radiers sur l'ensemble des secteurs. Pour chaque radier, la longueur et la largeur ont été mesurées en vue de la détermination de leurs surfaces. La figure 6 ci-dessous présent des différents secteurs et radiers de déversement des AEVR.



Figure 6: Localisation GPS des radiers par secteurs sur la Berwinne

2.2. Déversement des AEVR dans la Berwinne

Les AEVR (*i.e.* alevins émergents à vésicule résorbée) de ce travail étaient issus de la souche Loire Allier et provenaient tous de reproductions effectuées à la salmoniculture d'Erezée (CosMos). Pour l'ensemble des secteurs 62541 AEVR d'un poids moyen de 0,20g soit 15747, 15604, 15153 et 16037 respectivement pour les secteurs 1, 2, 3 et 4 ont été repeuplés le 11 avril 2022 dans le secteur 4, le 15 avril 2022 dans le secteur 3 et le 19 avril 2022 dans les secteurs 1 et 2.

Le transport des alevins de la salmoniculture jusqu'à la zone de déversement, a été effectué dans des sacs plastiques remplis au tiers d'eau de la salmoniculture et gonflés à l'oxygène. Du CosMos jusqu'au déversement, la durée du transport n'excédait pas 2 h. Une fois sur le terrain, les sacs ont été directement plongés pendant quelques minutes dans la rivière afin de permettre leur bonne acclimatation à la température après le déversement. Les contenues des sacs ont été répartis entre deux (02), trois (03) ou quatre (04) radiers en fonction de leurs surfaces.

2.3. Caractérisation des stations

Pour chaque secteur, l'oxygène dissous (O_2), le pH, la vitesse du courant et la température de l'eau ont été mesurés au point du déversement des jeunes saumons (Tab 2). La vitesse du courant a été mesurée à l'aide d'un courantomètre Flow-Mate TM (FlowTronic) au milieu de la colonne de l'eau pendant 30 secondes. Par ailleurs, la variation de la température de l'eau a été suivie toutes les 6 heures durant l'expérimentation à l'aide de thermo boutons 21G (BPI instruments).

Pour la granulométrie, la méthode décrite par Wolman, (1954) a été utilisée. Il s'agit de parcourir une surface de la station composée de graviers en marchant à petits pas et en dents de scie d'une extrémité latérale à l'autre. À chaque pas effectué, la première pierre située juste devant l'opérateur et au bout de sa botte était prélevée en regardant ailleurs. Cette opération a été répétée de manière à ramasser 100 particules au minimum en parcourant toute la surface de la zone étudiée (*i.e.* les pas de marche étaient adaptés à l'importance de la surface d'étude). Dans le cas de notre étude, les données ont été collectées par secteur où un ou deux radiers sont choisis au hasard pour les mesures granulométriques. Cette opération avait pour but d'identifier la variation de la structure granulométrique de la Berwinne de l'amont vers l'aval et évaluer son impact probable sur la dynamique des saumoneaux. Dans cette évaluation, 100 pierres ont été collectées par station, et l'axe b (*i.e.* largeur) (Figure 7) de chacune d'elle a été mesuré à

l'aide d'un pied à coulisse. L'échelle granulométrique de Wentworth, (1922) modifiée par Malavoi et Souchon, (2002) a été utilisée pour classer les substrats (Tab 2). Ainsi, 9 classes ayant pour bornes inférieures 0,5 ; 2 ; 8 ; 16 ; 32 ; 64 ; 128 ; 256 et >1024 mm ont été constituées. Grâce à la fréquence d'occurrence de chaque classe, une courbe granulométrique a été tracée et les percentiles granulométriques associés ont été déterminés. Le percentile P_n étant n % des particules de diamètre inférieur ou égal à la valeur du percentile considérée en millimètre.

Dans cette expérimentation, les percentiles (ou fractiles) les plus courants : P_5 , P_{10} , P_{16} , P_{25} , P_{50} , P_{75} , P_{84} , P_{90} et P_{95} et les paramètres graphiques tels que : la médiane (M), la moyenne (\bar{Y}), l'écart-type (σ), l'asymétrie et l'acuité ont été calculés. L'estimation des paramètres graphiques a été effectuée après avoir converti les percentiles en unité phi (Φ). Cette conversion est faite par la formule logarithmique $\log_2 d = (\ln d) / \ln 2$, où d correspond à une dimension donnée en mm (Losson and Corbonnois, 2006). Ensuite les formules d'Inman, (1952) ci-dessous ont été appliquées :

- Médiane (M) : P_{50}
- Moyenne (\bar{Y}) : $(P_{16} + P_{84}) / 2$
- Écart-type (σ) : $(P_{84} - P_{16}) / 2$
- Asymétrie ; elle permet de classer les fines particules par rapport aux grosses particules :
 - A1 : $(\bar{Y} - M) / \sigma$; A1 se concentre sur la partie centrale de la distribution.
 - □ A2 : $(P_5 + P_{95} - 2 * M) / (2 * \sigma)$; A2 se focalise sur les extrémités de la distribution.
- Acuité : $(P_{95} - P_5 - 2 * \sigma) / (2 * \sigma)$; elle étudie l'aplatissement d'une dispersion.

Tableau 1: Valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques et de la vitesse de l'eau par station d'étude.

Berwinne	température (°C)	pH	Vitesse (m/s)	NO₂ (mg/l)
secteur 1	17,51	7,92	0,25	0,5
secteur 2	16,95	7,6	0,28	0,5
secteur 3	16,79	7,6	0,36	0,5
secteur 4	16,71	7,6	0,34	0,5

Tableau 2: Echelle granulométrique de Wentworth (1922) modifiée dans Malavoi et Souchon (2002)

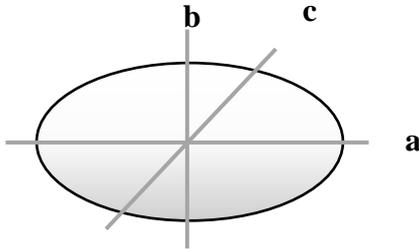


Figure 7 : schémas indiquant l'axe de Mesure de la granulométrie d'une pierre. Axe b : axe perpendiculaire à la longueur de la pierre (axe a et à son épaisseur (axe c)

Nom de la classe granulométrique	Classes de taille (diamètre en mm perpendiculaire au plus grand axe)	Code utilisé
Rochers	> 1024	R
Blocs	256-1024	B
Pierres Grossières	128-256	PG
Pierres Fines	64-128	PF
Cailloux Grossiers	32-64	CG
Cailloux Fins	16-32	CF
Graviers Grossiers	8-16	GG
Graviers Fins	2-8	GF
Sables Grossiers	0,5-2	SG
Sables Fins	0,0625-0,5	SF
Limons	0,0039-0,0625	L
Argiles	< 0,0039	A

2.4. Caractérisation des Ressources alimentaires de la Berwinne

2.4.1. Echantillonnage des macroinvertébrés

La collecte des données sur les macroinvertébrés a été réalisée les 16, 17, 22 et 23 mai 2022 soit un peu plus d'un mois après le déversement des alevins dans les secteurs. Dans chaque secteur, l'échantillonnage ont été fait de deux manières en fonction de l'habitat des macroinvertébrés (*i.e.* benthiques ou dérivants). Au total cinq (05) prélèvements ont été réalisés soit trois (03) pour les benthiques et deux (02) pour les dérivants dans chaque secteur. Les échantillons ont été prélevés dans la journée (*i.e.* entre 12h et 15h) en raison du comportement diurne de *S. salar* à cette saison (Fraser et Metcalfe, 1997). Le filet Surber de maille 250 µm muni d'un cadran d'une surface de 0,05 m² a été utilisé pour les divers prélèvements (*i.e.* des macroinvertébrés benthiques et dérivants). Les macroinvertébrés benthiques ont été prélevés sur trois transects (*i.e.* 1/radier) choisis au hasard de l'amont vers l'aval dans chaque secteur. Selon l'ordre de priorité d'échantillonnage correspondant à une habitabilité décroissante, du plus biogène (bryophytes) au moins biogène (surfaces uniformes dures naturelles et artificielles) les MIB ont été récolté(Circulaire DCE 2007/22, n.d.). Lors de la collecte, le cadre du filet était placé sur le fond de la rivière puis le substrat a été frotté pendant 30 secondes de manière à décrocher les macroinvertébrés benthiques qui s'y trouvaient. Avec le courant de l'eau ils sont entraînés dans le filet. Tous les organismes adhérents aux substrats détachés ont été

recupérés avec soin. Le filet a ensuite été délicatement rincé au-dessus d'un bac et les galets inspectés avant une autre utilisation. Pour celui des macroinvertébrés dérivants, les filets ont été posés sur les rives droite et gauche en travers du courant et maintenus durant 2h à 3h en amont au niveau du premier radier de chaque secteur à l'aide des jalons et de grosses pierres. A chaque prélèvement, la vitesse du courant a été relevée au début et à la fin trois fois devant l'entrée du filet afin d'obtenir la vitesse moyenne du courant d'eau durant le prélèvement. Le courantomètre FlowMate (FlowTronic) a permis la mesure de ses données. Le temps et la surface d'entrée du filet ont été également mesurés pour le calcul du volume d'eau filtré.

Les macroinvertébrés ont été conservés dans des boîtes hermétiques et bien étiquetées avec de l'éthanol à une concentration de 70% avant d'être convoyés au laboratoire pour leur identification et quantification.

2.4.2. Indentification et quantification des macroinvertébrés

De retour au laboratoire, la nature du substrat de chaque prélèvement a été déterminée. Chaque échantillon a été lavé dans une colonne de deux tamis superposés de 0,63 mm et de 1 mm de maille ; le tamis aux fines mailles étant en dessous (Figure 8). Ensuite, les refus de chaque tamis ont été renversés l'un après l'autre dans des bacs de tri différents. Grâce à un peu d'eau sous pression, les organismes adhérents aux tamis ont été décollés. La durée du tri des organismes a été fixée selon la nature du substrat déterminé et suivant les recommandations du Circulaire DCE (2007) (Annexe 1). Afin de bien trier les organismes, les durées maximales ont été retenues pour chaque type de substrat. Le tri proprement dit des macroinvertébrés a été ensuite effectué à tour de rôle dans les bacs. Compte tenu du refus plus important du tamis aux grandes mailles, les 2/3 de la durée recommandée ont été consacrées au tri des organismes de ce tamis ; puis les 1/3 restants pour trier ceux du second tamis. Cette opération a été effectuée à l'aide d'une pince fine et d'un chronomètre. Les organismes triés étaient conservés dans une boîte étiquetée (*i.e.* portant les références du prélèvement correspondant) contenant de l'éthanol (70%). Après cette étape, les organismes ont été ensuite identifiés jusqu'à la famille et comptés grâce à la loupe binoculaire Nikon SMZ 1270. Les stades de développement tels que les larves, les nymphes et les adultes ont été considérés comme différents taxons. Les invertébrés terrestres et les stades aériens des invertébrés amphibiotiques étaient tous regroupés dans la catégorie des organismes terrestres.

Suite aux données collectées les densités benthique (D_b) et dérivante (D_d) sont déterminées grâce aux formules de Johansen et al., (2010) ci-dessous :

- D_b (individus / m^2) = $20 * \sum \bar{Y}_{i/j}$; avec $\bar{Y}_{i/j}$ la moyenne de chaque taxon i dans l'ensemble des prélèvements pour une même station j ; 20 étant le coefficient permettant de multiplier la surface échantillonnée (Surber = 0,05 m^2) pour obtenir une surface de 1 m^2 ;
- D_d (individus / m^3) = $\sum Y_{i/j} / V_j$; avec $V_j = (A_j * T_j * V_c)$. Où $Y_{i/j}$ = nombre d'individus du taxon i dans le prélèvement j rapporté au volume V_j (m^3) filtré. Il est estimé grâce au produit de la surface d'entrée de ce même filet A_j (m^2), au temps d'exposition T_j (s), et à la vitesse du courant d'eau V_c (m/s).



Figure 8 : Identification et quantification des macroinvertébrés. (1) Tamis de rinçage et le bac de tri des macroinvertébrés ; (2) loupe binoculaire Nikon SMZ 1270 ; (3) Clé d'identification.

2.5. Suivi des AEVR déversés dans la Berwinne

La croissance (poids et longueur) des AEVR, leur adaptation aux conditions du milieu et leur comportement alimentaire en fonction des macroinvertébrés disponibles et la concurrence alimentaire avec les autres organismes dans leur milieu seront étudiés dans cette partie. Dans chaque secteur, des pêches électriques sont réalisées sur les trois derniers radiers en aval. Ces pêches électriques sont intervenues deux mois après de déversement et un mois après l'échantillonnage des macroinvertébrés de manière à établir les relations les plus vraisemblables. Cette pêche nécessite un équipement de pêche bien adapter et, celui utilisé dans ce cadre est un Martin-pêcheur, 400V DC et 4A avec les épuisettes et des seaux. La méthode

de capture se déroule comme suit. Une anode balaye une zone de 2 à 3 mètres en avant des épuisettes. Les poissons attirés par l'anode sont recueillis dans les épuisettes grâce au courant de la rivière.

Après chaque passage dans un radier, les poissons capturés sont dénombrés selon les espèces, sur un échantillon de 25 individus, les paramètres morphométriques sont recueilli. Il s'agit de la longueur totale, la longueur à la fourche (au millimètre près) et le poids total (au gramme près). L'identification et le comptage a été réalisés pour les autres espèces capturées dans le radier. Pour l'analyse du comportement alimentaire, un échantillon de 10 individus a été sélectionné au hasard. Une étude du contenu stomacal a été effectué afin de mieux comprendre de quoi se nourrissent les tacons suivant la disponibilité alimentaire dans les différents secteurs de déversement. Une fois séparés, les tacons sont euthanasiés avec de l'eugénol puis conservé sous glace et convoyé au laboratoire où ils sont déposés dans un congélateur avant les observations proprement dite. Pour cette phase, le poids total, la longueur total et à la fourche sont pris de même que le poids total et vide de l'estomac. Les différents taxons de macroinvertébrés ingéré par les tacons sont identifiés et compté.

Les données collectées relatives à cette partie nous permettront de déterminer :

Pour la croissance : le taux de survie des AEVR, leurs taux de croissance spécifique, le coefficient d'allométrie ainsi que le facteur de condition de Fulton. Ils sont déterminés via les formules suivantes :

- Taux de survie (%) = TS (%) = (Densité estimée / Densité initiale) * 100 ;
- Taux de croissance spécifique (%/j) : $SGR = (\ln(\text{poids final}) - \ln(\text{poids initial})) \times 100 / \text{Durée de l'étude}$; avec poids en (g) et Durée en (j) ;
- Coefficient d'allométrie (b) ; elle a été déterminée via la relation $\log(P) = \log(a) + b \cdot \log(L_f)$; avec a = constante, P = poids (g) et L_f = longueur à la fourche du poisson (mm)
- Facteur de condition (K) ; il est calculé par le rapport entre le poids*100 (mg)/la taille expo 3 (mm) ($100 \cdot P / L_f^3$)

Pour le comportement alimentaire : l'abondance numérique d'un taxon %A et l'index de sélection des proies (V) ont été analysés. Pour cela, l'ensemble des macroinvertébrés retrouvés

dans tous les contenus stomacaux d'un même échantillonnage sont additionnés et rapportés permettant ainsi d'obtenir des abondances (Descroix *et al.* 2009).

- $\%A_i = (\sum N_i / \sum N_t) * 100$ avec i = nombre d'individus d'un taxon ; $\sum N_i$ = Nombres total de taxon pour un secteur ; $\sum N_t$ = ensemble des individus tous taxons confondus
- $V = (a_r b_e - a_e b_r) / \sqrt{(a * b * d * e)}$

a_r et a_e = nombre d'un taxon donné dans le régime et dans l'environnement respectivement ; b_r et b_e = nombre de tous les autres taxons réunis dans le régime et dans l'environnement respectivement excepté le taxon étudié ; $a = a_r + a_e$; $b = b_r + b_e$; $d = a_r + b_r$; $e = a_e + b_e$

Cet indice est compris entre -1 et 1 reflétant soit l'inaccessibilité ou l'évitement, soit la préférence. La valeur 0 indique une alimentation aléatoire.



Figure 9 : Matériels de mesure morphométrique : balance électronique (Kern, 0,1g près) à gauche ; Ichtyomètre (mm près) à droite

2.6. Analyses statistiques des données

La présentation des données et les analyses statistiques ont été réalisées avec le tableur Excel 2016 et le logiciel R studio v0.99.903 (RStudio). Le test de ShapiroWilk et le test de Bartlett ont été utilisés pour vérifier la normalité et l'homogénéité avant toute analyse des variances. En fonction de la normalité des données, trois approches statistiques différentes ont été employées : i) une approche non paramétrique avec les tests de somme des rangs de Kruskal et Wallis, suivie de tests post-hoc de Nemenyi (avec le logiciel R) en cas de différences significatives ; ii) une approche non paramétrique avec le test de Wilcoxon-Whitney ; iii) une approche de modélisation linéaire avec tests ANOVA suivie d'une comparaison post-hoc avec le test de Tukey en cas de différences significatives (valeur $p < 0,05$).

3. RESULTATS

3.1. Granulométrie des différents secteurs

La figure 10 présente la plage de tailles des particules collectées dans les différents secteurs. Elles varient entre de 2 mm à 256 mm selon les classes granulométriques et de façon précise de 10,37 mm à 160,29 mm selon des données réelles collectées. Les cailloux grossiers 32 – 64 mm sont généralement les particules les plus rencontrées suivi de ceux entre 64 - 128 dans la Berwinne. Par contre les cailloux de 16 - 32mm sont très présents de l'amont vers l'aval de cette rivière.

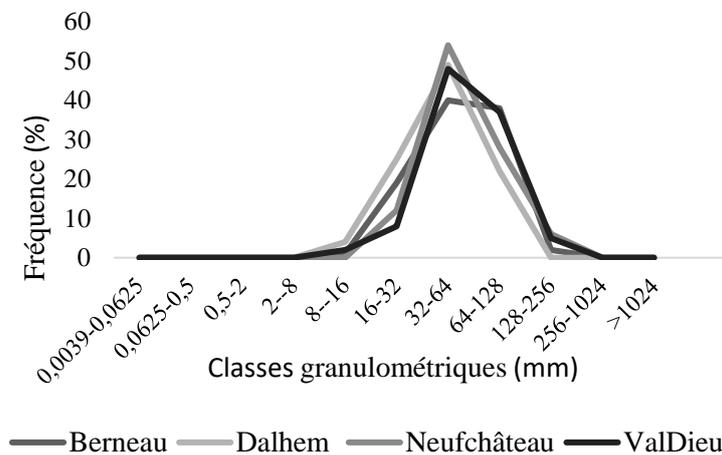


Figure 10: Courbes de fréquence de taille du substrat grossier dans la Berwinne en fonction des secteurs

Le tableau 6 indique une distribution granulométrique presque symétrique des particules (valeurs de l'asymétrie A1 comprises entre -0,1 et 0,1) pour les secteurs 2 et de 4. Par contre, la structure granulométrique de Berneau (secteur 1) est penchée les particules fines (asymétrie A1 comprises entre -0,3 et -0,1) tandis qu'elle tend vers les particules grossières pour le secteur 3 (asymétrie A1 0,1 - 0,3). Au niveau de l'aplatissement, la distribution est très plate pour les secteurs de Berneau et de Dalhem (aplatissement < 0,67), normal pour le secteur de ValDieu (0,90 – 1,11) et pointue pour le secteur de Neufchateau.

Tableau 3 : Résultats de la distribution des particules dans la Berwinne en fonction des secteurs suivant la méthode de Wolman (1954).

Percentile	Berneau	Dalhem	Neufchâteau	ValDieu
P5	21,49	16,57	20,25	19,8
P10	24,04	18,48	29,97	28,2
P16	30,04	23,77	36,84	35,3
P25	39,79	26,94	42,65	42,7
P50	55,92	42,42	51,94	57,8
P75	73,01	61,47	77,73	84,4
P84	79,25	69,36	89,45	91,5
P90	89,9	84,69	109,76	108,1
P95	95,54	95,51	135,87	126,5
médiane	2,52	2,35	2,47	2,54
moyenne	2,44	2,32	2,54	2,53
Ecart-type	0,30	0,34	0,28	0,30
Assymétrie A1	-0,28	-0,08	0,23	-0,04
Assymétrie A2	-0,43	-0,12	0,02	-0,30
Acuité	0,54	0,64	1,15	0,95

3.2. Caractérisation des ressources trophique

Le tableau 7 présente les densités de macroinvertébrés benthiques et dérivants de la Berwinne suivant des différents secteurs de collectes. Dans la Berwinne, les densités moyennes des macroinvertébrés benthique et dérivant sont évaluées à $9740,00 \pm 1786,67$ inds / m² et $1,68 \pm 0,57$ inds / m³. Il n'existe aucune différence entre les densités benthiques des différents secteurs échantillonné (Kruskal-Wallis $p > 0,05$). Par contre au niveau des dérivant, on note une différence significative (Kruskal-Wallis $p < 0,05$). Les figures 11 et 12 montrent une représentation graphique de l'abondance relative des différents taxons de macroinvertébrés présent dans la Berwinne. En sommes 25 taxons sont identifiés pour la partie benthique contre 24 taxons pour la zone dérivante. Les taxons les plus représentés sont les *Simuliidae* (Secteur 1 = 47,21% ; secteur 2 = 30,18%), les *Choronomidae* (secteur 2 = 36,15% ; secteur 4 = 31,1%), les *Elmidae* (larves et adultes : secteur 3 = 23,22% et 13,03%), les *Baetidae* (secteur 3 = 17,48% ; secteur 1 = 16,32% ; secteur 2 = 12,94%), les *Gammaridae* (secteur 4 = 26,16%), les *Ephemeralidae* (secteur 1 = 10,04%) et les *Lumbriculidae* (secteur 4 = 11,42%) pour les MI benthiques (figure 11). Quant aux dérivant, ceux sont les *Baetidae* (secteur 2 = 22,68% ; secteur 1 = 7,85% ; secteur 4 = 7,83%), les *Epherelidae* (secteur 1 = 8,82% ; secteur 2 = 6,49%), et les *Chironomidae* (secteur 1 = 7.97% ; secteur 3 = 7.17%) qui sont les plus représentés. Mais elles

sont dominées par quelques insectes terrestres dont les ordres des Diptères (nymphe : secteur 1 = 17,42% ; secteur 3 = 5,62%) et Adultes : secteur 1 = 73,08% ; secteur 3 = 70,42% ; secteur 2 = 50,99% ; secteur 1 = 30,90%), des Hyménoptères (secteur 1 = 7,49% ; secteur 2 = 6,69%) et des Hémiptères (secteur 2 = 7,70% ; secteur 1 = 6,32%) (Figure 12).

Tableau 4: Densité des macroinvertébrés benthiques et dérivants dans la Berwinne en fonction des secteurs

Densité des Macroinvertébrés		
Berwinne	Benthique (inds / m²)	Dérivant (inds / m³)
secteur 1	10620,00	1,38
secteur 2	7266,67	0,86
secteur 3	12433,33	1,66
secteur 4	8640,00	2,82
Moyenne	9740,00 ± 1786,67	1,68 ± 0,57

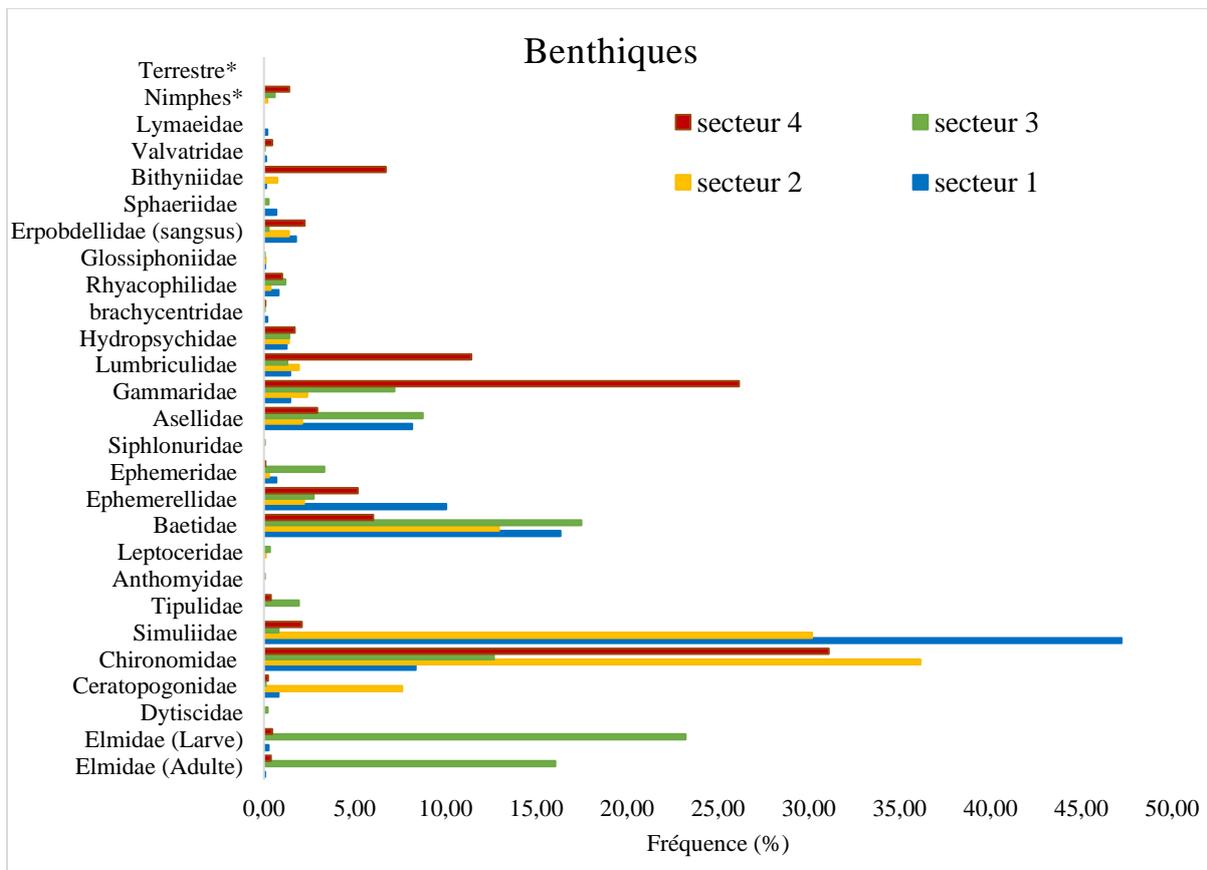


Figure 11: Abondance relatives des taxons de macroinvertébrés benthiques identifié dans la Berwinne en fonction des secteurs

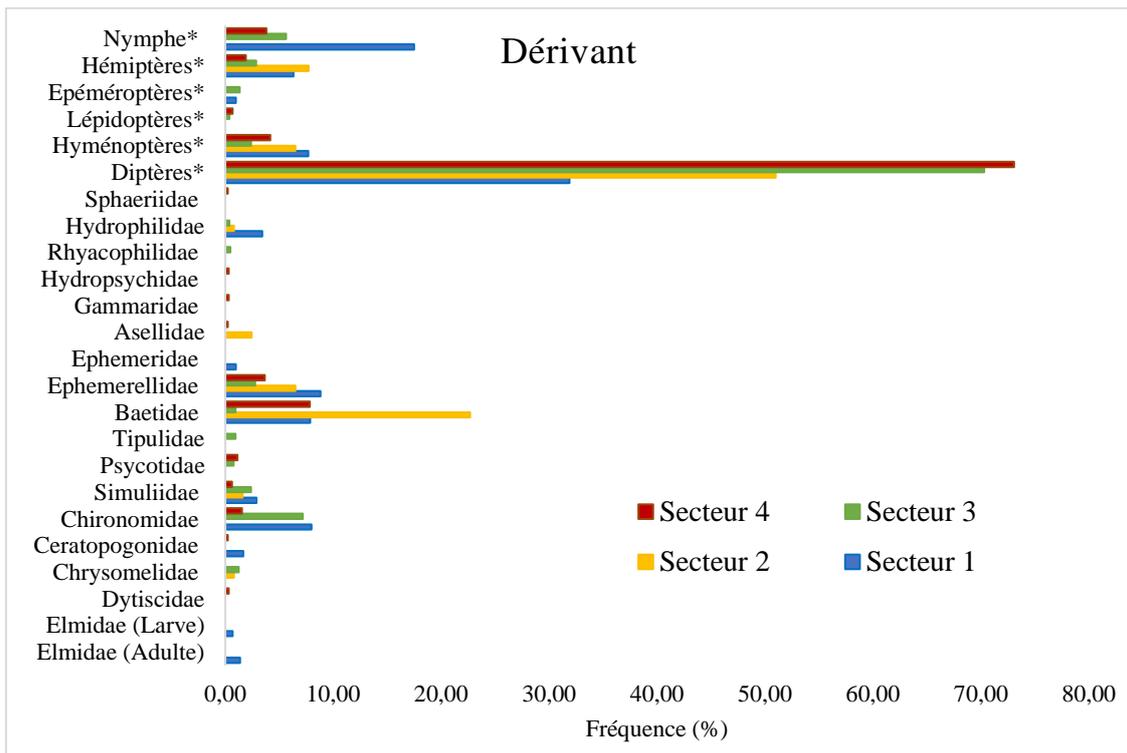


Figure 12: Abondance relatives des taxons de macroinvertébrés dérivant identifié dans la Berwinne en fonction des secteurs

3.3. Performances de survie et de croissances des AEVR déversés dans la Berwinne

3.3.1. Taux de survie et densité des jeunes saumons

La figure13 présente les taux de survie estimés des AEVR repeuplés dans la Berwinne et leurs densités au déversement et deux mois après le déversement en fonction des secteurs. Le taux de survie augmente au fur et à mesure qu'on descend de l'amont vers l'aval de la rivière (0,66% - 6,99%). Une différence significative est obtenue pour la survie ($p < 0,05$). La densité au déversement est différente d'un secteur à un autre (5,94 – 10,03 inds / m²) mais à la pêche de contrôle on note une forte diminution sur l'ensemble des secteurs avec une augmentation de l'amont vers l'aval (0,05 – 0,42 inds / m²)

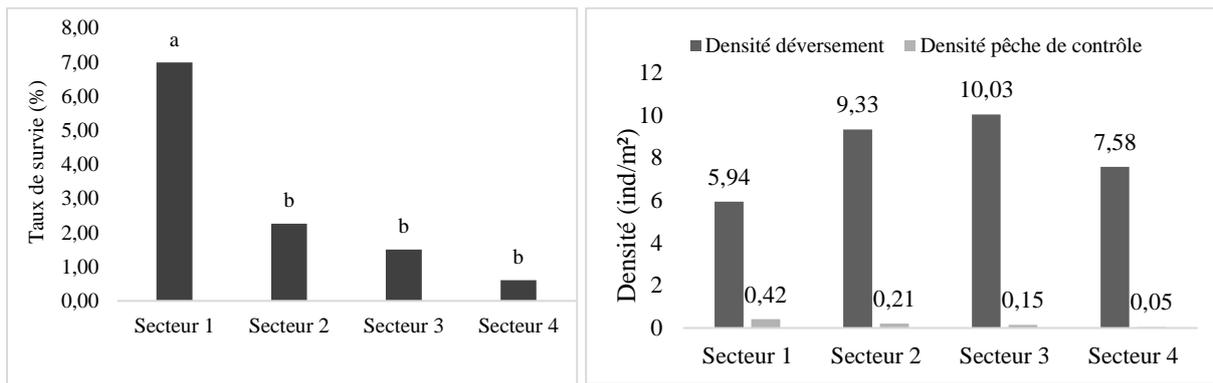


Figure 13: Variation de la Densité et taux de survie des AEVR déversés dans la Berwinne en fonction des secteurs (Secteur 1 le plus en Aval et Secteur 4 le plus en amont)

3.3.2. Ichtyofaune des habitats des AEVR déversés dans la Berwinne

La pêche électrique réalisée a permis de capturer plusieurs autres espèces de poissons qui partage le même habitat avec les tacons dans la Berwinne. En sommes 9 espèces de poissons caractérise la richesse ichtyologique dans cette rivière. Leurs abondances varient de l’amont vers l’aval suivant les secteurs et sont présentés dans le tableau 8. Les espèces endogènes les plus abondantes sont les Chabots suivis des Loches et enfin des Vairons. Quant au saumons. On note une abondance croissante des tacons de l’amont (secteur 4) vers l’aval (secteur 1)

Tableau 5 : Abondance des espèces par secteurs dans la Berwinne

Berwinne	Saumon	Chabots	Loches	Vairons	Ablettes	Truitelles	Cheveines	Vemboise	Pseudo rasbona	Total
Secteur 1	140	127	110	8	17	3	3	1	0	409
Secteur 2	119	373	251	135	11	1	0	0	0	890
Secteur 3	36	368	98	51	0	1	4	0	0	558
Secteur 4	26	122	227	206	0	1	0	0	1	583

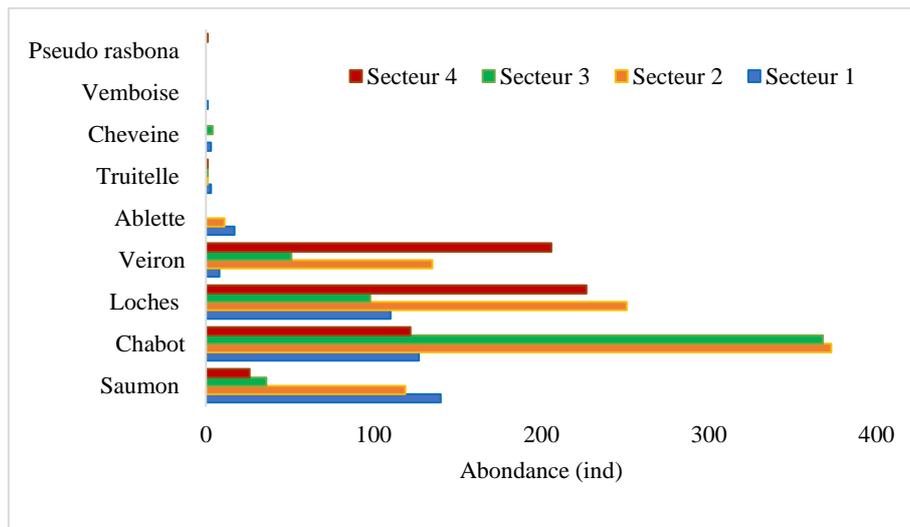


Figure 14 : abondances ichtyologique à la Pêche de contrôle dans les secteurs de déversement des AEVR dans le Berwinne

3.3.3. Taux de croissance spécifique (SGR) des AEVR

Le taux de croissance spécifique des AEVR déversé dans la Berwinne suivant des secteurs est présenté par la figure 15 ci-dessous. Les secteurs 1 et 2 ont les taux de croissance les meilleurs comparativement aux secteurs 3 et 4. Le test ANOVA réalisé montre une différence très significative ($p < 0,001$).

Tableau 6 : Taux de croissance Spécifique moyen et l'écart-type des AEVR en fonction des secteurs de déversement (Secteur 1 le plus en Aval et Secteur 4 le plus en amont)

Berwinne	SGR
Secteur 1	3,82 ± 0,19
Secteur 2	3,78 ± 0,20
Secteur 3	3,30 ± 0,16
Secteur 4	3,02 ± 0,18

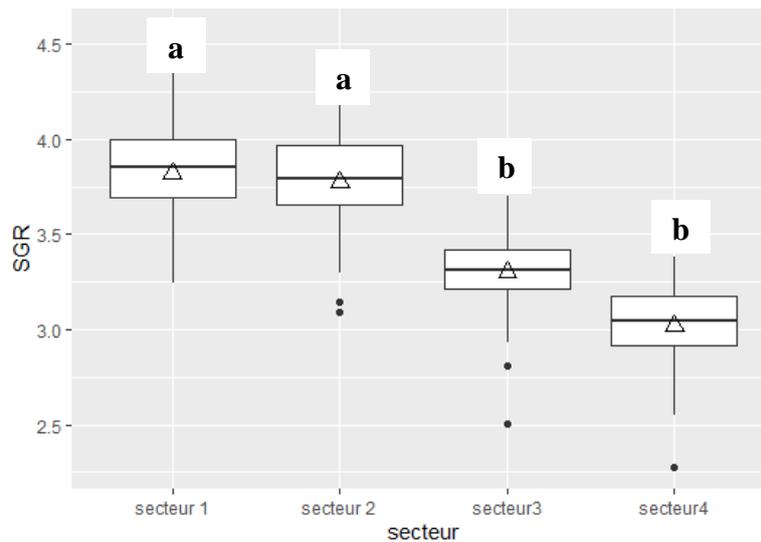


Figure 15 : Taux de croissance spécifiques des tacons de saumon déversés dans la Berwinne suivant les secteurs de déversement (Secteur 1 le plus en Aval et Secteur 4 le plus en amont)

3.3.4. Allométrie des AEVR

Les relations Taille Poids des AEVR deux mois après le déversés dans la rivière de la Berwinne sont présentées par la figure 16. L'ensemble des tacons sur les quatre secteurs présentent une croissance allométrique négative ($b < 3$) ce qui signifie que les poissons grandis plus en taille qu'en poids. Toutefois cette croissance n'est pas la même dans tous les secteurs. Les tacons des secteurs 2 et 4 ont une croissance presque isométrique ($b = 2,89$ et $b = 2,79$) contrairement aux secteurs 1 et 3 où la croissance est systématiquement allométrique négative ($b = 2,23$ et $b = 2,26$).

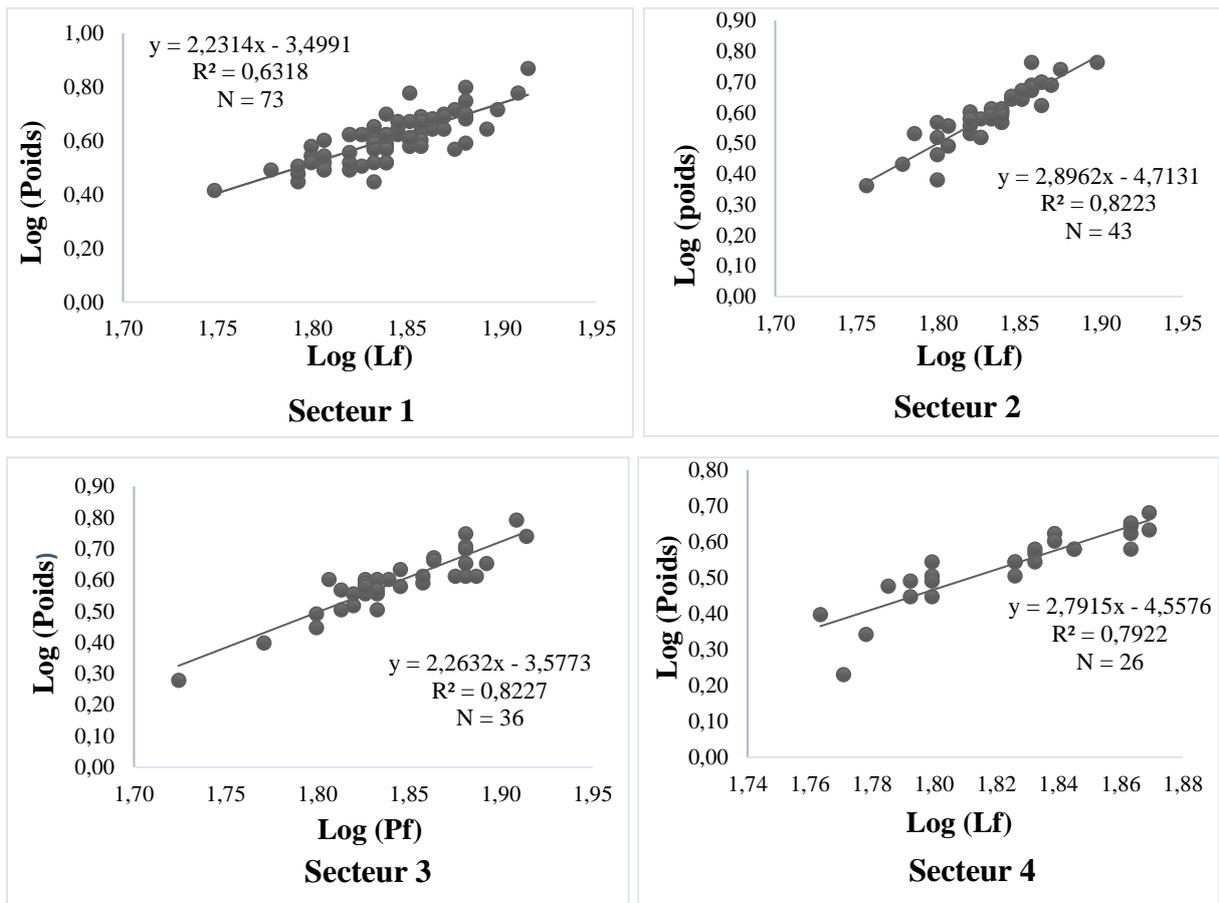


Figure 16 : Relation entre le logarithme du poids et le logarithme de la longueur totale des AEVR

3.3.5. Indice de Fulton (K) des tacons dans la Berwinne

La moyenne et l'écart-type des indices de Fulton (K) calculé pour les tacons capturés dans chaque secteur est présenté dans le tableau 10. La figure 17 donne une représentation de la distribution de K en fonction des secteurs sur la Berwinne. Le test ANOVA ($p = 0.0107$) effectué montre une différence significative entre les indices Les individus des secteurs 1 et 2 ont une adaptation au milieu meilleur que ceux des secteurs 3 et 4.

Tableau 7 : Facteur de conditions des tacons de saumons déversés dans la Berwinne

Berwinne	K
secteur 1	$1,23 \pm 0,12$
secteur 2	$1,25 \pm 0,08$
secteur 3	$1,17 \pm 0,10$
secteur 4	$1,16 \pm 0,09$

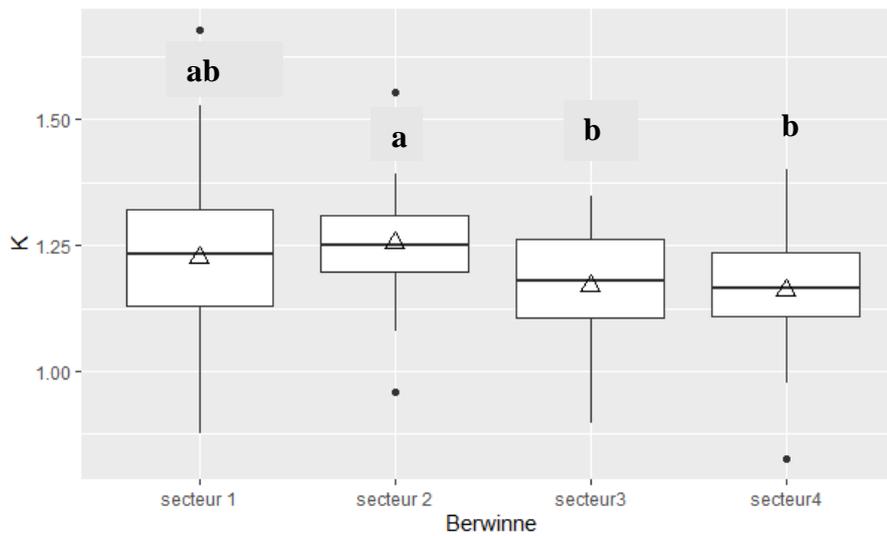


Figure 17 : distribution du facteur de condition (k) des tacons de saumon déversés dans la Berwinne en fonction des secteurs.

3.3.6. Analyse du contenu stomacal et caractérisation du comportement alimentaire des tacons

La figure 18 présente l'abondance des taxons des macroinvertébrés des contenus stomacaux des tacons de saumons suivant les différents secteurs dans la Berwinne. La figure 19 quant à elle présente l'index de sélection alimentaire des tacons de saumon en fonction des macroinvertébrés disponible dans leurs habitats. A l'issue des analyses stomacales et de l'index de sélection, on constate que les tacons de saumon ont un comportement alimentaire bien spécifique. En somme, quatre (04) taxons sont les plus consommés par les saumoneaux. Il s'agit des *Hydropsychidae* (larves : secteur 3 = 42,86% ; secteur 2 = 26,32% ; secteur 1 = 14,85% et adultes : secteur 4 = 15,63% ; secteur 3 = 14,28%), des *Baetidae* (secteur 4 = 56,25% ; secteur 2 = 43,61% ; secteur 1 = 36,43% ; secteur 3 = 17,46%), des *Simuliidae* (secteur 1 = 31,68% ; secteur 2 = 9,77%) et des *Chironomidae* (secteur 2 = 12,03% ; secteur 4 = 9,37%) et sur les diptères terrestres (secteur 4 = 10,94%). La figure 19 ci-dessous représente l'index de sélection des tacons de façon générale dans la Berwinne ceci nous donne une précision sur le caractère sélectif des tacons de leurs proies sur la base de la densité et la disponibilité de ces dernières dans leur milieu. Il s'agit notamment des *Hydropsychidae*, les Diptères les *Baetidae* et les *Rhyacophilidae*.

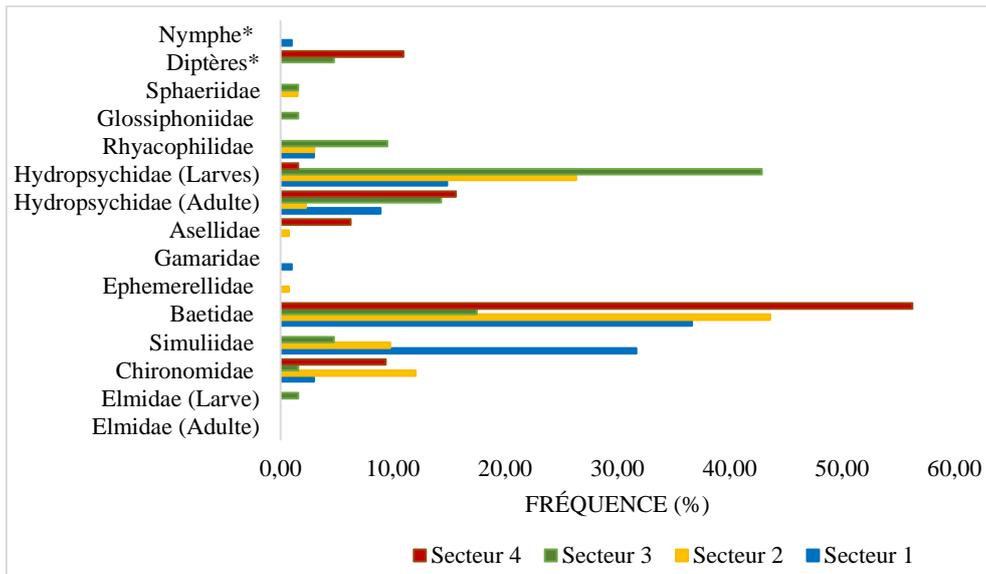


Figure 18 : Abondance relative des taxa dans les contenus stomacaux des tacons en fonction des secteurs

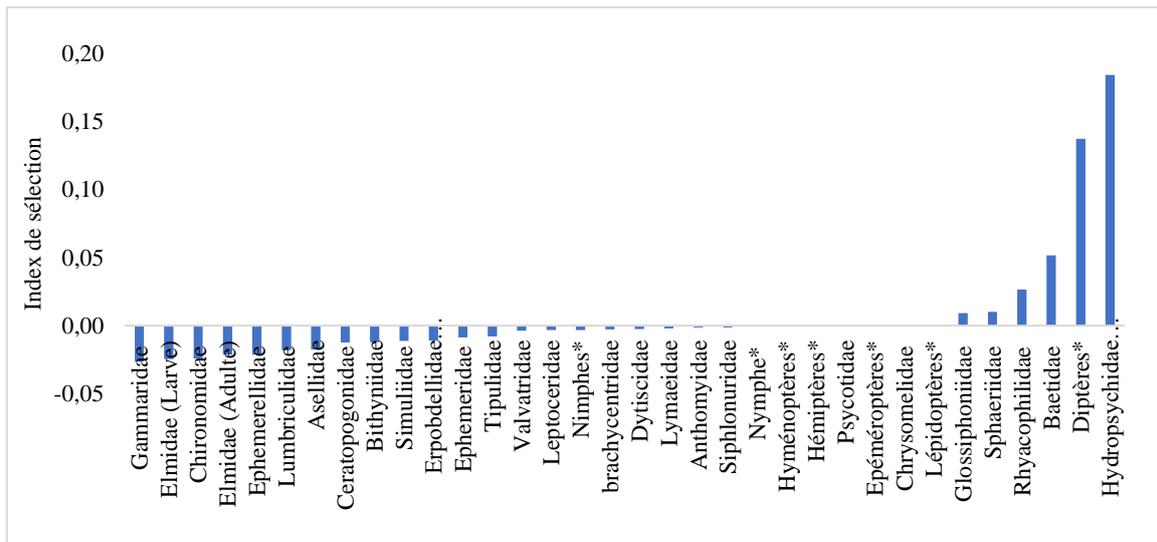


Figure 19 : Index de sélection des taxa chez les tacons dans la Berwinne

4. DISCUSSION

L'évaluation du potentiel actuel de la Berwinne, une rivière à saumon pour l'avenir des AEVR déversés se caractérise par la dynamique écologique qu'offre ce milieu pour la survie et le développement de ces derniers en son sein. Cette dynamique écosystémique s'observe par un habitat bien adapté, une bonne richesse alimentaire suffisante, disponible et accessible. Pour les alevins de saumon, la taille des substrats est un facteur très important pour leur survie ((WWF, 2001). L'analyse granulométrique de la Berwinne à travers les secteurs de déversement des AEVR a permis de mieux caractériser le substrat de cette rivière à saumon. Les résultats montrent que la Berwinne de l'amont à l'aval est constitué principalement des cailloux grossiers et des pierres fines ce qui correspond bien au préférence minimum pour *S. salar* (WWF, 2001). Ce résultat est similaire à ceux obtenu par Degila (2020) pour six affluents Mosan dont la Berwinne et Octjacques et al (2011) pour l'Ourthe et le Samson. Pour les paramètres de dispersion, l'asymétrie est bonne sur l'ensembles des secteurs mais pour ce qui concerne l'acuité, elle est meilleur au niveau des secteur 1 et 2 que dans les secteurs 3 et 4. Cela explique la variation de la densité de l'amont vers l'aval dans la Berwinne associé à d'autres paramètres¹. Les paramètres abiotiques relevés sont normales et conformes aux exigences des saumoneaux ce qui indique une bonne condition physico-chimique dans la Berwinne (Bardonnnet and Bagliniere, 2000; WWF, 2001).

Les ressources alimentaires de la Berwinne évaluées indiquent une variation de la densité d'un secteur à un autre. La richesse spécifique en macroinvertébrés est estimée à 25 taxa pour le benthique et 24 pour le dérivant. Elle est représentée essentiellement par l'ordres des Trichoptères, des Diptères, des Ephéméroptères, des Amphipodes, des Plécoptères et des Mollusques. Ils constituent les plus important dans l'alimentation du saumon atlantique (Rader, 1997). Les densités de macroinvertébrés (benthiques) obtenues varient entre 7266,67 – 12433,33 ind/m² pour une moyenne de 9740 ind/m² (Tableau 7). Ce résultat est meilleur comparativement de celui obtenu par Degila, (2020) dans la même rivière (*i.e* 3013.33 ind/m²). Par contre il est supérieur à celui obtenu par Weber et al (2014) dans la rivière John Day de l'Orégon aux Etats-Unis. Ce résultat démontre que la Berwinne regorge d'une diversité importante de macroinvertébrés qui profite directement aux jeunes saumons qui y sont déversés. Cela indique aussi une augmentation des ressources alimentaire disponible dans cette rivière. Toutefois il existe une différence significative entre la densité des secteurs. Cette différence peut s'expliquer d'une part par la méthode de collectes basé sur l'ordre de priorité des habitats

décroissante du plus biogène au moins biogène (Circulaire DCE 2007/22, n.d.) et d'autre part par la prédominance de certain taxon dans les échantillons. C'est le cas au niveau des secteurs 1 et 3 avec une abondance des *Simuliidae* et des *Baetidae* respectivement. La densité des dérivants obtenue dans cette étude (1,68 ind/m³) est supérieur à celles obtenus par Otjacques (2011) (*i.e.* 1,05, 0,5 ind/m³) sur le Samson et l'Ourthe et Degila (2020) (*i.e.* 0,52 ind/m³) sur la Berwinne. D'après plusieurs auteurs, la dérive est d'habitude plus importante la nuit que pendant la journée (Elliott, 1973; Weber et al., 2014). Les fortes densités obtenues s'expliquent par la prédominance des insectes terrestre en particulier les Diptères qui font plus de 50% voire 70% dans les collectes. Cette amélioration de la ressource alimentaire dans la Berwinne pourrait être due à l'abondance des matières organiques tout le long de cette rivière.

Les AEVR déversés dans la Berwinne deux mois après présentent un taux de survie très varié selon les secteurs (0,60% - 6,99%). Les taux de survie observés dans les secteurs 3 et 4 (1,50% 0,60%) sont très faible comparativement à ceux par Degila (2020) (*i.e.* 5,59) dans même rivières tandis que celui du secteur 2 (2,26% ;) est similaire à celui de Benitez et al (2020) (*i.e.* 2,7%). Par contre le taux de survie du secteur 1 (6,99%) est bien meilleur que celui de Degila (2020) et Benitez et al (2020). Cette variation de survie constatée dans les secteurs de l'amont vers l'aval peut s'expliquer par la dévalaison des AEVR plus tard vers les secteurs leurs offrant une disponibilité alimentaire mieux adapter du fait que les secteur 3 et 4 sont moins riche en macroinvertébrés adéquat pour leur alimentation (Figure 11, 12). Il pourrait être aussi cause des concurrence alimentaire intraspécifique vue leurs densités au déversement dans ses deux secteurs (3 ; 4) (Figure 13b) (Amundsen et al., 2001; Heland et al., 1995) Les causes des fortes mortalités des saumons après leur repeuplement selon plusieurs auteurs sont essentiellement le retard dans l'adaptation à leurs nouveaux habitats, le régime alimentaire restreint, la territorialité le non ajustement d'un comportement diurne correspondant à l'intensité de la dérive la prédation par des espèces ichthyophages, et l'existence des comportements inappropriés comme la perte du réflexe de fuite en face d'un prédateur (Orlov et al., 2006; Rodewald et al., 2011). En effet cette survie observée dans le secteur 1 et 2 (Figure13a) démontre d'une abondance de ressource alimentaire disponible et accessible pour les jeunes saumons. Cette constatation rejoint l'hypothèse que l'amélioration de la survie chez les poissons repeuplé est conditionné par la disponibilité d'aliment en abondance et de taille adéquate aux organismes (Weber et al., 2014). La croissance des tacons ayant survécu est de type allométrique négative ($b < 3$). Ce qui indique que les jeunes saumons croient plus en taille quand en poids. D'après

Micha (1973) un coefficient b inférieur à 3 indique une meilleure croissance. Toutefois cette croissance proche de 3 pour les secteurs 2 et 4 (2,89 ; 2,79) traduit un bon développement des Tacons contrairement aux secteurs 1 et 3 où elle est faible (2,23 ; 2,27) (Figure 16). Cette observation est identique à celle obtenue par Degila (2020) dans la Berwinne et dans le Samson en 2014 par Philippart et al (2014). Ainsi l'allométrie de poisson dans la Berwinne reste normale. En terme de croissance spécifique, on note clairement un effet lié à la variation de l'abondance et de la qualité des proies pour les saumoneaux. Les secteurs 1 et 2 ont obtenu les meilleurs taux de croissance spécifiques (SGR) comparativement aux secteurs 3 et 4 (Figure 15). Les faibles taux de croissance enregistrés dans les secteurs 3 et 4 trouvent sa réponse non pas dans l'indisponibilité alimentaires mais plutôt dans la concurrence alimentaire des autres organismes aquatique qui partagent la même ressource trophique avec eux. Cette allégation confirme ceux de Weber et al., (2014). Cette effet de concurrence amène ainsi donc les tacons à se retourner vers des proies secondaires beaucoup plus grosses et moins adapté à leur âge. et par conséquent plus difficile pour la digestion (Amundsen et al., 2001; Grant and Weir, 2022) Par ailleurs, l'analyse des contenus stomacaux nous révèle bien d'autre surprise. Il en ressort donc que les tacons ont un comportement alimentaire bien stricte et sont très sélectif en matière de proies. En somme le choix alimentaire des jeunes saumons est principalement portés vers les Baetidae, les Chironomidae et les Simuliidae dans les secteurs où elles sont abondantes et disponible mais en cas de non disponibilité le choix est porté sur, les Hydropsychidae les Rhyacophilidae et les Diptères terrestres (Figure 18). Cette constatation démontre un comportement alimentaire bien sélectif chez les alevins de saumon. Ce résultat confirme ceux obtenu par d'autres auteurs (Descroix et al., 2009; Orlov et al., 2006; Weber et al., 2014) sur le régime alimentaire des jeunes saumons dans les rivières. Enfin l'indice de Fulton traduisant le bien-être et l'adaptation des poissons dans leur milieu calculé pour les tacons est positif (supérieur à 1) (1,17 – 1,27) pour tous les secteurs avec le secteur 2 en tête (Figure 17). Ce résultat est supérieur à ceux obtenu par Phillipart (2014) 1,13 au Pont de Sorinne, 1 au Bois de Gesves et 0,88 à Aval de l'abbaye pour les tacons. par contre il inférieur à ceux de Abba et al., (2010) sur des juvéniles de la truite (*Salmo trutta*) au Maroc. Toutefois ces indices démontrent plutôt la forte capacité d'adaptation des saumoneaux en milieu naturel malgré qu'ils soient issus d'une reproduction artificielle. Ce caractère dénote de la précocité de leur déversement dans cette rivière

Malgré une variation des ressources alimentaires selon le setcuer étudié, des structures granulométriques et de compétition alimentaire, les AEVR déversé dans la Berwinne présentent une très bonne intégration et adaptation dans cet habitat. Cela garantie aux jeunes saumons un avenir meilleur et donne l'espoir d'une nouvelle recolonisation de cette rivière à saumon.

5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette étude est d'une importance capitale car elle nous a permis de connaître avec précision la diversité des macroinvertébrés benthique et dérivant ainsi que leur abondance dans la Berwinne. Elle a permis aussi d'évaluer la survie, la croissance, l'allométrie et les facteurs de condition des AEVR de *S. salar* déversés dans cette rivière. Le comportement alimentaire des jeunes saumons analysé nous a confirmé le caractère très sélectif des alevins. En somme il faut noter que la Berwinne dispose d'une structure granulométrique adéquate, présente un état biologique et physico-chimique acceptable permettant une bonne survie et une bonne croissance des jeunes saumons avec très bon facteur de condition.

Toutefois, il semble tout à fait judicieux de continuer le suivi des saumoneaux jusqu'à un stade plus avancé compte tenu de la forte concurrence alimentaire avec les autres espèces de la rivière. Ce suivi est en cours de réalisation dans le cadre du projet bien que le temps accordé à ce stage ne permette malheureusement pas de présenter ces résultats. L'estimation globale de la capacité d'accueil réelle en AEVR de la Berwinne sur la base des données collectées dans cette étude pourrait améliorer la survie et la croissance des saumoneaux dans la Berwinne.

6. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aas, Ø., Klemetsen, A., Einum, S., Skurdal, J., 2010.** Atlantic Salmon Ecology. John Wiley & Sons.
- Abba, E., Belghyti, D., Benabid, M., 2010.** Relation taille-poids et coefficient de condition de la truite commune (*salmo trutta macrostigma dumeril*. 1858) de l'Oued Sidi Rachid (Moyen Atlas) Maroc 11.
- Amundsen, P.-A., Gabler, H.-M., Riise, L.S., 2001.** Intraspecific food resource partitioning in Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr in a subarctic river. Aquat. Living Resour. 14, 257–265. [https://doi.org/10.1016/S0990-7440\(01\)01127-5](https://doi.org/10.1016/S0990-7440(01)01127-5)
- Aprahamian, M.W., Martin Smith, K., McGinnity, P., McKelvey, S., Taylor, J., 2003.** Restocking of salmonids—opportunities and limitations. Fish. Res., The Scientific Basis for Management of Salmonid stocks in the British Isles 62, 211–227. [https://doi.org/10.1016/S0165-7836\(02\)00163-7](https://doi.org/10.1016/S0165-7836(02)00163-7)
- Armstrong, J.D., Nislow, K.H., 2006.** Critical habitat during the transition from maternal provisioning in freshwater fish, with emphasis on Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) - Armstrong - 2006 - Journal of Zoology - Wiley URL <https://zslpublications.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1469-7998.2006.00157.x> (accessed 5.19.22).
- Bardonnat, A., Bagliniere, J., 2000.** Freshwater habitat of Atlantic salmon (*Salmo salar*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 10.
- Benitez, J.-P., Dierckx, A., Nzau Matondo, B., Philippart, J.-C., Mandiki, R., Erraud, A., Kestemont, P., Renardy, S., Ovidio, M., 2019.** Rapport de convention sur la Réhabilitation du Saumon Atlantique dans le bassin de la Meuse.
- Benitez, J.-P., Erraud, A., Dierckx, A., Antipine, S., Renardy, S., Nzau Matondo, B., Kestemont, P., Ovidio, M., 2020.** Rapport final annuel 2020 au Service Public de Wallonie (DGARNE/DNF-SP) de la Subvention 2019-2020 relative au suivi scientifique de la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse 130p.
- Buoro, M., Prévost, E., 2018.** Fiche espèce Saumon atlantique (*Salmo salar*) 2.
- Circulaire DCE 2007/22**, n.d. Circulaire DCE 2007/22 du 11/04/07 relative au protocole de prélèvement et de traitement des échantillons des invertébrés pour la mise en œuvre du programme de surveillance sur cours d'eau | AIDA [WWW Document]. URL <https://aida.ineris.fr/reglementation/circulaire-dce-200722-110407-relative-protocole-prelevement-traitement-echantillons> (accessed 8.12.22).

- Degila, D.D.B., Aqua, U. de L.> M. spéc gest ress aqua &, 2020.** Évaluation du fitness du saumon atlantique (*Salmo salar*) repeuplé à deux stades de vie précoces dans six affluents mosans. Université de Liège, Liège, Belgique.
- Descroix, A., Desvillettes, C., Martin, P., Anneville, O., Bec, A., Bourdier, G., 2009.** Feeding, growth and nutritional status of restocked salmon parr along the longitudinal gradient of a large European river: the Allier. *Ecol. Freshw. Fish* 18, 282–296. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2008.00345.x>
- Elliott, J.M., 1973.** The food of brown and rainbow trout (*Salmo trutta* and *S. gairdneri*) in relation to the abundance of drifting invertebrates in a mountain stream. *Oecologia* 12, 329–347. <https://doi.org/10.1007/BF00345047>
- Fleming, I.A., 1996.** Reproductive strategies of Atlantic salmon: ecology and evolution. *Rev. Fish Biol. Fish.* 6, 379–416. <https://doi.org/10.1007/BF00164323>
- Fraser, N.H.C., Metcalfe, N.B., 1997.** The costs of becoming nocturnal: feeding efficiency in relation to light intensity in juvenile Atlantic Salmon. *Funct. Ecol.* 11, 385–391. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.1997.00098.x>
- Grant, J.W.A., Weir, L.K., 2022.** Interspecific competition reduces the performance of Atlantic salmon (*Salmo salar*): implications for restoration programs. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 79, 883–892. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2021-0163>
- Heland, M., Gaudin, P., Bardonnnet, A., 1995.** Mise en place des premiers comportements et utilisation de l'habitat après l'émergence chez les salmonidés d'eau courante. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 191–197. <https://doi.org/10.1051/kmae:1995021>
- Hendry, K., Cragg-Hine, D., 2003.** Ecology of the Atlantic Salmon - IN106 [WWW Document]. Nat. Engl. - Access Evid. URL <http://publications.naturalengland.org.uk/publication/72038> (accessed 5.20.22).
- ICES, 2007.** Report of the Working Group on Working Group on North Atlantic Salmon (WGNAS). International Council for the Exploration of the Sea, Copenhagen.
- Inman, D.L., 1952.** Measures for describing the size distribution of sediments. *J. Sediment. Res.* 22, 125–145. <https://doi.org/10.1306/D42694DB-2B26-11D7-8648000102C1865D>
- Johansen, M., Thorstad, E.B., Rikardsen, A.H., Koksvik, J.I., Ugedal, O., Jensen, A.J., Saksgård, L., Næsje, T.F., 2010.** Prey availability and juvenile Atlantic salmon feeding during winter in a regulated subarctic river subject to loss of ice cover. *Hydrobiologia* 644, 217–229. <https://doi.org/10.1007/s10750-010-0118-x>

- Klemetsen, A., Amundsen, P.-A., Dempson, J.B., Jonsson, B., Jonsson, N., O'Connell, M.F., 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. *Ecol. Freshw. Fish* 12, 1–59. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0633.2003.00010.x>
- Kottelat, M., Freyhof, J., 2007.** Handbook of European freshwater fishes. Publications Kottelat.
- Losson, B., Corbonnois, J., 2006.** Les modes de sédimentation détritique : nouvelle méthode de détermination appliquée à des remplissages endokarstiques. *Geol. Belg.*
- Malavoi, J.R., Souchon, Y., 2002.** Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables en rivière : clé de détermination qualitative et mesures physiques. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 357–372. <https://doi.org/10.1051/kmae:2002040>
- Malbrouck, C., Micha, J.-C., Philippart, J.-C., Ministère de la Région wallonne, 2007.** La réintroduction du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse : synthèse et résultats - Projet Meuse saumon 2000. Service public de Wallonie, Communication Ressources naturelles, Environnement et Agriculture, Namur.
- Mocq, J., 2013.** Modélisation floue de l'habitat du saumon atlantique *Salmo salar*. (phd). Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique, Québec.
- Monnerjahn, U., 2011.** Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.) re-introduction in Germany: a status report on national programmes and activities. *J. Appl. Ichthyol.* 27, 33–40. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2011.01849.x>
- Oliver, G., 1970.** Observations sur quelques poissons des eaux douces et saumâtres des pyrénées-orientales pp.199-207.
- Orlov, A.V., Gerasimov, Y.V., Lapshin, O.M., 2006.** The feeding behaviour of cultured and wild Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in the Louvenga River, Kola Peninsula, Russia. *ICES J. Mar. Sci.* 63, 1297–1303. <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2006.05.004>
- Philippart, J.-C., 2005.** Le voyage périlleux des poissons grands migrateurs dans la Meuse. APAM asbl (Association pour la Promotion de l'Aquarium et du Musée).
- Philippart, J.C., Ovidio, M., Kestemont, P., Bernard, B., Mandiki, R., Evrard, A., 2014.** Convention relative à la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse.
- 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>

- Richard, A., 2012.** Description du système de reproduction du saumon atlantique (*Salmo salar* L.) et impact de la remise à l'eau : une étude moléculaire.
- Rochard, E., Elie, P., 1994.** La macrofaune aquatique de l'estuaire de la Gironde : contribution au livre blanc de l'Agence de l'eau Adour Garonne.
- Roche, P., 1994.** Habitat Availability and Carrying Capacity in the French Part of the Rhine for Atlantic Salmon (*Salmo Salar* L.). *Water Sci. Technol.* 29, 257–265. <https://doi.org/10.2166/wst.1994.0116>
- Rodewald, P., Hyvärinen, P., Hirvonen, H., 2011.** Wild origin and enriched environment promote foraging rate and learning to forage on natural prey of captive reared Atlantic salmon parr. *Ecol. Freshw. Fish* 20, 569–579. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2011.00505.x>
- Valiente, A., Juanes, F., Garcia-Vazquez, E., 2005.** Reproductive strategies explain genetic diversity in Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Environ. Biol. FISHES* 74, 323–334. <https://doi.org/10.1007/s10641-005-1331-8>
- VanderZwaag, D.L., Pudden, E.J., 2011.** The North Atlantic Salmon Conservation Organization (NASCO): Surpassing A 25 Year Voyage In Transboundary Cooperation But Still Confronting A Sea Of Challenges. *Recasting Transbound. Fish. Manag. Arrange. Light Sustain. Princ.* 307–346.
- Weber, N., Bouwes, N., Jordan, C.E., 2014.** Estimation of salmonid habitat growth potential through measurements of invertebrate food abundance and temperature. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 71, 1158–1170. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2013-0390>
- Wentworth, C.K., 1922.** A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *J. Geol.* 30, 377–392. <https://doi.org/10.1086/622910>
- Wolman, M.G., 1954.** A method of sampling coarse river-bed material. *Eos Trans. Am. Geophys. Union* 35, 951–956. <https://doi.org/10.1029/TR035i006p00951>
- WWF, 2001.** The Status of Wild Atlantic Salmon - A River by River Assessment. [WWW Document]. URL https://wwf.panda.org/wwf_news/?3729/The-Status-of-Wild-Atlantic-Salmon-A-River-by-River-Assessment (accessed 6.4.22).

7. ANNEXES

Annexe 1: Seuils des valeurs d'aplatissement (Acuité) et signification (Source : Bunte et Abt 2001 cités par Chapuis 2008)

Valeurs d'aplatissement	Distribution
< 0,67	Très plate
0,67 à 0,90	Plate
0,90 à 1,11	Normale
1,11 à 1,50	Pointue
> 1,50	Très pointue

Annexe 2: Seuils des valeurs d'asymétrie et signification (Source : Bunte et Abt 2001 cités par Chapuis 2008)

Valeurs d'asymétrie	Distribution	
	en Φ	normale
-1 à -0,3	Très asymétrique négativement	Très penchée vers la partie fine
-0,3 à -0,1	Asymétrique négativement	Penchée vers la partie fine
-0,1 à 0,1	Presque symétrique	Presque symétrique
0,1 à 0,3	Asymétrique positivement	Penchée vers la partie grossière
0,3 à 1	Très asymétrique positivement	Très penchée vers la partie grossière

Annexe 3 : caractérisation du comportement alimentaire selon l'index de sélection de Pearre (1982)

Index de sélection	Comportement alimentaire
<-0,5	inaccessibilité ou évitement fort
-0,5 ≤ V ≤ -0,25	inaccessibilité ou évitement marqué
-0,25 < V ≤ -0,10	inaccessibilité ou évitement modéré
-0,10 < V < 0,10	indifférence
0,10 ≤ V < 0,25	préférence modérée

$V \geq 0,25$	forte préférence
---------------	------------------

Annexe 4 : Fréquence relative des macroinvertébrés benthiques dans la Berwinne

Ordre	Taxa	secteur 1	secteur 2	secteur 3	secteur 4
Coléoptère	<i>Elmidae (Adulte)</i>	0,06	0,00	16,03	0,39
	<i>Elmidae (Larve)</i>	0,25	0,00	23,22	0,46
	<i>Dytiscidae</i>	0,00	0,00	0,21	0,00
Diptère	<i>Ceratopogonidae</i>	0,82	7,61	0,11	0,23
	<i>Chironomidae</i>	8,35	36,15	12,65	31,10
	<i>Simuliidae</i>	47,21	30,18	0,80	2,08
	<i>Tipulidae</i>	0,00	0,00	1,93	0,39
	<i>Anthomyidae</i>	0,00	0,00	0,05	0,00
	<i>Leptoceridae</i>	0,00	0,09	0,32	0,00
	<i>Baetidae</i>	16,32	12,94	17,48	6,02
Ephéméroptère	<i>Ephemerellidae</i>	10,04	2,20	2,73	5,17
	<i>Ephemeridae</i>	0,69	0,28	3,32	0,08
	<i>Siphonuridae</i>	0,00	0,00	0,05	0,00
	<i>Asellidae</i>	8,16	2,11	8,74	2,93
Isopodes	<i>Asellidae</i>	8,16	2,11	8,74	2,93
Amphipode	<i>Gammaridae</i>	1,44	2,39	7,18	26,16
Oligochète	<i>Lumbriculidae</i>	1,44	1,93	1,29	11,42
Tricoptère	<i>Hydropsychidae</i>	1,26	1,38	1,39	1,70
	<i>brachycentridae</i>	0,19	0,00	0,05	0,08
	<i>Rhyacophilidae</i>	0,82	0,37	1,18	1,00
Achète	<i>Glossiphoniidae</i>	0,06	0,09	0,05	0,00
Annélides	<i>Erpobdellidae</i> (<i>sangsus</i>)	1,76	1,38	0,27	2,24
Veneroïda (bivalve)	<i>Sphaeriidae</i>	0,69	0,00	0,27	0,00

Gastéropode	<i>Bithyniidae</i>	0,13	0,73	0,00	6,71
	<i>Valvatridae</i>	0,13	0,00	0,05	0,46
	<i>Lymaeidae</i>	0,19	0,00	0,00	0,00
	Nimphes*	0,00	0,18	0,59	1,39
	Terrestre*	0,00	0,00	0,00	0,00

Annexe 5 : Fréquence relative des macroinvertébrés dérivant dans la Berwinne

Ordre	Taxa	Secteur 1	Secteur 2	Secteur 3	Secteur 4
Coléoptère	<i>Elmidae (Adulte)</i>	1,37	0,00	0,00	0,00
	<i>Elmidae (Larve)</i>	0,68	0,00	0,00	0,00
	<i>Dytiscidae</i>	0,00	0,00	0,00	0,31
	<i>Chrysomelidae</i>	0,00	0,81	1,24	0,00
Diptère	<i>Ceratopogonidae</i>	1,65	0,00	0,00	0,22
	<i>Chironomidae</i>	7,97	0,00	7,17	1,54
	<i>Simuliidae</i>	2,90	1,61	2,39	0,62
	<i>Psycotidae</i>	0,00	0,00	0,76	1,12
	<i>Tipulidae</i>	0,00	0,00	0,96	0,00
Ephéméroptère	<i>Baetidae</i>	7,85	22,68	0,96	7,83
	<i>Ephemerellidae</i>	8,82	6,49	2,77	3,66
	<i>Ephemeridae</i>	0,97	0,00	0,00	0,00
Isopodes	<i>Asellidae</i>	0,00	2,44	0,00	0,22
Amphipode	<i>Gammaridae</i>	0,00	0,00	0,00	0,31
Tricoptère	<i>Hydropsychidae</i>	0,00	0,00	0,00	0,31
	<i>Rhyacophilidae</i>	0,00	0,00	0,48	0,00
	<i>Hydrophilidae</i>	3,42	0,81	0,38	0,00
Veneroida (bivalve)	<i>Sphaeriidae</i>	0,00	0,00	0,00	0,22
Terrestre	Diptères*	31,90	50,99	70,32	73,08
	Hyménoptères*	7,69	6,49	2,39	4,17
	Lépidoptères*	0,00	0,00	0,38	0,67
	Epéméroptères*	0,97	0,00	1,34	0,00

	Hémiptères*	6,32	7,70	2,87	1,90
	Nymphe*	17,48	0,00	5,62	3,81

Annexe 6 : fréquence relative des macroinvertébrés dans les contenus stomacaux des Tacons

Taxa	Secteur 1	Secteur 2	Secteur 3	Secteur 4
<i>Elmidae (Adulte)</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Elmidae (Larve)</i>	0,00	0,00	1,59	0,00
<i>Chironomidae</i>	2,97	12,03	1,59	9,38
<i>Simuliidae</i>	31,68	9,77	4,76	0,00
<i>Baetidae</i>	36,63	43,61	17,46	56,25
<i>Ephemerellidae</i>	0,00	0,75	0,00	0,00
<i>Gamaridae</i>	0,99	0,00	0,00	0,00
<i>Asellidae</i>	0,00	0,75	0,00	6,25
<i>Hydropsychidae (Adulte)</i>	8,91	2,26	14,29	15,63
<i>Hydropsychidae (Larves)</i>	14,85	26,32	42,86	1,56
<i>Rhyacophilidae</i>	2,97	3,01	9,52	0,00
<i>Glossiphoniidae</i>	0,00	0,00	1,59	0,00
<i>Sphaeriidae</i>	0,00	1,50	1,59	0,00
Diptères*	0,00	0,00	4,76	10,94
Nymphe*	0,99	0,00	0,00	0,00