

Évaluation du fitness du saumon atlantique (*Salmo salar*) repeuplé à deux stades de vie précoces dans six affluents mosans.

Auteur : Degila, Dèdonougbo Dossou Bodelaire

Promoteur(s) : 8790; 8795

Faculté : Faculté des Sciences

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

Année académique : 2019-2020

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/9805>

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.



UNIVERSITE DE LIEGE

Master de Spécialisation en Gestion des Ressources Aquatiques et Aquaculture (GeRAA)

FACULTE DES SCIENCES

Travail de Fin d'Etudes

Évaluation du fitness du saumon atlantique (*Salmo salar*) repeuplé à deux stades de vie précoces dans six affluents mosans

Rédigé par :

Dèdonougbo Dossou Bodelaire DEGILA

Promoteur :

Prof Patrick KESTEMONT

Encadrant :

Dr Alexandre ERRAUD

Année académique 2019 - 2020

Dédicace

A
mon père Théophile D. DEGILA et ma mère Rébecca DIMON,
mes frères et sœurs Carvalho, Jean-eudes, Shelvis et Thècle,
mes neveux et nièces Exaucée, Déborah et Christ-junior,
et spécialement à ma chérie Baké DJARA.

Remerciements

Mes remerciements vont à l'endroit :

- ✓ de l'Éternel Dieu, le créateur du ciel et de la terre, le détenteur de tout pouvoir, le contrôleur de chacun de nos mouvements, lui qui m'a soutenu, protégé, consolé, fortifié, ranimé jusqu'à ce jour ;
- ✓ d'ARES-CCD pour cette bourse qu'elle m'a été octroyée et de tout son personnel ;
- ✓ des coordonnateurs du Master GeRAA, Profs Patrick KESTEMONT et Charles MELARD pour n'avoir ménagé aucun effort à la réussite de cette formation malgré les perturbations de l'année créées par le Covid-19 ;
- ✓ 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, ses encouragements durant les durs moments et ses conseils forts utiles pour la réussite de ce travail. Ce fut un grand plaisir d'avoir travaillé sous votre responsabilité. Soyez-en remercié ;
- ✓ de Sascha ANTIPINE pour son aide et les bons moments passés ensemble sur le terrain ;
- ✓ de tout le personnel de l'URBE/UNamur pour la bonne ambiance de travail ;
- ✓ de Camille CARPENTIER, pour son aide pendant l'indentification des macroinvertébrés ;
- ✓ 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 2019-2020 ; notamment à Yabi B. AKPATA, Patrick RUGWIRO et Gildas B. AMOUSSOU ;
- ✓ de tout le personnel du LaRAEAq/FA/Bénin ; spécialement au Prof Ibrahim IMOROU TOKO et au Dr Prudencio T. AGBOHESSI, Dr Rodrigue E.O. PELEBE et à Edith YACOUTO ;
- ✓ du doctorant Alexis M.B. HOUNDJI. Merci pour vos conseils, soutiens et encouragements ; surtout pendant les durs moments que j'ai eu à traverser durant cette formation. Puisse Dieu vous bénir et concrétiser vos vœux ;
- ✓ de Mahugnon H.B. VODOUGNON et Scholastique E. GBEDO ; Merci pour vos conseils, soutiens et encouragements ;
- ✓ de mon ami Libéra K. HOUNKPATIN et de sa petite famille, merci pour tout ce que vous avez fait pour moi jusqu'à ce jour. Puisse Dieu vous bénir davantage ;
- ✓ de tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réussite de cette formation et principalement de ce travail.

Résumé

Dans le but d'évaluer le devenir des jeunes saumons introduits précocement dans les rivières affluentes directes de la Meuse, une étude d'une durée de 4 mois a été conduite de mi-avril à mi-août en Belgique. Six rivières (*i.e.* la Berwinne, le Ry d'Oxhe, le Ry de Feron, la Molignée, le Burnot et le Samson) ont été repeuplées avec deux stades de vie précoces du saumon atlantique (*Salmo salar*). Des AEVR (*i.e.* alevins émergeants à vésicule résorbée) de poids moyen 0,20 g et des jeunes tacons de 1,30 g ont été utilisés lors de cette expérimentation. Ils étaient issus de la souche Loire-Allier et provenaient tous de reproductions effectuées à la salmoniculture d'Erezée (CosMos). Pour chaque stade, 12 000 individus (*i.e.* 24 000 au total) ont été utilisés ; soient 4000 AEVR/station et 4 000 tacons/station. La Berwinne, le Ry d'Oxhe et le Ry de Feron ont été repeuplés en avril 2020 avec des AEVR ; alors que le Samson, le Burnot et la Molignée ont été empoissonnées avec des tacons en juin 2020. Au cours de cette expérimentation, le profil de chacune des rivières sélectionnées a été évalué en termes de granulométrie et de ressources trophiques. La dispersion et la distance parcourues par les jeunes saumons ainsi que la survie, la croissance, l'allométrie ont été évaluées. Les résultats montrent que toutes les stations sont principalement composées des cailloux grossiers avec une distribution symétrique dans les trois stations repeuplées avec des AEVR et une tendance vers les particules fines dans celles empoissonnées avec des tacons 0+. Au niveau des macroinvertébrés, les densités (benthiques et dérivantes) sont globalement variables d'une station à une autre. Le benthos était composé de 27 taxa ; alors que 25 taxa étaient présents dans la dérive. Les Baetidae, les Chironomidae, les Ephemerellidae, les Gammaridae et les Simuliidae sont globalement, les principales familles constamment retrouvées. La plupart de ces macroinvertébrés ont une taille adaptée à la bouche des poissons (*i.e.* taille < 1 cm). La dispersion et les distances parcourues sont faibles 1h après le déversement pour les deux stades (12,78±6,81 m pour AEVR et 69,79 ± 14 m pour tacons). Par contre, elles sont importantes et comparables après 2 mois (403,36 ± 149,34 m et 648,37 ± 396,16 m respectivement pour AEVR et tacons). Toutefois la distance séparant le point de déversement et la confluence mosane est un facteur influençant la distance parcourue. Concernant la survie, elle est de 5,59% pour les AEVR et de 4,34% pour les tacons. Au niveau du SGR, il a varié de 2,92 à 4,03%/j chez les AEVR alors qu'il a varié de 1,6 à 2,93%/j pour les tacons. Quant à l'allométrie, elle est de type négatif chez les alevins tandis qu'elle est pratiquement de type symétrique chez les tacons.

En conclusion, les AEVR ont présenté globalement les meilleurs résultats après 2 mois de vie en rivière. Donc il semble plus judicieux de procéder aux repeuplements des 6 rivières, notamment la Berwine, le Ry d'Ohxe et le Ry de Feron avec des AEVR. Toutefois, des tests de nutrition en laboratoire avec des macroinvertébrés les plus disponibles et les plus consommés par les jeunes saumons dans ces rivières s'avèrent indispensables.

Mots clés : Saumon atlantique, repeuplement, macroinvertébrés, Projet Meuse Saumon, dispersion.

Table des matières

Dédicace	i
Remerciements	ii
Résumé	iii
Liste des tableaux	3
Liste des figures	3
1. Introduction.....	4
1.1 Brève présentation du saumon atlantique (<i>Salmo salar</i>)	4
1.2 Répartition géographique	4
1.3 Cycle de vie	2
1.4 État des stocks du saumon atlantique	5
1.4.1 Au niveau Européen	5
1.4.2 Au niveau Belge	5
1.5 Causes du déclin et mesure de remédiation	6
1.5.1 Causes du déclin.....	6
1.5.2 Mesures de remédiation	6
1.6 Repeuplement du saumon atlantique en Belgique.....	6
1.6.1 Définition et types de repeuplement.....	6
1.6.2 Projet " Meuse Saumon 2000"	7
1.7 Problématique et objectifs de l'étude	8
2 Matériel et méthodes.....	9
2.1 Choix et localisation des stations.....	9
2.2 Procédure et périodes de repeuplement en 2020	10
2.3 Caractérisation des stations	11
2.4 Dispersion, survie et état de santé des jeunes saumons	12
2.5 Ressources trophiques	14
2.5.1 Échantillonnage des macroinvertébrés.....	14
2.5.2 Indentification et quantification des macroinvertébrés	15
2.6 Analyses statistiques des données	17
3 Résultats.....	18
3.1 Granulométrie des différentes stations	18
3.2 Dispersion des poissons.....	19

3.3	Performances de survie et de croissances des AEVR et des tacons	22
3.3.1	Taux de survie et densité des jeunes saumons	22
3.3.2	Taux de croissance spécifique (SGR) des jeunes saumons.....	22
3.3.3	Allométrie des AEVR et des tacons	23
3.4	Fréquences et densités des macroinvertébrés benthiques et dérivants	24
3.4.1	Fréquences des macroinvertébrés benthiques et dérivants.....	24
3.4.2	Densités des macroinvertébrés benthiques et dérivants	26
3.4.3	Tailles des macroinvertébrés	27
4	Discussion	29
5	Conclusion et perspectives.....	33
6	Références bibliographiques	34
7	Annexes.....	a

Liste des tableaux

Tableau 1: Caractéristiques des jeunes saumons déversés et coordonnées géographiques des stations en 2019 et 2020.	9
Tableau 2: Valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques et de la vitesse de l'eau par station d'étude.	12
Tableau 3: Echelle granulométrique de Wentworth (1922) modifiée dans Malavoi et Souchon (2002).	12

Liste des figures

Figure 1: Adulte du saumon atlantique (<i>Salmo salar</i>) capturé le 2 mai 2020 à Lixhe. (Crédit: rapport saumon Meuse).	4
Figure 2: Routes de migration et zones d'engraissement des populations mondiales de saumon atlantique. (Source : https://www.researchgate.net).....	2
Figure 3: Cycle de vie du saumon atlantique (<i>S. salar</i>).	4
Figure 4: Male adulte Bécard du saumon atlantique avec les points rouges. (Crédit: rapport saumon Meuse).	5
Figure 5: Bilan des remontées de saumons adultes en région Wallonne entre 1998 et 2018 (Erraud, 2020, non publié).	8
Figure 6: Localisation GPS (en haut) et cartographie (en bas) des déversements d'AEVR et de tacons en 2020.	9
Figure 7: Acclimatation des jeunes saumons avant le déversement. (Crédit : rapport Meuse 2019).	10
Figure 8: Schéma indiquant les axes 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).	12
Figure 9: Photo de la dispersion des saumoneaux juste après leur déversement (Benitez <i>et al.</i> , 2020).	13
Figure 10: Schéma synthétique de la prospection par la méthode de pêche électrique.	14
Figure 11: Identification et quantification des macroinvertébrés. A : lavage du prélèvement dans deux tamis superposés ; B : loupe binoculaire Nikon SMZ 1270 ; C : Clé d'identification.	16
Figure 12: Courbes de fréquence des classes granulométriques en fonction des stations.	18
Figure 13: Dispersion des AEVR et des Tacons 1h et 2 mois après le repeuplement.	20
Figure 14: Distance parcourue par les AEVR et les tacons à T0. Les résultats sont présentés en box plot (<i>i.e.</i> la médiane, les premiers et troisièmes quartiles, et des valeurs extrêmes).	21
Figure 15: Distance parcourue par les AEVR et les tacons à T2 mois. Les résultats sont présentés en box plot (<i>i.e.</i> la médiane, les premiers et troisièmes quartiles, et des valeurs extrêmes). ...	21
Figure 16: Survie des tacons et des AEVR 2 mois après leur déversement. Les résultats sont présentés en box plot (<i>i.e.</i> la médiane, les premiers et troisièmes quartiles, et des valeurs extrêmes).	22
Figure 17: Taux de croissance spécifique des jeunes saumons par Rivière/Stade de repeuplement. Les résultats sont présentés en box plot (<i>i.e.</i> la médiane, les premiers et troisièmes quartiles, et des valeurs extrêmes).	23
Figure 18: Relation entre le logarithme du poids et le logarithme de la longueur totale des AEVR et des tacons 0+ par stations d'étude (N= 35).	24
Figure 19: Fréquence des taxa des macroinvertébrés benthiques (A) et dérivants (B) dans les stations d'études.	26
Figure 20: Tailles des macroinvertébrés et tailles maximales d'organismes consommables par les AEVR et les tacons repeuplés.	28

1. Introduction

1.1 Brève présentation du saumon atlantique (*Salmo salar*)

Le saumon atlantique (Fig 1) est une espèce de poisson appartenant à la famille des salmonidés et très convoité en raison de ses intérêts économiques, culturels, scientifiques et sportifs importants (Mocq, 2013). Il a un corps élancé et fusiforme recouvert de petites écailles et de coloration métallique qui varie suivant son stade de développement (Bensettiti et Gaudillat, 2004). Il possède deux nageoires dorsales dont une adipeuse de couleur grise permettant spécialement de le différencier de la truite fario au stade tacon. La nageoire caudale porte 19 rayons (Spillman, 1961) et profondément fourchue chez les individus de moins de 20 cm (Kottelat et Freyhof, 2007). La bouche s'étend jusqu'à la partie située sous l'arrière de l'œil et possède des dents bien développées (Rochard, 1994). Les juvéniles ont 8 à 12 taches bleu-violet sur les flancs avec de petites taches rouges entre les deux (Rochard, 1994). En mer, les adultes sont d'un vert bleuté sur le dos devenant argenté sur les côtés et blanc sur le ventre ; avec quelques taches noires mais aucune sous la ligne latérale (Rochard, 1994). La nageoire caudale est souvent dépourvue de tâches et l'adipeuse non bordée de noire.



Figure 1: Adulte du saumon atlantique (*Salmo salar*) capturé le 2 mai 2020 à Lixhe. (Crédit: rapport saumon Meuse).

1.2 Répartition géographique

S. salar est une espèce de poisson qui est très largement répandu (Fig 2). Historiquement, on le trouve dans les régions tempérées et froides appartenant au bassin du nord de l'Atlantique (Bensettiti et Gaudillat, 2004). Ses aires de distribution englobent notamment les pays dont les rivières se déversent dans l'Atlantique Nord et dans la mer Baltique. En Europe occidentale, ces cours d'eau s'étendent depuis le nord-ouest de la Russie (Baltique comprise) jusqu'au Portugal, en passant par les îles britanniques, l'Islande et le Groenland (Malbrouck *et al.*, 2007 ; Mocq, 2013). En revanche sur le continent américain, l'espèce est rencontrée dans l'atlantique occidental, depuis le Labrador (Canada) jusqu'au Connecticut (USA) (Page et Burr, 2011). En outre, quelques populations enfermées ont été répertoriées en Amérique du Nord (Scott et Crossman, 1973).

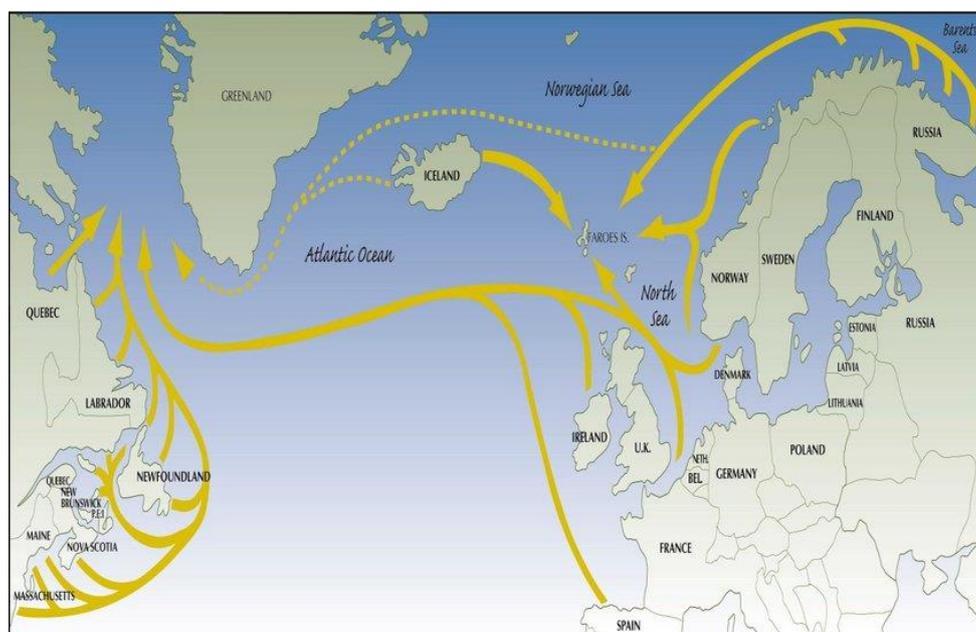


Figure 2: Routes de migration et zones d’engraissement des populations mondiales de saumon atlantique. (Source : <https://www.researchgate.net>).

1.3 Cycle de vie

Le saumon atlantique est une espèce migratrice diadrome (Klemetsen *et al.*, 2003) ; de type anadrome (Fig 3) ; c’est-à-dire qu’il se reproduit en eau douce et grandit en milieu marin (Malbrouck *et al.*, 2007 ; Philippart, *et al.*, 2016). Il existe néanmoins certaines populations enfermées en Amérique du nord ayant perdu leur diadromie (*i.e.* potamodrome) et qualifiées de « landlocked » (Scott et Crossman, 1973 ; Klemetsen *et al.*, 2003). Pour les populations anadromes, la migration entre les eaux fluviales et marines est un phénomène important qui représente une stratégie adaptative leur permettant d’exploiter toutes sortes d’habitats convenant le mieux à leurs différents stades de développement (Lucas et Baras, 2001). Certaines études rapportent que l’espèce vivrait jusqu’à 10 ans ; mais la plupart n’attendrait que 4 à 6 ans (Muus et Nielsen, 1999). Selon Rochard et Elie (1994), *S. salar* passe la majeure partie de sa vie en eau douce. Cette durée peut s’étendre jusqu’à 6 ans (WWF, 2001 ; Malbrouck *et al.*, 2007) voire plus (8 ans) (Mocq, 2013). Par contre, elle peut être plus courte. C’est par exemple le cas en Meuse Belge où une durée de 1 à 2 ans a été rapportée par Philippart (2005). Le saumon atlantique supporte généralement un régime thermique optimal de 4 à 12 °C (Kottelat et Freyhof, 2007). Néanmoins, il résiste à des températures légèrement supérieures à 10 °C pendant environ 3 mois par an, mais pas plus que quelques semaines à 20° C en été (Kottelat et Freyhof, 2007). Selon les latitudes, l’espèce se reproduit en automne ou en hiver (National Research Council, 2004). Les radiers constituent généralement ses zones de frai. Elles sont souvent situées en amont des bassins versants à des distances de quelques kilomètres jusqu’à plusieurs centaines de kilomètres de l’estuaire (Bardonnet et Baglinière, 2000). Elles sont peu profondes (20 à 35 cm) et caractérisées par un courant d’eau rapide (40 à 65 cm/s), une bonne oxygénation, un substrat constitué d’éléments grossiers (taille moyenne 11,3 cm) tels que les pierres ou les cailloux non colmatés (*i.e.* moins de 20% de sable et 1000 cm/h de

perméabilité) (Bardonnnet et Baglinière, 2000 ; WWF, 2001) et une température de 6 à 10° C (Schmidt, 1996).

En période de frai, les géniteurs perdent leur éclat argenté et deviennent brun terne ou jaunâtre. Les mâles peuvent être tachetés de rouge ou présenter de grosses taches noires (Fig 4) (Rochard et Elie, 1994). Ils présentent des mâchoires allongées et crochues qui se croisent à l'extrémité, mais disparaissent après le frai. Leurs nageoires sont plus épaisses et leur corps recouvert du mucus (Muus et Nielsen, 1999). La femelle pond généralement ses œufs (500 à 2000 œufs/kg de poids corporel) dans un petit trou qu'elle creuse dans le substrat (Rochard et Elie, 1994). Ils sont immédiatement fertilisés par plusieurs mâles anadromes (dominant et subordonnés) (Richard, 2012); mais aussi les mâles précoces de petites tailles sexuellement matures restés à proximité (Beall et Marty, 1983). Ce mode de fertilisation chez cette espèce, permet une augmentation de la diversité génétique.

Après une durée moyenne d'incubation de 100 jours, suivant les conditions thermiques de la rivière, des milliers d'alevins vésiculés éclosent (souvent au printemps) (Malbrouck *et al.*, 2007). Ils restent enfouis dans le substrat et ont une alimentation exclusivement endotrophe jusqu'à 1 mois environ selon la température de l'eau (Heland *et al.*, 1995). Peu avant l'épuisement de leur réserve vitelline, ils ont une taille moyenne de 2 à 3 cm et pèsent en moyenne 0,2 à 0,3 g (Gueguen et Prouzet, 1994). Ensuite, ils émergent du substrat généralement la nuit (Heland *et al.*, 1995) et deviennent strictement exotrophes. Leur régime alimentaire porte sur les macroinvertébrés composé principalement des larves et d'insectes à la dérive (Malbrouck *et al.*, 2007 ; Kottelat et Freyhof, 2007). Ces organismes appartiennent essentiellement aux ordres des éphéméroptères, trichoptères, plécoptères, diptères, annélides (planaires), mollusques et amphipodes (Rader, 1997). C'est donc au cours de cette émergence que les jeunes saumons amorcent leur dispersion dans la rivière à la densité de 9 à 86 individus/m² (WWF, 2001) en direction de l'aval, ou des bordures ou carrément à proximité de la zone de frai à la quête des micro-habitats plus ou moins benthiques adaptés à leur taille (Heland *et al.*, (1995). Ces micro-habitats sont principalement les radiers et caractérisés par une vitesse de courant rapide (50 – 65 cm/s), une faible profondeur (< 20 cm) d'eau et un substrat de cailloux (16 – 256 mm) et de blocs (64 – 256 mm) offrant de nombreux interstices (WWF, 2001). Les facteurs abiotiques tels que : la température, la lumière, le débit et la qualité de l'eau ; mais aussi biotiques comme : les caractéristiques morpho-dynamiques (*i.e.* leur forme et leur capacité de nage), la présence de congénères ou autres espèces, la prédation (Heland *et al.*, (1995) et la territorialité (WWF, 2001) seraient principalement responsables de leur dispersion. Après ce stade, les alevins deviennent des tacons (*i.e.* parr en anglais). Ils sont caractérisés par des stries verticales et mouchetures rouges au début de l'été. Cette apparence semble importante car leur permet d'échapper à de nombreux prédateurs comme les oiseaux piscivores (héron, martin-pêcheur) (Malbrouck *et al.*, 2007). Devenus plus demandeur en aliment et plus territoriaux, les tacons continuent leur dispersion dans la rivière à la recherche d'un habitat adéquat à leur taille et leurs besoins. Les plus jeunes tacons (*i.e.* âgés de moins d'un an ou 0+) partagent les mêmes types d'habitats que les alevins, tandis que les plus âgés (≥ 1 an) préfèrent les habitats caractérisés par une profondeur de 20 à 40 cm, un débit d'eau de 60 à 75 cm/s, un substrat de taille allant de 64 – 256 mm composé de cailloux et de roches (WWF, 2001) et un

régime thermique optimal de 16 °C (Malbrouck *et al.*, 2007). Au terme de ces deux phases, le taux de survie est souvent faible et excède rarement 10% (Benitez *et al.*, 2019 ; 2020).

Après une durée de 1 ou 2 ans passée en rivière, les tacons mesurent environ 12 à 15 cm et pèsent 40 - 50 g (Malbrouck *et al.*, 2007). Ils subissent alors des changements physiologiques, morphologiques et comportementaux indispensables qui leur permettent de dévaler vers l'océan (Klemetsen *et al.*, 2003 ; Frechette, 2019). C'est au cours de cette phase de métamorphose appelée smoltification ; c'est-à-dire transformation du tacon (poisson dulcicole) en smolt ou saumoneau (poisson marin), que le jeune saumon mémorise l'odeur de sa rivière natale, ce qui lui permettra de la reconnaître pour revenir y frayer lors de son retour en eau douce au stade adulte ; on parle du phénomène de « homing » (Philippart *et al.*, 2016).

En eau marine, le saumon passe environ 14 à 36 mois pour grandir et constituer ses réserves énergétiques avant de retourner dans sa rivière natale (*i.e.* migration de montaison) pour frayer (Klemetsen *et al.*, 2003). Après le frai, les géniteurs anadromes meurent ; mais quelques-uns (< 5%) survivent parfois et peuvent donc se reproduire encore au cours de leur vie (Philippart, 2005). Compte tenu de leur mauvais état après la reproduction, ces géniteurs sont qualifiés de « kelt » (Arahamian *et al.*, 2003) ou « charognards » (Malbrouck *et al.*, 2007).

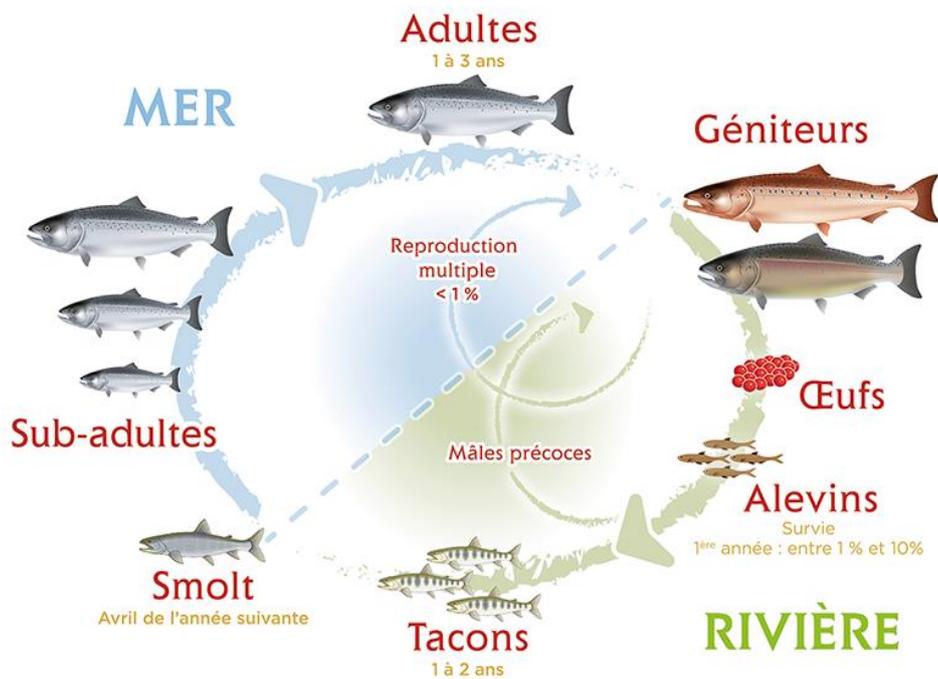


Figure 3: Cycle de vie du saumon atlantique (*S. salar*).

(Source : <https://images.app.goo.gl/naea1DmxD3Sxtbv9>)



Figure 4: Male adulte Bécard du saumon atlantique avec les points rouges. (Crédit: rapport saumon Meuse).

1.4 État des stocks du saumon atlantique

1.4.1 Au niveau Européen

A l'instar de l'Amérique du nord où l'extinction du saumon atlantique a été signalée dans ses aires de répartition (COSEPAC, 2006), les mêmes constats sont faits dans ses rivières à l'échelle européenne (Eriksson et Eriksson, 1993). Au niveau européen, plusieurs études ont montré la diminution très marquée et variable entre l'Europe du nord (Finlande, Norvège, Russie, Suède et nord-est de l'Islande) et celle du sud (Irlande, France, Royaume-Uni et sud-ouest de l'Islande) (Croze, 2008). Par exemple, à l'intervalle des années 1930 et 1950, la disparition de l'espèce a été observée dans la plupart des rivières d'Allemagne et des Pays-Bas dans le bassin du Rhin (Malbrouck *et al.*, 2007 ; Monnerjahn, 2011). Les mêmes remarques sont faites en Suisse, en République Tchèque et en Slovaquie ; mais aussi en Estonie, Portugal et Pologne où la disparition totale de l'espèce a été annoncée (Jonsson et Jonsson 2004). En France, cette extinction se traduit par la baisse du stock moyen annuel qui était estimé à moins de 18 000 individus entre les années 1995 et 2006 (ICES, 2007).

1.4.2 Au niveau Belge

Le saumon atlantique sauvage a également connu un triste sort en Belgique. En effet, avant l'an 1840, l'espèce était encore disponible à la fois en France, en Hollande et en Belgique via le bassin de la Meuse. A titre d'exemple, au terme du 19^{ème} siècle, le nombre d'individus capturés annuellement était compris entre 21 600 et 104 000 dans l'estuaire commun du Rhin et de la Meuse hollandaise (Malbrouck *et al.*, 2007). Mais en 1940, la disparition totale de la souche mosane dans la Meuse et ses affluents a été constatée suite à la capture du dernier spécimen réalisée dans la région de Visé (Philippart *et al.*, 2016).

1.5 Causes du déclin et mesure de remédiation

1.5.1 Causes du déclin

Le déclin généralisé des stocks de *Salmo salar* dans toutes ses zones de répartition géographique indique sans doute que l'espèce a été très menacée. Cela a suscité plusieurs études avec des résultats assez similaires dans le rang des scientifiques. La surpêche en mer, en eaux littorales et continentales (Parrish *et al.*, 1998) ; la prédation accrue par des poissons et des oiseaux piscivores (jusqu'à 39% de mortalité due aux cormorans) (Koed *et al.*, 2006) ; l'essor industriel (barrages hydroélectriques, etc...) et les pollutions accidentelles de toutes sortes (aigues ou chroniques) (Monnerjahn, 2011 ; Philippart *et al.*, 2016) constituent les principales causes à l'origine de l'extinction et de la disparition du saumon atlantique dans ses rivières originelles. En outre, des facteurs plus récents comme les espèces invasives, l'aquaculture (*i.e.* l'intercroisement entre populations baissant le fitness) ou le changement climatique (Ball, 2011) sont également responsables de ce déclin.

1.5.2 Mesures de remédiation

A l'issue des constats sur l'extinction et la disparition complète de l'espèce, plusieurs décisions importantes visant la protection et l'augmentation de tous les stocks des espèces diadromes à l'image du saumon atlantique ont été prises dans plusieurs pays. Hormis l'interdiction de la capture de l'espèce en eau douce et sa surpêche en eau marine, la plupart des actions posées visent la restauration de l'habitat à travers l'aménagement des voies de migration et la mise en place de programmes de réintroduction, l'amélioration du calcul des limites de pêche, et la mise en valeur des stocks (DFO, 2015). Ainsi, en Allemagne, en 1987, les programmes « Saumon 2000 » et « Rhine 2020 » ont vu le jour (Schneider, 2011). En France c'est le « Plan Saumon », qui fut mis sur pied en 1975 (Baglinière *et al.*, 1990). Au Pays de Galles, en 1983, le programme désigné comme « un exercice d'amorçage de la pompe » dans la rivière Taff a été installé (Arahamian *et al.*, 2003). En Belgique, c'est le projet « Meuse Saumon 2000 » visant la réintroduction de l'espèce dans le bassin de la Meuse qui a été initié en 1987 (Malbrouck *et al.*, 2007).

1.6 Repeuplement du saumon atlantique en Belgique

1.6.1 Définition et types de repeuplement

Le repeuplement est défini comme une opération qui consiste à introduire de manière répétée des poissons d'une espèce indigène ou exotique (préalablement introduit) dans un écosystème donné (Cowx, 1998). Ainsi, selon Arahamian *et al.* (2003), on distingue les repeuplements de :

- ✓ Atténuation : visant la réduction de la perte de production due à un programme ou une activité qui ne peut être empêché (e) ou supprimé (e) ;
- ✓ Amélioration du rendement : visant le soutien du stock existant lorsque la production est en dessous de la capacité de charge du plan d'eau ;

- ✓ Création de nouvelles pêcheries : visant le transfert des poissons dans un nouveau plan d'eau ou l'introduction de nouvelles espèces dans une pêcherie existante (Frechette, 2019) ;
- ✓ Recherche et développement : ayant pour but de résoudre des problèmes particuliers de gestion des écosystèmes aquatiques ;
- ✓ Conservation : visant la pérennité des stocks ;
- ✓ Restauration : réalisé lorsque les facteurs limitant ou empêchant la reproduction naturelle sont corrigés.

1.6.2 Projet " Meuse Saumon 2000"

1.6.2.1 Brève présentation et objectif

Le saumon atlantique est un indicateur de la qualité des eaux compte tenu de ses exigences en termes de qualité des milieux aquatiques. Par cette qualité, il est parfois qualifié de « roi des poissons d'eau douce » (Malbrouck *et al.*, 2007). Sa disparition en Meuse a provoqué l'amélioration de la qualité des eaux de la Meuse en 1980. Grâce à cette amélioration, la truite de mer ; une autre espèce migratrice de la même famille (salmonidé) que *S. salar* est réapparue dans la Berwinne, dernier affluent mosan à la frontière belgo-hollandaise. C'est au vu de ce constat qu'est né le projet " Meuse Saumon 2000" suite à une collaboration des équipes universitaires des Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix de Namur et de l'Université de Liège et du Service de la Pêche de la Région Wallonne. Ainsi, le projet vise le retour du saumon en Meuse belge à travers des programmes de repeuplements annuels des principaux affluents de la Meuse (Malbrouck *et al.*, 2007 ; Erraud, 2020, non publié). Compte tenu de la disparition totale de la souche mosane, les repeuplements sont réalisés avec la souche de la Loire-Allier. Celle-ci a été retenue après les résultats de retour d'adultes de diverses souches d'origines étrangères (écossaise, irlandaise, française) à l'aide d'une étude basée sur l'assignation parentale par l'analyse de séquences microsatellites (Erraud, 2020, non publié).

1.6.2.2 Présentation du Conservatoire du saumon Mosan (CosMos)

Le CosMos est l'unique centre aménagé pour la production des jeunes saumons dans le cadre du projet Meuse Saumon. Il est installé à Erézé et doté actuellement d'une infrastructure de 1000 m³ de bassins sur un terrain de 3 ha. Ce conservatoire a été construit pour produire initialement 50 000 smolts et 200 000 tacons à partir des œufs de la souche Loire-Allier issus de la pisciculture de Chanteuges en France. Mais depuis quelques années, une augmentation importante du nombre de tacons et de smolts produits est observée. Par exemple, entre 2010 et 2018, la production annuelle des tacons est passée de 123 000 à 430 000 individus et celle des smolts de 4 900 à 37 200 individus par an (Erraud, 2020, non publié).

1.6.2.3 Réalisations

Depuis son lancement, le projet " Meuse Saumon 2000" a permis de nombreuses réalisations grâce aux gros investissements effectués. D'abord, il a contribué à l'amélioration de la qualité de l'eau, la facilitation de la migration de toutes les espèces de poissons ; notamment celle des anadromes, à travers l'amélioration et la construction des passes à poissons au niveau des barrages de la Meuse (Malbrouck *et al.*, 2007) ; mais aussi, le déversement de milliers de jeunes saumons dans la Meuse et ses affluents chaque année (Benitez *et al.*, 2019). Le projet a

également permis la mise en place d'un programme sophistiqués (RFID) de surveillance permettant un suivi efficace des jeunes saumons en dévalaison et des adultes en montaison (Benitez *et al.*, 2019). Grâce aux actions du projet, bien que les taux de dévalaison et de montaison demeurent encore faibles, une augmentation globale de ces valeurs est néanmoins observée au fil des années (Fig 5) (Dierckx, *et al.*, 2017 ; Erraud, 2020, non publié).

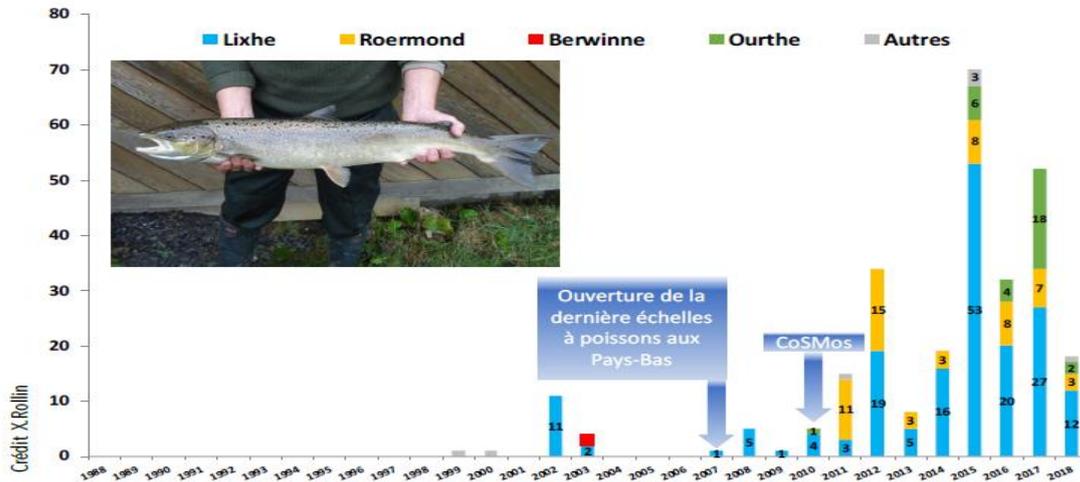


Figure 5: Bilan des remontées de saumons adultes en région Wallonne entre 1998 et 2018 (Erraud, 2020, non publié).

1.7 Problématique et objectifs de l'étude

L'augmentation du nombre annuel de tacons et de smolts produits dans le CosMos a engendré depuis quelques années un manque criard d'infrastructures pouvant accueillir les jeunes saumons. Ainsi, les repeuplements sont effectués plus tôt avec des alevins émergents à vésicules résorbés (AEVR) sans études préalables. Ce choix se justifie principalement par le besoin de maximiser la place limitée des installations à la salmoniculture. Mais aussi à l'idée qu'un repeuplement précoce avec des AEVR favoriserait leur fitness en milieux naturelles. A notre connaissance, très peu de données existent dans la littérature en termes de repeuplements faits avec des saumoneaux à ce stade. Mais Johnsson *et al.* (2014) rapportent néanmoins une grande capacité d'adaptation des jeunes saumons déversés lorsqu'ils passent un court séjour en salmoniculture. Dans ce contexte, le choix de repeupler avec des saumons au stade précoce (AEVR) semble justifié. Toutefois, il convient de démontrer expérimentalement cette assertion afin de s'assurer du bien fondé d'un repeuplement à des stades précoces de vie du saumon atlantique. Ainsi, deux études ont été déjà menées dans ce sens par Benitez *et al.*, (2019 ; 2020). Mais les résultats de ces études souffrent d'une insuffisance d'informations qu'il convient de compléter. C'est dans cette optique que s'inscrit cette étude qui a pour objectif principal, l'évaluation du devenir des jeunes saumons introduits précocement dans les rivières affluentes directes de la Meuse. Spécifiquement, il s'agit dans un premier temps, d'évaluer la survie, la croissance et l'allométrie des poissons déversés; puis dans un second temps d'estimer leur dispersion dans les habitats.

2 Matériel et méthodes

2.1 Choix et localisation des stations

Dans le cadre de cette expérimentation, six rivières (*i.e.* le Ry d'Oxhe, le Ry de Feron, la Berwinne, le Samson, le Burnot et la Molineée) affluentes directes de la Meuse ont été retenues (Tab 1 et Fig 6). Elles ont été choisies en raison de leur accessibilité en toute saison, de l'absence de toute activité actuelle de repeuplements, de la similarité de leurs faciès et de la disponibilité des zones de croissance (*i.e.* radiers) pour chaque stade de repeuplement (*i.e.* AEVR et tacons). Les zones de repoissonnements ont été localisées à proximité de la confluence mosane afin de limiter la dispersion en aval des jeunes saumons et ainsi permettre un recensement global de la population par pêche électrique de la confluence jusqu'à la zone de déversement.

Tableau 1: Caractéristiques des jeunes saumons déversés et coordonnées géographiques des stations en 2019 et 2020.

Année	Stades	Poids moyen	Stations	Coordonnées GPS	
2019	AEVR	0,15	Samson	x = 4,992950	y = 50,465483
			Burnot	x = 4,856317	y = 50,361733
			Molineée	x = 4,860300	y = 50,317583
	Tacon	1,25	Berwinne	x = 5,685376	y = 50,754742
			Ry d'Oxhe	x = 5,339187	y = 50,55443
			Ry de Feron	x = 4,823198	y = 50,221088
2020	AEVR	0,20	Berwinne	x = 5,684988	y = 50,755336
			Ry d'Oxhe	x = 5,340228	y = 50,554288
			Ry de Feron	x = 4,823178	y = 50,221164
	Tacon	1,30	Samson	x = 4,992969	y = 50,465493
			Burnot	x = 4,856228	y = 50,361668
			Molineée	x = 4,860209	y = 50,317623

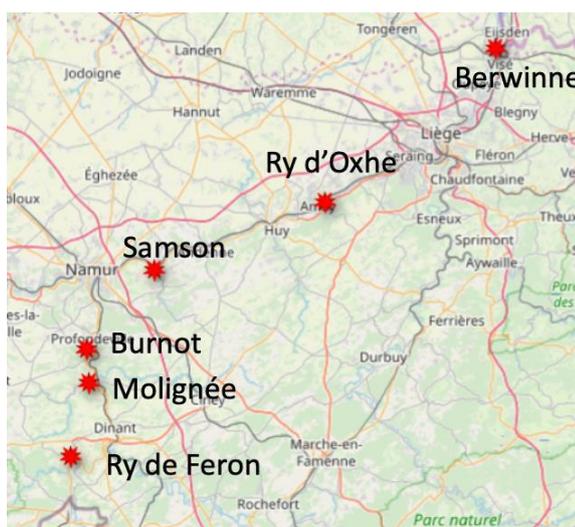


Figure 6: Localisation GPS (en haut) et cartographie (en bas) des déversements d'AEVR et de tacons en 2020.

2.2 Procédure et périodes de repeuplement en 2020

Les AEVR (*i.e.* alevins émergents à vésicule résorbée) et les tacons rempoissonnés lors de cette expérimentation de terrain étaient issus de la souche Loire Allier et provenaient tous de reproductions effectuées à la salmoniculture d'Erezée (CosMos). Pour chaque stade, 12 000 individus (*i.e.* 24 000 au total) ont été utilisés ; soient 4 000 AEVR / station et 4 000 tacons / station. La Berwinne, le Ry d'Oxhe et le Ry de Feron ont été repeuplés avec des AEVR les 22, 23 et 24 avril 2020 respectivement ; alors que le Samson, le Burnot et la Molinee ont été empoissonnées avec des tacons les 10, 11 et 12 juin 2020 respectivement, soit environ deux mois après. L'association du stade à la rivière a été réalisée de manière opposée à l'étude menée en 2019. L'objectif visé était de comparer les résultats interannuels en éliminant un possible effet rivière (*i.e.* entre 2019 et 2020) afin de recommander le stade de repeuplement le plus approprié pour les actions futures du projet Saumon Meuse.

Le jour du repeuplement, 4 lots de 50 individus de chaque stade ont été pesés afin de définir un poids moyen / individu. Les AEVR pesaient 0,20 g en moyenne contre 1,30 g pour les tacons. Le poids moyen des deux stades était quasiment semblable à celui de l'expérimentation de 2019.

Pour le transport de la salmoniculture jusqu'à la zone de déversement, les AEVR ont été placés dans des sacs plastiques (*i.e.* 2000 poissons / sac) remplis au tiers d'eau de la salmoniculture et gonflés à l'oxygène. Concernant maintenant les tacons, la taille des individus étant supérieure et la période de rempoissonnement plus avancée dans la saison, il a été décidé d'utiliser une cuve de transport alimentée par une bombonne d'oxygène. Du CosMos jusqu'au déversement, la durée du transport n'excédait pas 3 h.

Arrivée sur le lieu du déversement, les sacs contenant les AEVR ont été directement plongés dans la rivière pendant quelques minutes afin d'éviter un choc thermique aux poissons et de favoriser leur bonne acclimatation après le déversement (Fig 7). Pour les tacons, des seaux contenant l'eau de la rivière ont été déversés progressivement dans la cuve jusqu'à atteindre la température de celle-ci. Ensuite, les jeunes saumons ont été délicatement relâchés en un point préalablement ciblé en amont de chaque station et marqué à l'aide d'une pierre jaune bien distincte puis géo-référencé.



Figure 7: Acclimatation des jeunes saumons avant le déversement. (Crédit : rapport Meuse 2019).

2.3 Caractérisation des stations

Pour chaque station, l'oxygène dissous (O_2), le pH, la conductivité, 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). Concernant la granulométrie, la méthode décrite par Wolman (1954) a été employée. Celle-ci consistait à 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 cette expérimentation, 100 pierres ont été collectées par station, et l'axe b (*i.e.* largeur) (Fig 8) 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 (1989) a été utilisée pour classer les substrats (Tab 3). 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 est 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 et 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 2: Valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques et de la vitesse de l'eau par station d'étude.

Rivières	O ₂ (mg/l)	pH	Température (°C)	Conductivité (µS/cm ³)	Vitesse de l'eau (m/s)
Berwinne	10,52	8,66	11,78	500	0,41
Ry d'Oxhe	12,53	8,72	11,78	452	0,35
Ry de Feron	10,23	7,51	10,59	550	0,42
Samson	10,33	8,49	14,1	498	0,55
Burnot	10,73	8,46	11,43	568	0,52
Molignée	9,71	8,37	13,2	518	0,39

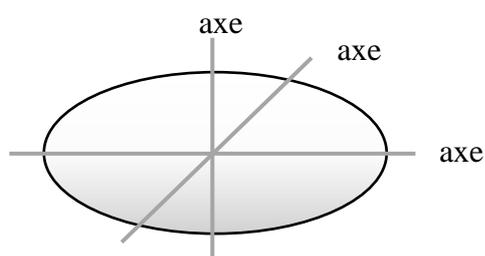


Figure 8: Schéma indiquant les axes de mesure de la granulométrie d'une pierre. Axe b : axe perpendiculaire à la longueur de la pierre (axe a) et à son épaisseur (axe c).

Tableau 3: Echelle granulométrique de Wentworth (1922) modifiée dans Malavoi et Souchon (2002).

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 Dispersion, survie et état de santé des jeunes saumons

Deux méthodes ont été adoptées suivant le moment de l'évaluation de la dispersion. La plongée a été préférée tout juste après le déversement des saumons afin d'éviter un stress supplémentaire que pourrait engendrer la pêche électrique aux jeunes saumons fraîchement relâchés. En revanche, à deux mois post-déversement, la méthode de pêche électrique a été préférée. Ce choix se justifiait en raison du gain de temps et principalement de la forte dispersion (*i.e.* distance > 500 m par rapport au lieu du déversement) des jeunes saumons à cet âge (Benitez *et al.*, 2020), signifiant qu'une plongée sur de telles distances était quasi impossible et serait plus sujette aux erreurs.

La plongée a été réalisée 15 mn après le déversement. Deux plongeurs équipés d'un ensemble de plongée en apnée ont observé le comportement de colonisation des différents stades sur les zones de radiers / rapides durant une période d'environ 1 h. Pour cela, les deux plongeurs sont partis côte à côte à environ 300 mètres en aval de la zone de déversement. Ils se sont ensuite déplacés très lentement et à contre-courant afin de définir la position exacte de chaque poisson avant sa fuite. Une pierre de couleur rouge et numérotée, était chaque fois déposée à l'endroit où le ou les poissons ont été aperçus par les plongeurs (Fig 9). Une troisième personne munie

d'un GPS Garmin GPSMap 62s et d'un seau enregistré les coordonnées géographiques et le numéro de chaque pierre derrière les plongeurs, puis la ramassait.

Quant à la méthode de pêche électrique, elle consistait à cibler uniquement les saumons juvéniles de l'année (0+) en prospectant leurs habitats préférentiels (*i.e.* radiers) dans la rivière. La prospection a été faite de la confluence mosane jusqu'à 150 mètres en amont de la zone de déversement en progressant latéralement (Fig 10). Celle-ci nécessitait une équipe de 3 personnes (1 anode, 1 ou 2 épuisettes et 1 tinoire) et l'usage d'un appareil portatif de type martin pêcheur pour localiser les poissons. A l'instar de la plongée, toutes les fois qu'un ou plusieurs saumons 0+ étaient capturés, la même démarche méthodologique a été adoptée pour géo-référencer leur position. Dans chaque station, durant la pêche et sur la zone où la densité des individus était la plus forte, le poids et la longueur totale de 35 individus ont été mesurés individuellement.

Au cours de cette expérimentation, les pêches électriques ont été réalisées les 24 ; 25 et 26 juin 2020 dans le Berwinne, le Ry d'Oxhe et le Ry de Feron respectivement pour les AEVR, soit exactement deux mois après leur déversement, alors qu'elles ont été effectuées pour les tacons les 10, 11 et 12 août 2020 dans le Samson, le Burnot et la Molignée respectivement.

Au terme de la collecte des données relatives à cette partie, la dispersion et la densité des jeunes saumons ont été déterminées grâce au logiciel QGIS Madeira 3.14.0 Pi. Tandis que la survie, la croissance spécifique et l'allométrie des saumons sont déterminées 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 $\log(P) = \log(a) + b \cdot \log(LT)$; avec a = constante, P = poids (g) et LT = longueur totale du poisson (mm).



Figure 9: Photo de la dispersion des saumoneaux juste après leur déversement (Benitez *et al.*, 2020).

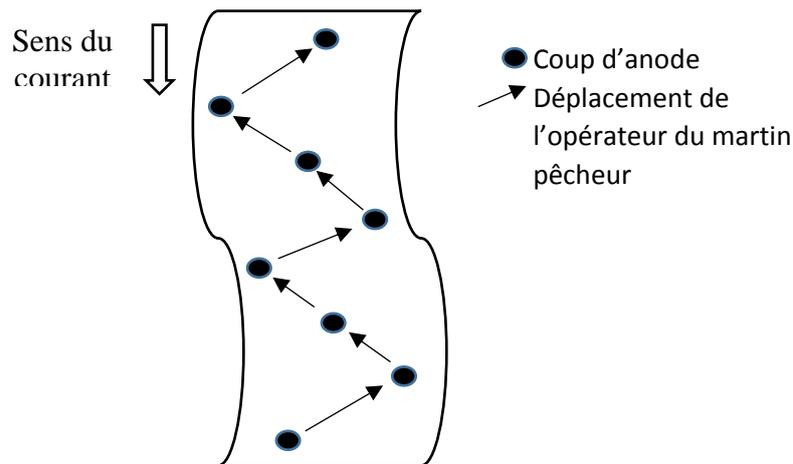


Figure 10: Schéma synthétique de la prospection par la méthode de pêche électrique.

2.5 Ressources trophiques

2.5.1 Échantillonnage des macroinvertébrés

Le recensement de macroinvertébrés a été réalisé 1 mois avant (*i.e.* au début) le déversement des tacons ; soient les 19 ; 20 et 22 mai 2020 dans le Samson, le Burnot et la Molinee respectivement. Quant aux stations des AEVR, il a été effectué 1 mois après le déversement ; soient les 26 ; 27 et 28 mai 2020 dans la Berwinne, le Ry de Feron et le Ry d'Oxhe respectivement. Pour chaque station, deux approches d'échantillonnage ont été adoptées selon le type de macroinvertébrés (*i.e.* benthiques ou dérivants). Trois prélèvements pour les benthiques et deux pour les dérivants ont été réalisés par station. Tous ces échantillons ont été prélevés dans la journée (*i.e.* entre 12h et 16h) en raison du comportement diurne de *S. salar* à cette saison (Fraser et Metcalfe 1997). Les prélèvements (*i.e.* des macroinvertébrés benthiques et dérivants) ont été effectués à l'aide du filet Surber d'ouverture de maille de 250 μm et de surface échantillonnée de 0,05 m^2 .

Les macroinvertébrés benthiques ont été prélevés sur trois transects (*i.e.* 1/radier) réalisés dans chaque station. Ils ont été récoltés 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) (Circulaire DCE, 2007). Pour ce faire, le cadre du filet était placé sur le fond de la rivière. Ensuite, le substrat a été frotté pendant 30 secondes de manière à décrocher les macroinvertébrés benthiques qui s'y trouvaient. Ceux-ci étaient entraînés par le courant dans le filet. Les substrats détachés au cours du frottement ont été également prélevés dans le filet en vue de récolter les éventuels organismes accrochés à ces derniers. Entre deux échantillonnages de même station, le filet a été délicatement rincé au-dessus d'un bac et les galets inspectés.

Quant aux prélèvements des macroinvertébrés dérivants, les filets ont été disposés côte à côte (*i.e.* sur les rives droite et gauche) en travers du courant et maintenus pendant 2h30 à 3h en amont de la station à l'aide de grosses pierres. Pour chaque prélèvement, la vitesse du courant a été relevée trois fois devant l'entrée du filet au début et à la fin. Celle-ci permet d'obtenir la

vitesse moyenne du courant d'eau durant le prélèvement. Le courantomètre FlowMate (FlowTronic) a été utilisé à cet effet. Le temps et la surface d'entrée du filet ont été également mesurés afin d'estimer le volume d'eau filtré au cours du prélèvement.

Au terme des prélèvements, les macroinvertébrés de chaque récolte ont été conservés dans des récipients hermétiques étiquetées et contenant un peu d'eau à laquelle l'éthanol a été complété jusqu'à une concentration d'environ 70% avant d'être acheminé au laboratoire pour leur identification et quantification.

2.5.2 Identification 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 (Fig 11). 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. La photo de chaque macroinvertébré identifié a été prise, puis leur taille réelle (en mm) a été déterminée à l'aide du logiciel Image J. La taille a été mesurée du bout de la tête à la pointe de l'abdomen sans tenir compte des cerques et d'autres projections du corps des organismes.

Au terme de ces opérations, les données collectées ont permis de déterminer les densités benthique (D_b) et dérivante (D_a) grâce aux formules de Johansen *et al.*, (2010) ci-dessous :

- D_b (individus /m²) = $20 * \sum \bar{Y}_{i/j}$; avec $\bar{Y}_{i/j}$ la moyenne de chaque taxon i dans l'ensemble des prélèvements (*i.e.* 3) pour une même station j ; 20 étant le coefficient permettant de multiplier la surface échantillonnée (Surber = 0,05 m²) pour obtenir une surface de 1 m² ;
- D_a (individus / m³) = $\sum Y_{i/j} / V_j$; 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 (m³) filtré. Il est estimé grâce au produit de la surface d'entrée de ce même filet A_j (m²), au temps d'exposition T_j (s), et à la vitesse du courant d'eau V_c (m/s).

Afin de connaître les tailles minimale et maximale de macroinvertébrés consommables par les jeunes saumons déversés, l'espace entre les branchiospines et le diamètre de leur bouche ont été déterminés (Tab 4). Ces paramètres ont été calculés via les formules suivantes :

- Espace entre les branchiospines (mm) = $0,115 * LF$ (cm), évalue la taille minimale (Tmin) de proies consommables.
- Diamètre de la bouche (mm) = $1,05 * LF$ (cm), évalue la taille maximale (Tmax) de proies consommables.

Tableau 4: Tailles minimales et maximales de proies consommables par les AEVR et les tacons lors du déversement et 2 mois après le déversement.

	Berwinne	Ry d'Oxhe	Ry de Feron	Samson	Burnot	Molignée
Au déversement						
Tmin (mm)	0,31	0,31	0,31	0,46	0,46	0,46
Tmax (mm)	3	3	3	4	4	4
2 mois après le déversement						
Tmin (mm)	1	1	1	1	1	1
Tmax (mm)	7	6	5	10	7	9

Tmin = Taille minimale de proie en mm ; Tmax = Taille maximale de proie en mm.

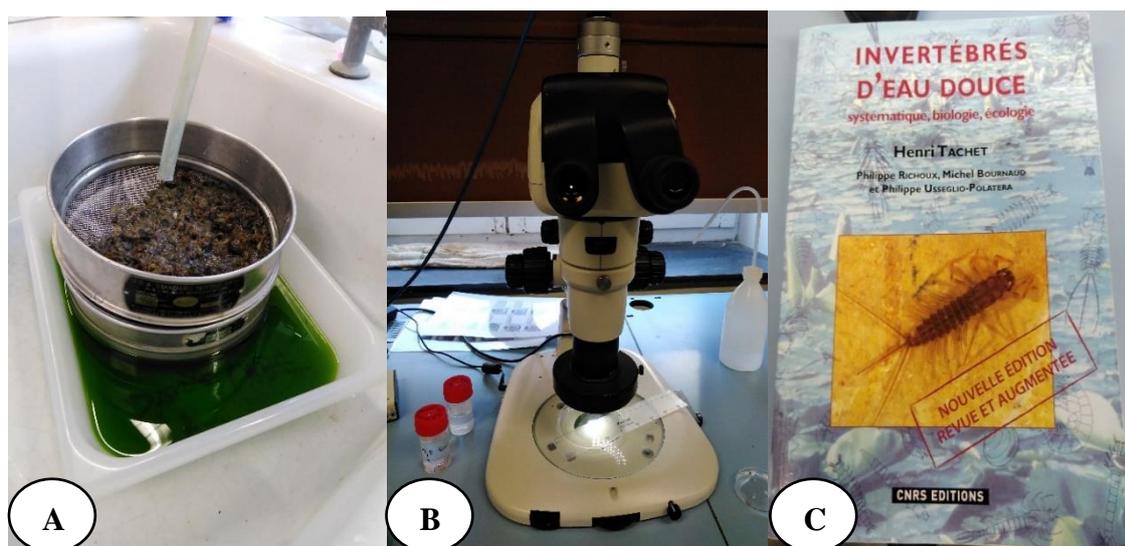


Figure 11: Identification et quantification des macroinvertébrés. A : lavage du prélèvement dans deux tamis superposés ; B : loupe binoculaire Nikon SMZ 1270 ; C : Clé d'identification.

2.6 Analyses statistiques des données

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R studio v0.99.903 (RStudio). La normalité et l'homogénéité des variances des variances ont été évaluées par le test de Shapiro-Wilk et le test de Bartlett. 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 (utilisant le logiciel PMCMR R-package) 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 Résultats

3.1 Granulométrie des différentes stations

La figure 12 montre que la taille des particules collectées dans les différentes stations varie globalement de 2 mm à 256 mm. Les cailloux grossiers (32 – 64 mm) sont généralement les particules les plus rencontrées dans la Berwinne, le Ry d'Oxhe, le Ry de Feron, le Burnot et la Molinee. Tandis que le Samson est composé en grande majorité de pierres fines (64 – 128 mm).

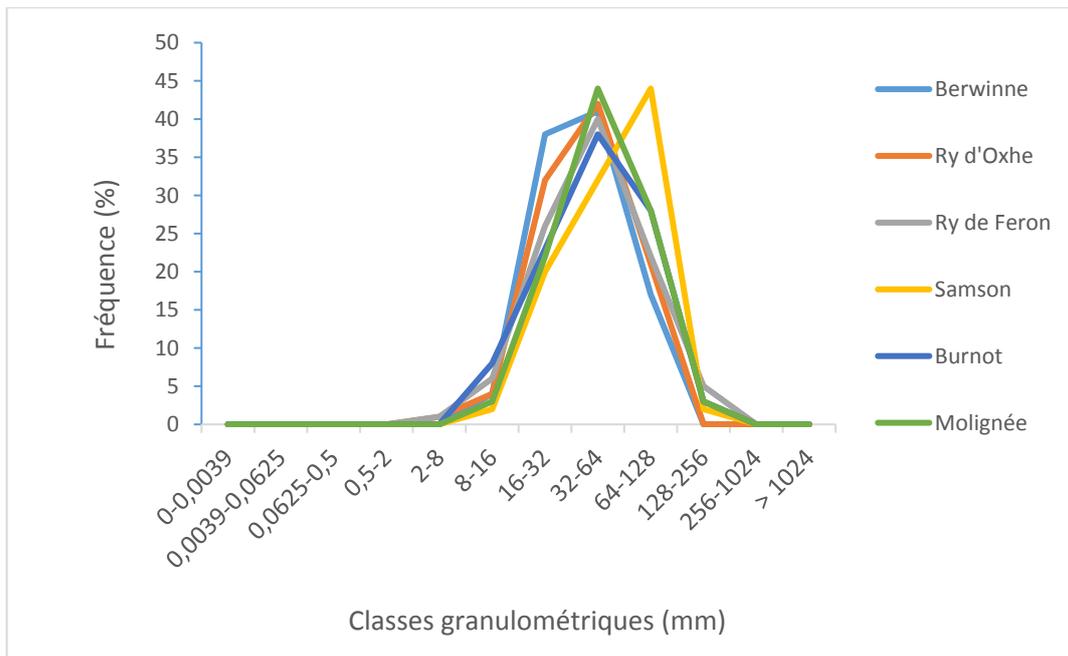


Figure 12: Courbes de fréquence des classes granulométriques en fonction des stations.

Le tableau 5 indique une distribution presque symétrique des particules (valeurs de l'asymétrie A1 comprises entre -0,1 et 0,1) dans la Berwinne, le Ry d'Oxhe et le Ry de Feron. En revanche, elle tend vers les particules fines (asymétrie A1 comprises entre -0,3 et -0,1) pour le Samson, le Burnot et la Molinee. Quant aux valeurs de l'asymétrie A2, elles sont comprises entre -0,1 et 0,1 pour la Berwinne et le Ry de d'Oxhe ; 0,1 et 0,3 pour le Ry de Feron ; -0,3 et -0,1 pour la Molinee ; puis entre -1 et -0,3 pour le Samson et le Burnot. Au niveau de l'acuité, la distribution est très plate (aplatissement < 0,67) dans les 6 stations.

Tableau 5: Résultats de la distribution des particules par la méthode de Wolman (1954).

Percentiles	Berwinne	Ry d'Oxhe	Ry de Feron	Samson	Burnot	Molignée
Diamètre des particules (mm)						
P5	16,95	15,95	14,95	16,95	11,95	16
P10	17,9	18,8	17	18,9	19	18
P16	19	21,84	19,84	26	20,84	21
P25	23,75	25,75	24,75	33,75	28	31,75
P50	37	37,5	40	55,5	47,5	48,5
P75	57,25	52,5	66,25	79	74	71,25
P84	64	72,16	82,96	89,16	87	86,64
P90	69	77	102,5	102,1	92,1	102,5
P95	74,05	97,05	125,2	114,2	114,15	111,25
Médiane	5,21	5,23	5,32	5,79	5,57	5,60
Moyenne	5,12	5,31	5,34	5,59	5,41	5,41
Ecart-type	0,88	0,86	1,03	0,89	1,03	1,02
Asymétrie A1	-0,10	0,10	0,02	-0,23	-0,15	-0,18
Asymétrie A2	-0,07	0,08	0,11	-0,38	-0,35	-0,20
Acuité	0,21	0,51	0,49	0,55	0,58	0,37

3.2 Dispersion des poissons

La figure 13 présente la dispersion des AEVR et des tacons 1h et 2 mois après leur relâchement dans les rivières. On constate que quelle que soit la rivière, les dispositions des points jaunes (*i.e.* dispersion 1h après le déversement) et verts (*i.e.* dispersion 2 mois après le déversement) sur les cartes suivent la même présentation. Les points jaunes sont moins dispersés de manière générale sur toutes les cartes, et particulièrement sur les cartes de la Berwinne, du Ry d'Oxhe et du Ry de Feron. Quant aux points verts (*i.e.* 2 mois après le repeuplement), ils sont plus dispersés et s'étendent jusqu'à la confluence mosane.

La figure 14 indique qu'à T0 (*i.e.* 1h après le déversement), la distance parcourue est significativement plus faible pour les AEVR que les tacons (ANOVA, $p = 0,00317$). Celle-ci est en moyenne de $12,78 \pm 6,81$ m pour les AEVR ; tandis qu'elle est de $69,79 \pm 14$ m pour les tacons. En revanche, à T2 mois (*i.e.* 2 mois après le repeuplement), aucune différence significative (Kruskal-Wallis, $p = 0,5127$) n'a été observée entre les stades (Fig 15). Les distances parcourues résultent de la distance existante entre le point de déversement et la confluence mosane. Celles-ci sont en moyenne de $403,36 \pm 149,34$ m pour les AEVR contre $648,37 \pm 396,16$ m pour les tacons.

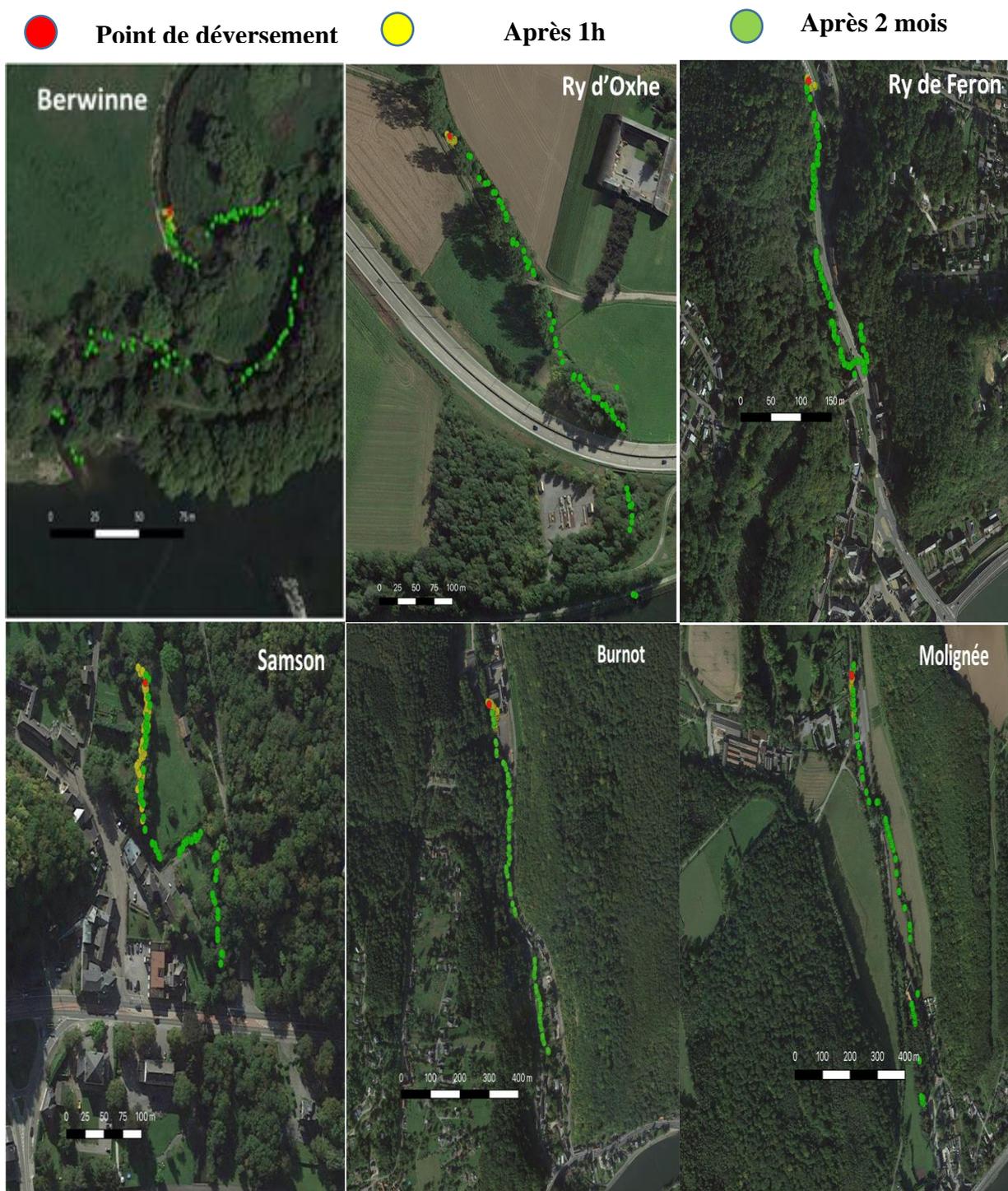
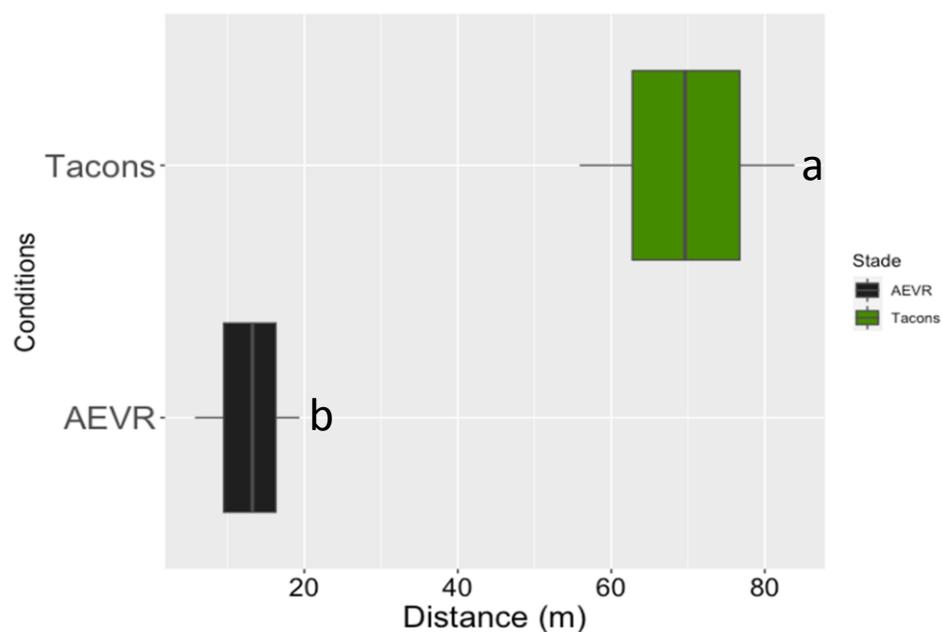
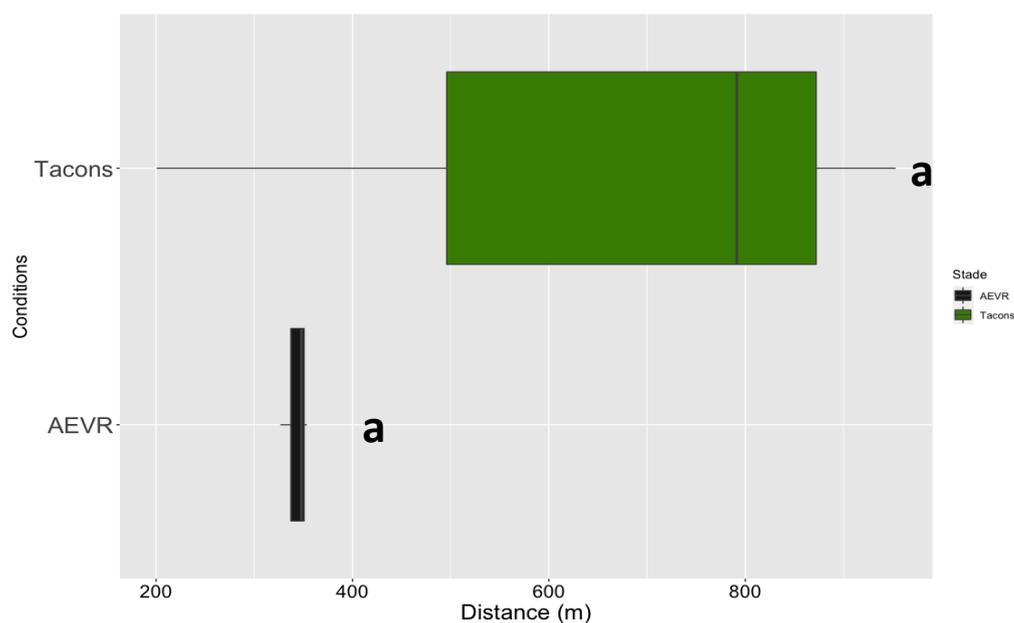


Figure 13: Dispersion des AEVR et des Tacons 1h et 2 mois après le repeuplement.



Les boxplots ayant des lettres différentes sont significativement différents (ANOVA, $p < 0,05$)

Figure 14: Distance parcourue par les AEVR et les tacons à T0. Les résultats sont présentés en box plot (*i.e.* la médiane, les premiers et troisièmes quartiles, et des valeurs extrêmes).



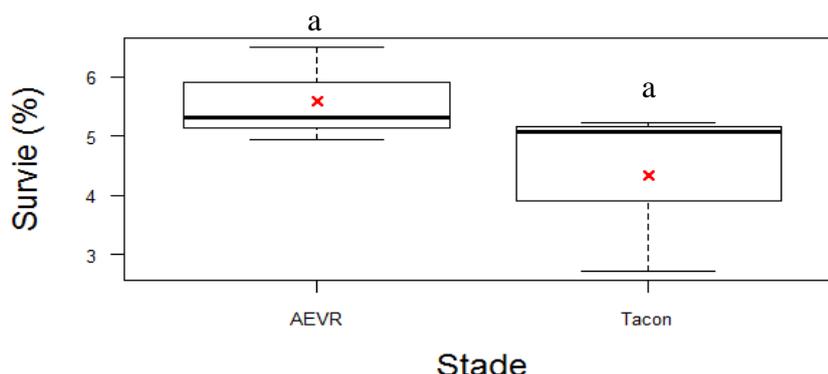
Les boxplots partageant les mêmes lettres ne sont pas significativement différents (Kruskal-Wallis, $p > 0,05$)

Figure 15: Distance parcourue par les AEVR et les tacons à T2 mois. Les résultats sont présentés en box plot (*i.e.* la médiane, les premiers et troisièmes quartiles, et des valeurs extrêmes).

3.3 Performances de survie et de croissances des AEVR et des tacons

3.3.1 Taux de survie et densité des jeunes saumons

La figure 16 présente le taux de survie des jeunes saumons en fonction des stades de repeuplement. Après deux mois de vie en milieu réel, le taux de survie est comparable pour les deux stades de saumons (ANOVA, $p = 0,252$). Il est de 5,59% pour les AEVR et de 4,34% pour les tacons. Quant à la densité des jeunes saumons/m² de radier, elle diminue avec l'augmentation de la superficie des radiers (Tab 6).



Les boxplots partageant les mêmes lettres ne sont pas significativement différents (ANOVA, $p > 0,05$).

Figure 16: Survie des tacons et des AEVR 2 mois après leur déversement. Les résultats sont présentés en box plot (*i.e.* la médiane, les premiers et troisièmes quartiles, et des valeurs extrêmes).

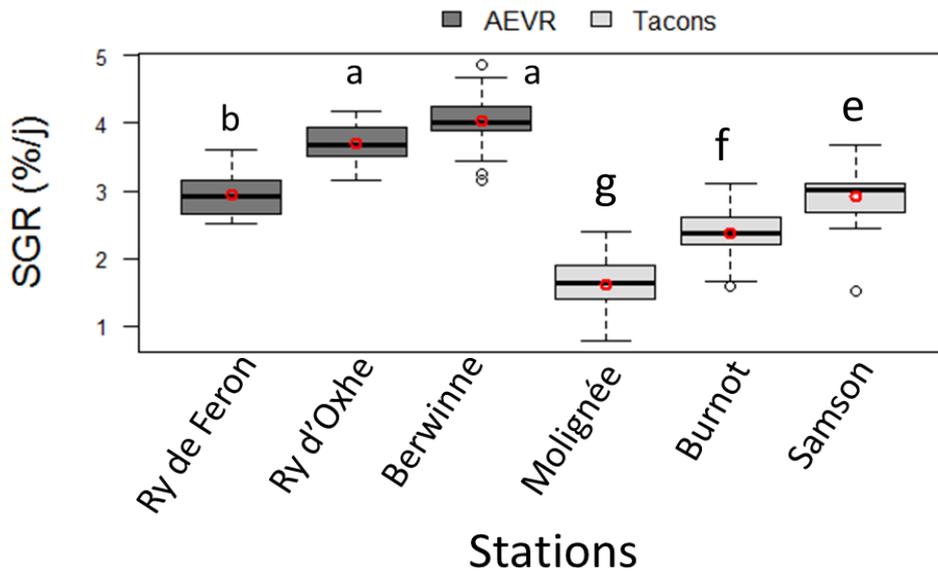
Tableau 6: Densité des jeunes saumons par stade et par radier.

Stade	Rivières	Superficie (m ²)	Nombre d'individus	Densité (individus/m ² radier)
AEVR	Berwinne	641,09	213	0,33
	Ry d'Oxhe	862,23	198	0,23
	Ry de Feron	902,54	260	0,29
Tacon	Samson	596,28	109	0,18
	Molignée	2912,94	209	0,07
	Burnot	2006,63	203	0,10

3.3.2 Taux de croissance spécifique (SGR) des jeunes saumons

Le taux de croissance spécifique des jeunes saumons repeuplés est représenté sur la figure 17. Celui-ci étant directement relié à l'âge des poissons, les prélèvements ont été réalisés en juin pour les AEVR et en août pour les tacons afin de respecter 2 mois dans le milieu naturel respectivement. Il est donc inenvisageable à ce moment de l'expérimentation de faire une comparaison de ce dernier entre stade. Il est toutefois tout à fait possible d'évaluer l'effet rivière pour chacun des stades. Ainsi, la figure 17 présente une variation significative de la croissance spécifique des jeunes saumons en fonction des stations pour chacun des deux stades (Kruskal-Wallis, $p < 2,2e-16$). Au niveau de la Berwinne et du Ry d'Oxhe, les SGR des AEVR sont

comparables ($p = 0,710$), mais sont significativement plus élevés que celui des AEVR dans le Ry de Feron ($p < 0,05$). De la même manière, au niveau de la Mollignée, le Burnot et le Samson, les SGR des tacons croissent significativement dans cet ordre ($p < 0,05$).



Les boxplots partageant les mêmes lettres ne sont pas significativement différents (test de Nemenyi, $p > 0,05$)

Figure 17: Taux de croissance spécifique des jeunes saumons par Rivière/Stade de repeuplement. Les résultats sont présentés en box plot (*i.e.* la médiane, les premiers et troisièmes quartiles, et des valeurs extrêmes).

3.3.3 Allométrie des AEVR et des tacons

La figure 18 présente une variation générale de l'allométrie des jeunes saumons en fonction des rivières repeuplées. Elle est légèrement minorante chez les AEVR (*i.e.* $b < 3$) dans la Berwinne ($b = 2,74$) et le Ry d'Oxhe ($b = 2,88$). Par contre, elle est fortement minorante dans le Ry de Feron ($b = 2,39$). Chez les tacons, celle-ci est pratiquement isométrique (*i.e.* $b = 3$) sauf dans le Burnot où elle est minorante ($b = 2,65$). Globalement, la variabilité entre le poids et la longueur des poissons est beaucoup plus importante chez les AEVR que chez les tacons (*i.e.* R^2 des tacons est légèrement plus élevée que celui des AEVR).

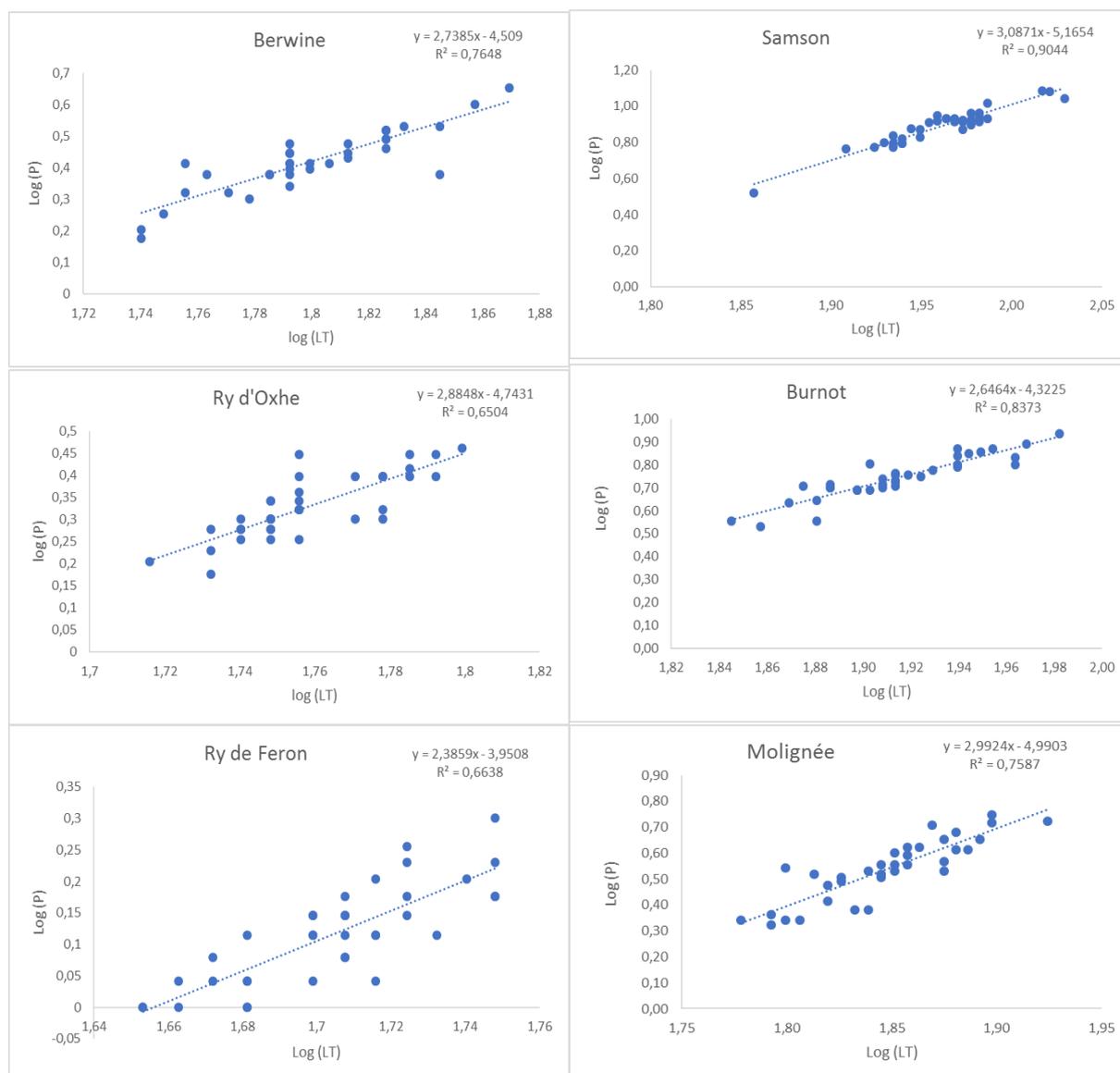


Figure 18: Relation entre le logarithme du poids et le logarithme de la longueur totale des AEVR et des tacons 0+ par stations d'étude (N= 35).

3.4 Fréquences et densités des macroinvertébrés benthiques et dérivants

3.4.1 Fréquences des macroinvertébrés benthiques et dérivants

Les figures 19A et 19B montrent respectivement les différents taxa de macroinvertébrés benthiques et dérivants et leurs fréquences dans les zones d'études.

L'analyse de la figure 19A indique que 27 taxa (y compris les Nymphes et les Terrestres qui ne sont pas des taxa, mais considérés tels dans cette étude), peuvent être répertoriés sur l'ensemble des 6 stations étudiées. Les Baetidae, les Chironomidae, les Ephemerellidae, les Gammaridae et les Simuliidae sont pratiquement, les principales familles régulièrement retrouvées dans des proportions relativement élevées sur l'ensemble des stations d'études. La présence des autres

familles est aléatoire et très variable avec des proportions faibles d'une station à une autre. On note la quasi inexistence des Nymphes et des Terrestres dans le benthos.

Dans la Berwinne, l'essentiel des macroinvertébrés benthiques est constitué des Chironomidae (43,80%), des Baetidae (29,55%) et des Ephemerellidae (16,89%). Alors qu'ils sont majoritairement composés de Gammaridae (36,30%), de Chironomidae (20,93%), et d'Ephemerellidae (18,22%) dans le Ry d'Oxhe. Au niveau du Ry de Feron, les mêmes familles prédominent également le benthos avec des fréquences de 54,33% ; 16,27% et 14,18% respectivement pour les Gammaridae, les Chironomidae et les Ephemerellidae. Il en est de même dans le Burnot ; on note principalement la présence des Gammaridae (27,07%), des Chironomidae (18,60%) et d'Ephemerellidae (16,76) dans les macroinvertébrés benthiques. Concernant la Molinee, les Baetidae dominent le benthos avec 26,91% d'occurrence, suivis des Gammaridae (17,49%) et des Elmidae (16,82%). En revanche, dans le Samson, les Baetidae, les Ephemerellidae et les Gammaridae constituent l'essentiel des organismes invertébrés benthiques avec des fréquences de 36,93% ; 25,96% et 19,16% respectivement.

Au niveau des macroinvertébrés dérivants (Fig 19B), sur l'ensemble des zones d'études, on dénombre 25 taxa, y compris les Nymphes et les Terrestres. Leurs fréquences sont en général faibles et très variables d'une station à une autre. Les Chironomidae, les Simuliidae, les Baetidae et les Ephemerellidae sont les taxa constamment présents dans la dérive au niveau des 6 stations. Dans la Berwinne, les Chironomidae, les Simuliidae, les Baetidae, les Ephemerellidae et les Terrestres sont les principaux Taxa de la dérive dans cette rivière. Leurs occurrences varient entre 10,11% et 18,10%. Alors que dans le Ry d'Oxhe, la dérive est principalement composée de Simuliidae, d'Ephemerellidae et d'Elmidae dans des proportions de 15,62% ; 11,16% et 11,16% respectivement. On note également la présence des Gammaridae, des Nymphes et des Terrestres à des fréquences légèrement inférieures à 10%. Au niveau du Ry de Feron, les Simuliidae dominent la dérive avec une fréquence de 37,53%. Les fréquences des autres taxa sont inférieures à 10% chacun. Dans la Molinee, les Rhyacophilidae, les Baetidae et les Gammaridae dominent les macroinvertébrés dérivants avec des fréquences de 16,72%, 11,40% et 10,64% respectivement. Quant au Burnot, les Terrestres (13,36%), les Dytiscidae (12,41%), les Ephemerellidae (11,12%) et les Nymphes composent essentiellement la dérive. Dans le Samson, la dérive est principalement composée de 36,36% de Terrestres et 24,11% de Simuliidae.

La synthèse des données sur les macroinvertébrés benthiques et dérivants est regroupée dans les annexes 2 et 3 respectivement.

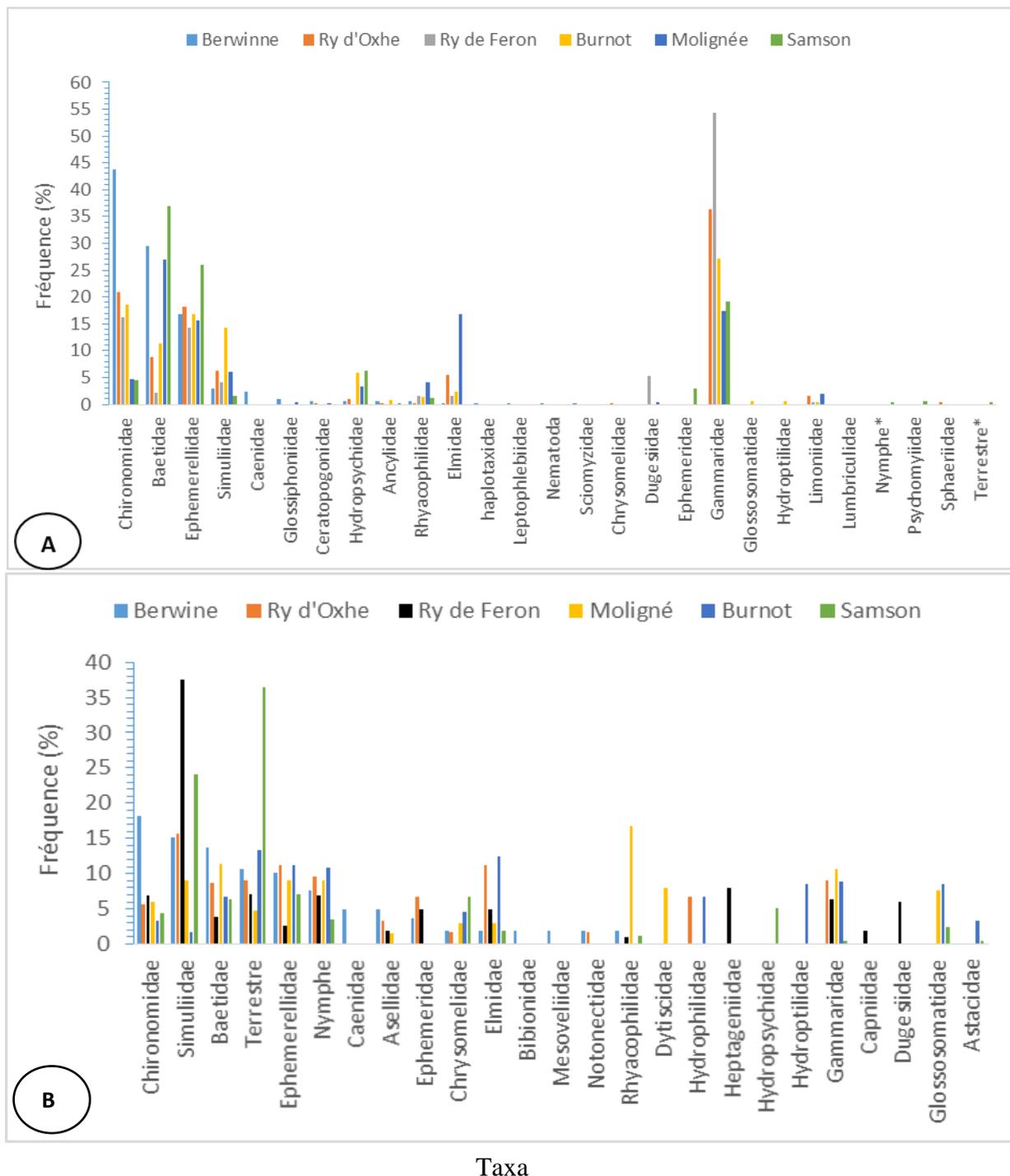


Figure 19: Fréquence des taxa des macroinvertébrés benthiques (A) et dérivants (B) dans les stations d'études.

3.4.2 Densités des macroinvertébrés benthiques et dérivants

Le tableau 7 présente globalement une grande variation des densités de macroinvertébrés benthiques et dérivants entre les stations d'études.

Au niveau du benthos, la plus grande densité est obtenue dans le Ry de Feron (*i.e.* 4466,67 ± 1304,96 individus/m²) tandis que la plus faible est enregistrée dans la Berwinne (*i.e.* 3013,33

± 223,01 individus/m²). Les comparaisons statistiques entre stations (*i.e.* deux à deux) révèlent que la densité benthique (D_b) dans la Berwinne est significativement plus faible que celle observée dans le Ry d'Oxhe et dans le Samson (ANOVA, $p < 0,05$) ; par contre elle est comparable (ANOVA, $p > 0,05$) à celles des autres stations (*i.e.* le Ry de Feron, le Burnot et la Molignée). Les D_b dans le Ry de Feron, le Burnot et la Molignée, sont également semblables (ANOVA, $p > 0,05$).

Au niveau des organismes dérivants, la plus grande densité (D_d) est enregistrée dans le Samson avec $1,60 \pm 0,10$ individus/m³ et la plus faible dans la Molignée avec $0,32 \pm 0,11$ individus/m³. La D_d dans le Ry d'Oxhe est significativement inférieure à celle obtenue dans le Samson (ANOVA, $p < 0,05$). La densité dérivante est significativement plus élevée dans le Samson comparativement à D_d dans le Burnot et dans la Molignée (ANOVA, $p < 0,05$). Les densités dans le Burnot et la Molignée sont similaires (ANOVA, $p > 0,05$).

Quant aux densités des macroinvertébrés par regroupement de rivières (*i.e.* suivant les rivières repeuplées en AEVR et celles repeuplées en tacons), aucune différence significative n'a été observée entre les D_b /stade (ANOVA, $p = 0,433$) et entre les D_d /stade (ANOVA, $p = 0,853$).

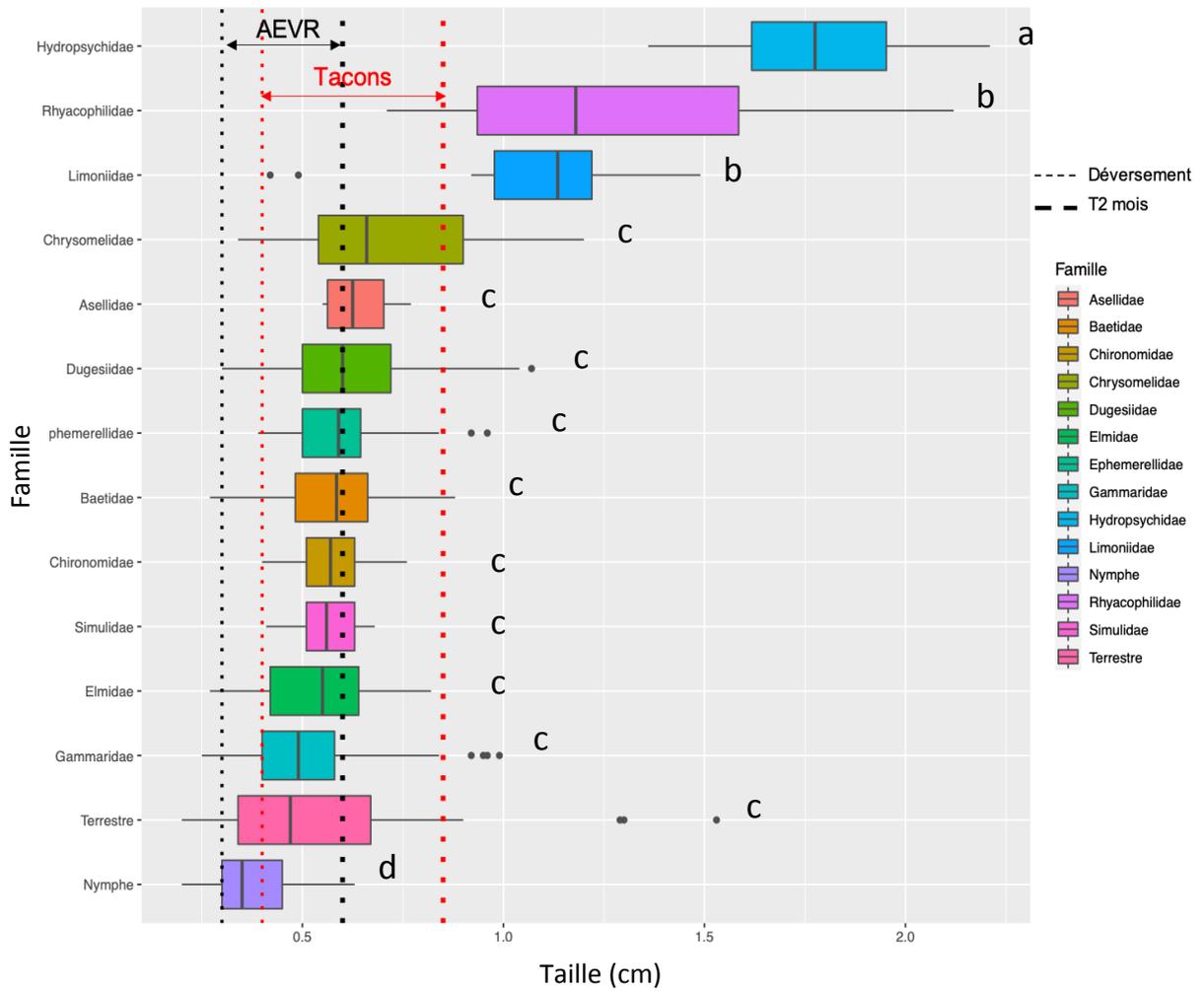
Tableau 7: Densités des macroinvertébrés benthiques et dérivants par station.

Densité	Berwinne	Ry d'Oxhe	Ry de Feron	Samson	Burnot	Molignée
D_b (ind/m ²)	3013,33 ±223,01a	4413,33 ±486,76b	4466,67 ±1304,96ab	3826,6 ±150,11b	3620 ±1270,59ab	3073,33 ±1001,27ab
D_b /stade (ind/m ²)	3964,44 ± 824,12a			3506,64 ± 389,22a		
D_d (ind/m ³)	0,52±0,45abc	0,71±0,09bc	0,87 ±0,07b	1,60±0,10a	0,43 ±0,13c	0,32 ±0,11c
D_d /stade (ind/m ³)	0,70 ± 0,18a			0,78 ± 0,71a		

D_b : Densité des macroinvertébrés benthiques ; D_d : Densité des macroinvertébrés dérivant. Résultats sous forme de Moyennes ± écart-type ; les moyennes de la même ligne suivies des lettres différentes sont différentes significativement (ANOVA, $p < 0,05$).

3.4.3 Tailles des macroinvertébrés

La figure 20 présente la taille des macroinvertébrés et les tailles maximales d'organismes que les AEVR et les tacons repeuplés sont capables de consommer. Sur cette figure, on note une différence significative de taille entre les macroinvertébrés les plus rencontrés sur l'ensemble des stations (Wilcoxon-Mann-Whitney, $p < 0,05$). Globalement, pour les deux stades de saumons, les tailles maximales des organismes consommables sont inférieures à 1 cm quel que soit la période (*i.e.* au déversement ou à T2 mois). Les Hydropsychidae, les Rhyacophilidae et les Limoniidae ont des tailles supérieures aux tailles maximales de proies consommables par les stades repeuplés. En revanche, tous les organismes des autres familles sont dans l'intervalle de tailles de proies consommables par les AEVR et les tacons.



Les boxplots partageant les mêmes lettres ne sont pas significativement différents (Wilcoxon-Mann-Whitney, $p > 0,05$).

Figure 20: Tailles des macroinvertébrés et tailles maximales d'organismes consommables par les AEVR et les tacons repeuplés.

4 Discussion

L'évaluation du devenir du saumon atlantique introduit à des stades de vie très précoces exige la connaissance de tous les facteurs susceptibles d'influencer leur fitness dans leurs nouveaux milieux de vie. L'un de ces derniers réside dans la taille des substrats compte tenu de son grand attachement à ce facteur (Gaudin et Héland, 1995 ; WWF, 2001). L'analyse de la granulométrie des 6 rivières investies a été caractérisée. Les résultats montrent clairement que toutes les stations d'études sont principalement constituées des cailloux grossiers et des pierres fines, traduisant ainsi le respect du préférendum minimum de substrat pour abriter *S. salar* (WWF, 2001). Mieux, les valeurs des paramètres de dispersion tels que l'acuité et les asymétries obtenues dans cette étude indiquent une bonne dispersion des particules (Bunte et Abt, 2001 cités par Chapuis, 2008). De telles observations ont été également faites par Otjacques (2012) sur deux rivières wallonnes (*i.e.* le Samson et l'Ourthe) dont le Samson qui est l'une de nos rivières d'étude. De même, l'ensemble des rivières sélectionnées pour cette expérimentation sont pourvues de grandes superficies de radiers rapides. Cela signifie qu'au nombre auquel nous les avons rempoissonnés (*i.e.* 4000 inds / rivière), les jeunes saumons disposaient suffisamment de micro-habitats pour leur bien-être. Quant aux paramètres abiotiques relevés de manière ponctuelle dans cette étude, ils se révèlent conformes aux valeurs trouvées par Philippart *et al.* (2014) dans le Samson, et indiquent globalement de bonnes conditions d'accueil (Schmidt, 1996 ; Bardonnet et Baglinière, 2000 ; WWF, 2001).

Concernant les ressources alimentaires, leur adéquation et leur disponibilité en abondance ont été reconnues comme des facteurs limitants la quantité d'énergie disponible pour la croissance et la survie des salmonidés en milieu naturel (Weber *et al.*, 2014). En effet, la disponibilité et l'abondance des macroinvertébrés benthiques constituent les principales sources de nutriments pour les salmonidés ; notamment le saumon atlantique (Elliott, 1973). Ces deux paramètres ont par conséquent été évalués sur les 6 rivières de repeuplement. Les résultats indiquent globalement que l'ensemble des zones d'étude sont assez riches. Plusieurs taxa dont 27 dans le benthos et 25 dans la dérive ont été répertoriés. Ces taxa sont regroupés dans plusieurs ordres dont les plus importants pour le saumon atlantique sont les éphéméroptères, les diptères, les trichoptères, les plécoptères, les annélides (planaires), les mollusques et les amphipodes (Rader, 1997). Ces résultats stipulent que les stations choisies pour cette étude regorgent d'une diversité d'organismes que les jeunes saumons repeuplés pourront consommer pour leur croissance et leur survie. De plus, les densités benthiques obtenues qui variaient de 3013,33 à 4466,67 individus/m² sont globalement meilleures à celles trouvées par Weber *et al.* (2014) dans des conditions similaires dans la rivière John Day de l'Orégon aux USA. Ces auteurs avaient obtenues des densités comprises entre 1050 et 3040 individus/m² dans 9 radiers rapides du bassin de la rivière John Day de l'Orégon. Ceci renforce donc notre hypothèse sur la richesse en ressources trophiques des zones d'études retenues pour notre expérimentation. Par contre, les densités benthiques varient significativement d'une station à une autre. Celle-ci pourrait résulter du protocole appliqué lors du prélèvement du benthos. En effet, les échantillons ont été prélevés sur chaque site selon l'ordre de priorité d'échantillonnage correspondant à une habitabilité décroissante du plus biogène au moins biogène (Circulaire DCE, 2007). Cela signifie que les prélèvements des stations présentant les faibles densités benthiques ont été faits

un peu plus sur des surfaces dures moins riches en benthos qui pourrait être à l'origine des différences de densités observées entre certaines stations.

Quant aux densités d'organismes dérivants, ils paraissent faibles, mais comparables à celles trouvées par Otjacques (2012) qui étaient de 1,05 et de 0,50 individus/m³ respectivement dans le Samson et dans l'Ourthe. Plusieurs auteurs ont rapporté que la dérive est plus conséquente dans la nuit (Elliot, 1973 ; Weber *et al.*, 2014). Dans ce contexte, l'idée sur l'obtention des faibles densités dérivantes dans cette étude semble logique compte tenu de la période des échantillonnages (entre 12h et 16h). Mais, le choix de prélever les échantillons dans la journée se justifie puisque *S. salar* adopte des comportements diurnes à cette saison (Fraser et Metcalfe 1997). De plus, Leung *et al.* (2009), estiment que le prélèvement de la dérive durant la nuit n'est pas d'un grand intérêt. De ce fait, les densités obtenues sont normales.

Concernant la dispersion, les observations faites sur les cartes et les distances parcourues indiquent globalement une faible dispersion des jeunes saumons dans les rivières 1h après leur déversement. Toutefois, celle-ci est plus conséquente chez les tacons que chez les AEVR. Il semble logique de par la taille de ces organismes et leurs places dans la colonne d'eau que les tacons colonisent plus rapidement les zones de radiers que les alevins. En fait, les alevins vont directement se réfugier dans les interstices de cailloux afin d'éviter les prédateurs justes après le déversement. Le même constat a été fait en 2019 (Benitez *et al.*, 2020). Tout comme l'année précédente, ces comportements sont normaux et semblent en lien avec le déroulement du cycle de vie de *S. salar*. En revanche, 2 mois après le repeuplement, la dispersion des alevins et des tacons sont remarquablement plus importantes quel que soit le stade. Ceux-ci étaient présents sur toutes les zones d'étude de chaque rivière du point de déversement jusqu'à la confluence. Mais, la distance séparant le point de déversement à la confluence mosane est un facteur important à considérer car celui-ci semble avoir influencé la distance parcourue par les jeunes saumons. C'est ce qui se remarque clairement sur les cartes de la Molignée et du Burnot.

Dans cette étude, 2 mois après le repeuplement, les taux de survie obtenus sont relativement faibles (*i.e.* 5,59% pour les AEVR et 4,34% pour les tacons), mais semblent cohérents si on les compare avec les résultats de fin d'expérimentation de l'année dernière (2,7% pour les AEVR et 4,6% pour les tacons) (Benitez *et al.*, 2020). Selon plusieurs auteurs, les causes des fortes mortalités des saumons après leur repeuplement sont : la prédation par des espèces ichtyophages, le retard dans l'adaptation à leurs nouveaux habitats, la territorialité, le régime alimentaire restreint, le non ajustement d'un comportement diurne correspondant à l'intensité de la dérive et l'existence des comportements inappropriés comme la perte du réflexe de fuite en face d'un prédateur (Aprahamian *et al.*, 2003 ; Orlov *et al.*, 2006 ; Rodewald *et al.*, 2011). Aussi, la période et le lieu de repeuplement, la sélection des géniteurs, le pré conditionnement et l'acclimatation (*i.e.* habituer les poissons aux aliments et aux conditions de rivière) sont responsables des faibles taux de survie (Aprahamian *et al.*, 2003). De plus, ces mortalités avaient été reliées en 2019 à la difficulté de pouvoir s'alimenter de façon exogène chez les AEVR. Cela pourrait également être à l'origine des fortes mortalités après leur déversement en milieux naturels. Ces raisons mises ensembles pourraient justifier les mortalités enregistrés au niveau des deux stades de saumons repeuplés. Toutefois, bien que les taux de survie dans cette expérimentation soient globalement comparables à ceux obtenus en 2019, ils sont néanmoins plus élevés chez les alevins émergents cette année (*i.e.* 5,59% cette année contre 3,8% en

2019). En revanche, les tacons présentent cette année un taux de survie (*i.e.* 4,34%) plus faible comparativement aux résultats de l'année précédente qui était de 8% à cette même période (Voir rapport final saumon Meuse de Benitez *et al.*, 2020). Ce constat suggère un probable effet des conditions de la rivière ; notamment des ressources alimentaires sur la survie des AEVR et des tacons. En effet, la disponibilité d'aliments en abondance, de tailles adéquates et répondant aux besoins des poissons repeuplés sont des éléments clés à l'origine de l'amélioration de leur survie (Weber *et al.*, 2014). Cette assertion renforce notre hypothèse étant donné que les taux de survie observés semblent plus liés à l'abondance spécifique et la taille des familles de macroinvertébrés consommables par les tacons dans le Samson, le Burnot et la Molinee.

Quant à la croissance spécifique, un effet station est également constaté entre les individus repeuplés au même stade. De la même manière que pour la survie, cet effet semble lié à la variation de l'abondance et de la qualité des ressources trophiques disponibles dans les différentes stations. En effet, au niveau des stations ayant reçu les AEVR, on remarque clairement que les SGR des alevins dans le Ry d'Oxhe et dans la Berwinne sont significativement meilleurs à celui enregistré dans le Ry de Feron. Ce qui signifie que les jeunes saumons des stations ayant les mêmes profils ou des profils assez proches en termes de ressources trophiques affichent les mêmes vitesses de croissances. Tandis que ceux des stations ayant des ressources trophiques de profils inférieurs (*i.e.* en termes de qualités nutritionnelles et/ou de densité) présenteraient des SGR faibles. Le Ry de Feron étant majoritairement composée de Gammaridae dans le benthos et de Simuliidae dans la dérive contrairement aux deux autres stations, on pourrait penser à un éventuel lien avec le faible SGR dans cette station. Cependant, malgré la forte représentativité de ces deux familles, rien ne justifie qu'elles sont les plus prédatées par les AEVR, puisque la forte sélectivité des proies consommées par les juvéniles du saumon atlantique a été déjà mis en évidence (Descroix, 2009). De plus, le contenu stomacal des jeunes saumons repeuplés n'a pas été étudié à cette étape de l'étude. En fait, l'étude est toujours en cours et l'objectif était d'éviter toutes opérations ou activités pouvant influencer les taux de survie des poissons à la fin. Aussi, il n'existe quasiment pas d'informations sur la composition nutritionnelle réelle de la plupart de ces invertébrés et de leurs effets sur la croissance des juvéniles de *S. salar* dans la littérature. Il est également envisageable que la température de l'eau lors de ces deux mois soit responsable de ce plus faible SGR. En effet, le Ry de Feron est alimenté à 200 mètres en amont de la zone de déversement par une eau souterraine. Cette hypothèse sera vérifiée à la fin de l'expérimentation dès que les données des sondes de température installées dans les 6 rivières d'étude seront analysées.

Concernant les tacons, à l'instar des AEVR, les mêmes observations sont faites au niveau de leur SGR. Mais, un effet station plus marqué est observé, car les taux de croissance spécifiques des tacons augmentent significativement d'une station à une autre (*i.e.* 1,6 %/j ; 2,38 %/j et 2,93 %/j respectivement dans la Molinee, le Burnot et le Samson). Le même schéma de vitesse de croissance a été déjà constaté au terme de l'expérimentation de 2019 avec des alevins émergents introduits dans ces stations (Voir rapport final saumon Meuse de Benitez *et al.*, 2020). La différence de densité des macroinvertébrés (benthiques et dérivants), leurs diversités spécifiques, leurs tailles et leurs apports nutritionnels seraient responsables de cette différence de SGR entre ces trois stations (*i.e.* la Molinee, le Burnot et le Samson).

Pour finir, au niveau de l'allométrie, Micha, (1973) rapporte qu'un coefficient b inférieur à 3 indique une meilleure croissance en longueur qu'en poids et inversement. En outre, un coefficient b égal à 3 signifie que le poids croît proportionnellement au cube de la longueur, traduisant ainsi une croissance isométrique. Dans cette étude, les coefficients b des alevins émergents sont tous inférieurs à 3 dans la Berwinne, le Ry d'Oxhe et le Ry de Feron, ce qui signifie qu'ils grandissent beaucoup plus vite en longueur plutôt qu'en poids. Toutefois, cette croissance en longueur ne semble pas très trop prononcée dans la Berwinne et le Ry d'Oxhe puisque les coefficients b sont assez proches de 3. Par contre, dans le Ry de Feron, la croissance en longueur est bien prononcée car le coefficient b qui est de 2,39 dans cette station est assez faible. Cette valeur paraît cohérente avec le faible taux de SGR observé dans le Ry de Féron. Cela pourrait donc corroborer l'hypothèse préalablement formulée sur les Gammaridae et les Simuliidae. En revanche, dans le Samson, le Burnot et la Mollignée, l'allométrie ne suit pas un schéma clair (*i.e.* minorante, symétrique ou majorante) chez les tacons. Cependant, les coefficients b obtenus sont globalement très proches de 3 ; ce qui indique que les tacons ont une croissance isométrique et par conséquent une allométrie normale. Des observations similaires ont été déjà faites avec les tacons de 0,68 g introduits dans le Samson en 2014 par Philippart *et al.* (2014).

Au regard des grands points abordés dans cette discussion, les alevins émergents à vésicule résorbée (AEVR) ont dans l'ensemble présenté les meilleurs résultats jusqu'à cette étape de l'étude. De ce fait, il semble plus judicieux de procéder aux repeuplements des 6 rivières, notamment la Berwinne, le Ry d'Oxhe et le Ry de Feron avec des AEVR pour quatre raisons. Premièrement, pour une même durée de vie en milieu naturel pour les deux stades, les taux de survie sont comparables. Deuxièmement, les AEVR passent moins de temps dans la salmoniculture et créent de ce fait la disponibilité d'infrastructures d'élevage pour d'autres cohortes. Troisièmement, ceux-ci n'ont jamais été nourris dans la salmoniculture, ce qui dispense le CosMos des charges liées à leur alimentation. Quatrièmement, un repeuplement précoce permet de s'affranchir de toutes dérives comportementales associées à la captivité.

5 Conclusion et perspectives

Cette étude semble d'intérêt car elle a permis de comprendre le comportement de dispersion, de connaître la survie, la croissance et l'allométrie de *S. salar* repeuplés à deux stades de vie précoces (*i.e.* les alevins émergents à vésicule résorbés et les tacons 0+) dans 6 rivières belges, affluentes directes de la Meuse. Elle a également permis de confirmer les résultats de l'année dernière. Bien que des données complémentaires à la fin de l'expérimentation en cours viendront appuyer certains résultats actuels, on peut déjà s'estimer heureux des résultats globalement obtenus avec les AEVR après 2 mois de vie en rivière. Ainsi, se basant sur ces résultats, un repeuplement avec des alevins émergents paraît plus judicieux.

Toutefois, des tests de nutriments en laboratoire avec des macroinvertébrés les plus disponibles (comme les Gammaridae, les Simuliidae,...) et les plus consommés par les jeunes saumons dans ces rivières paraissent indispensables afin de favoriser davantage le fitness des jeunes saumons après les repeuplements.

6 Références bibliographiques

- Aprahamian, M.W., Smith, K.M., McGinnity, P., McKelvey, S., et Taylor, J. (2003).** Restocking of salmonids-opportunities and limitations. *Fisheries Research*, 62(2), 211-227.
- Baglinière, J.L., Thibault, M., et Dumas, J. (1990).** Réintroductions et soutiens de populations du Saumon atlantique (*Salmo salar L.*) en France. *Revue d'écologie (Terre Vie)*, Suppl., 5, 299- 323.
- Ball, G. (2011).** Évolution des populations françaises de saumon atlantique (*Salmo salar L.*) et changement climatique (Doctoral dissertation, Rennes 1), 165 p.
- Baras, E., et Lucas, M.C. (2001).** Impacts of man's modifications of river hydrology on the migration of freshwater fishes: a mechanistic perspective. *International Journal of Ecohydrology & Hydrobiology*, 1(3), 291-304.
- Bardonnnet, A., et Baglinière, J.L. (2000).** Freshwater habitat of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57(2), 497-506.
- Bensettiti, F., et Gaudillat, V. (2004).** Espèce 1106, *Salmo salar*. 189-192. In Cahiers d'habitats Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 7 : Espèces animales. La Documentation française, 353 p.
- Beall E., et Marty C. (1983).** Reproduction du saumon atlantique (*Salmo salar L.*), en milieu semi-naturel contrôlé. *Bulletin français de pisciculture*, 289, 77-93.
- Benitez, J.P., Dierckx, A., Renardy, S., Nzau Matondo, B., Philippart, J.C., Mandiki, R., Erraud, A., Kestemont, P., et Ovidio, M. (2019).** Rapport final annuel 2019 au Service Public de Wallonie (D GARNE/DNF-SP) de la Subvention 2018-2019 relative au suivi scientifique de la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse. Université de Liège et Université de Namur, 159 p.
- Benitez, J.P., Erraud, A., Dierckx, A., Antipine, S., Renardy, S., Nzau Matondo, B., Kestemont, P., et Ovidio, M. (2020).** Rapport final annuel 2020 au Service Public de Wallonie (D GARNE/DNF-SP) de la Subvention 2019-2020 relative au suivi scientifique de la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse. Université de Liège et Université de Namur, 137 p.
- Bosc S., Menchi O., Maynadier L., Viguier C., et Baudoui P. (2015).** Production de juvéniles de saumon atlantique pour le repeuplement du bassin de la Garonne. *Migado –Production saumon Garonne*, 37 p.
- Circulaire DCE 2007/22. (2007).** Protocole de prélèvement et de traitement des échantillons des invertébrés pour la mise en oeuvre du programme de surveillance sur cours d'eau. Ministère de l'écologie et du développement durable 11 avril 2007. DE / MAGE / BEMA 07 / n°4.

Chapuis, M. (2008). Contribution à l'étude du transport solide par charriage en conditions naturelles (Torrent du Bouinec, Alpes-de-Haute-Provence) : mise en pratique de la technique de traçage de particules par radio-identification, Mémoire de Sciences de la Terre, de l'Univers et de l'Environnement, Grenoble, 112 p.

COSEPAC. (2006). Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur le saumon de l'Atlantique (*Salmo salar*) (population de l'intérieur de la baie de Fundy) au Canada – Mise à jour. Ottawa : Comité sur la situation des espèces en péril au Canada, 59 p.

Cowx, I.G. (1998). Fish passage facilities in the UK: issues and options for future development. In: M. Jungwirth, S. Schmutz & S. Weiss (eds), *Fish Migration and Fish Bypasses*. Oxford: Fishing News Books, Blackwell Science, 220-235.

Croze, O. (2008). Impact des seuils et barrages sur la migration anadrome du saumon atlantique (*Salmo salar* L.): caractérisation et modélisation des processus de franchissement (Doctoral dissertation, INPT), 331 p.

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 (Doctoral dissertation, Clermont-Ferrand 2), 309 p.

Dierckx, A., Benitez, J.P., Philippart, J.C., Bernard, B., Mandiki, R., Evrard, A., Kestemont, P., et Ovidio, M. (2017). Rapport final annuel 2017 au Service Public de Wallonie (D GARNE/DNF-SP) de la Subvention 2016-2017 relative au suivi scientifique de la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse. Université de Liège et Université de Namur, 144 p.

DFO. (2015). Special Report on Atlantic Salmon. Prepared by the Minister's Advisory Committee on Atlantic Salmon. *Department of Fisheries and Oceans Canada*. July 2015, 65 p.

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(4), 329 - 347.

Erraud, A. (2020), non publié. Le retour du saumon Atlantique dans le bassin Mosan. Projet Saumon Meuse, 23 p.

Eriksson, T., et Eriksson, L.O. (1993). The status of wild and hatchery propagated Swedish salmon stocks after 40 years of hatchery releases in the Baltic rivers. *Fisheries Research*, 18(1- 2), 147-159.

Fraser, N.H.C., et Metcalfe, N.B. (1997). The costs of becoming nocturnal: feeding efficiency in relation to light intensity in juvenile Atlantic salmon. *Functional Ecology*, 11(3), 385-391.

- Frechette, D.M. (2019).** Mouvements et utilisation de l'habitat par le saumon atlantique (*Salmo salar*) lors de la colonisation d'un nouvel habitat (Doctoral dissertation, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique), 134 p.
- Gaudin, P., Héland, M., et Vignes, J.C. (1995).** Stratégies d'utilisation de l'habitat par les alevins post-émergents de truite commune (*Salmo trutta*) et de saumon atlantique (*Salmo salar*). *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, (337-338-339), 199-205.
- Guéguen, J.C., et Prouzet, P. (1994).** Le saumon atlantique. Plouzané: IFREMER, 330 p.
- Héland, M., Gaudin, P., et Bardonnnet, A. (1995).** Mise en place des premiers comportements et utilisation de l'habitat après l'émergence chez les salmonidés d'eau courante. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, (337-338-339), 191-197.
- ICES. (2007).** Report of the Working Group on Working Group on North Atlantic Salmon (WGNAS), 11–20 April 2007, ICES Headquarters. International Council for the Exploration of the Sea report n°CM 2007/ACFM: 13, 253 p.
- Inman, D.L. (1952).** Measures for describing the size distribution of sediments. *Journal of Sedimentary Research*, 22(3), 125-145.
- Johnsson, J.I., Brockmark, S., et Näslund, J. (2014).** Environmental effects on behavioural development consequences for fitness of captive-reared fishes in the wild. *Journal of Fish Biology*, 85(6), 1946-1971.
- Jonsson, B., et Jonsson, N. (2004).** Factors affecting marine production of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 61, 2369–2383.
- Johansen, M., Thorstad, E.B., Rikardsen, A.H., Koksvik, J.I., Ugedal, O., Jensen, A.J., et Naesje, 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(1), 217-229.
- Klemetsen, A., Amundsen, P. A., Dempson, J. B., Jonsson, B., Jonsson N., O'connell, M. F., et 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), 1-59.
- Koed, A., Baktoft, H., et Bak, B.D. (2006).** Causes of mortality of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) smolts in a restored river and its estuary. *River research and applications*, 22(1), 69-78.
- Kottelat, M., et Freyhof, J. (2007).** Handbook of European freshwater fishes. Publications Kottelat, Cornol and Freyhof, Berlin, 646 p.

- Leung, E.S., Rosenfeld, J.S., et Bernhardt, J.R. (2009).** Habitat effects on invertebrate drift in a small trout stream: implications for prey availability to drift-feeding fish. *Hydrobiologia*, 623(1), 113-125.
- Losson, B., et Corbonnois, J. (2006).** Les modes de sédimentation détritique : nouvelle méthode de détermination appliquée à des remplissages endokarstiques, *Geologica Belgica*, 9, 257- 265.
- Malavoi, J.R., et Souchon, Y. (1989).** Méthodologie de description, quantification des variables morphodynamiques d'un cours d'eau à fond caillouteux: exemple d'une station sur la Fillière (Haute-Savoie)/A methodology for the description and the quantification of the morphodynamic variables along a gravel bed river: a reach of the Fillière river (Haute-Savoie) as an example. *Géocarrefour*, 64(4), 252-259.
- Malavoi, J.R., et Souchon, Y. (2002).** Description Standardisée Des Principaux Faciès D'écoulement Observables En Rivière: Clé De Détermination Qualitative Et Mesures Physiques. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, (365-366), 357-372.
- Malbrouck, C., Micha J-C., et Philippart, J.-C. (2007).** La réintroduction du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse : synthèse et résultats. Ministère de la Région wallonne, environnement.walonne.be/publi/education/saumon 2000, 25 p.
- Micha, J.C. (1973).** Etude des populations piscicoles de l'Oubangui et tentatives de sélection et adaptation de quelques espèces à l'étang de pisciculture ED. C.T.F.T., Paris, 110 p.
- Mocq, J. (2013).** Modélisation floue de l'habitat du saumon atlantique (*Salmo salar*). Thèse de doctorat, 176 p.
- 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, 33-40.
- Muus, B.J., et Nielsen, J.G. (1999).** Die Meeresfische Europas in Nordsee, Ostsee und Atlantik. Stuttgart (Kosmos-Naturführer), 336 p.
- National Research Council. (2004).** Atlantic Salmon in Maine. Washington, D.C.: National Academy Press, 304 p.
- Orlov, A.V., Gerasimov, Y.V., et Lapshin, O.M. (2006).** The feeding behaviour of cultured and wild Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in the Louvenga River, Kola Peninsula, Russia. *ICES Journal of Marine Science*, 63(7), 1297-1303.
- Otjacques, W. (2012).** Etude du potentiel d'accueil en saumons atlantiques *Salmo salar* L. de deux rivières salmonicoles de Wallonie : (l'Ourthe et le Samson). Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master des Organismes et Ecologie, 98 p.

Page, L.M., et Burr, B.M. (2011). A field guide to freshwater fishes of North America north of Mexico. Boston: Houghton Mifflin Harcourt, 663 p.

Parrish, D.L., Behnke, R.J., Gephard, S.R., McCormick, S.D., et Reeves, G.H. (1998). Why aren't there more Atlantic salmon (*Salmo salar*)? *Canadian Journal of Fish and Aquatic Sciences*, 55, 281-287.

Philippart, J.C. (2005). Le voyage périlleux des poissons grands migrateurs dans la Meuse. APAMLg asbl, Liège, 56 p.

Philippart, J.C., Dierckx, A., Matondo, B.N., Benitez, J.P., Poncin, P., Kestemont, P., Bernard, B., Mandiki, R., Evrard, A., et Ovidio, M. (2014). Rapport final annuel 2014 au Service Public de Wallonie (DGARNE/DNF-SP) de la Subvention 2013-2014 relative au suivi scientifique de la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse. Université de Liège et Université de Namur, 160 p.

Philippart, J.C., Ovidio, M., et Poncin, P. (2016). Le suivi des populations de poissons après repoissonnements. Cas du saumon atlantique et du barbeau fluviatile. *Forêt.Nature*, 141, 32- 39.

Rader, R.B. (1997). A functional classification of the drift: traits that influence invertebrate availability to salmonids. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54(6), 1211-1234.

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, 61 p.

Rochard, E., et Elie, P. (1994). La macrofaune aquatique de l'estuaire de la Gironde. Contribution au livre blanc de l'Agence de l'Eau Adour Garonne. *État des connaissances sur l'estuaire de la Gironde*. Bordeaux, France: Agence de l'Eau Adour-Garonne, 115 p.

Rodewald, P., Hyvärinen, P., et Hirvonen, H. (2011). Wild origin and enriched environment promote foraging rate and learning to forage on natural prey of captive reared Atlantic salmon parr. *Ecology of Freshwater Fish*, 20(4), 569-579.

Schmidt, G.W. (1996). Wiedereinbürgerung des Lachses *Salmo salar* L. Nordrhein-Westfalen—Allgemeine Biologie des Laches sowie Konzeption und Stand des Wiedereinbürgerungsprogramms unter besonderer Berücksichtigung der Sieg. *LÖBF-Schriftenreihe*, 11, 1-194.

Schneider, J. (2011). Review of reintroduction of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in tributaries of the Rhine River in the German Federal States of Rhineland-Palatinate and Hesse. *Journal of Applied Ichthyology*, 27, 24-32.

Scott, W.B., et Crossman, E.J. (1973). Freshwater fishes of Canada. *Fisheries Research Board of Canada. Bull.*, 184, 1-966.

Spillman, C.-J. (1961). Faune de France : Poissons d'eau douce. Fédération Française des Sociétés Naturelles, Tome 65. Paris, 303 p.

Weber, N., Bouwes, N., et Jordan, C. E. (2014). Estimation of salmonid habitat growth potential through measurements of invertebrate food abundance and temperature. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 71(8), 1158-1170.

Wentworth, C.K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *The journal of geology*, 30(5), 377-392.

Wolman, M.G. (1954). A method of sampling coarse river-bed material. *EOS, Transactions American Geophysical Union*, 35(6), 951-956.

WWF. (2001). The status of wild Atlantic salmon: A river by river assessment, 172 p.

Sites web:

- 1- https://www.researchgate.net/figure/Routes-de-migration-et-zones-dengraissement-des-populations-mondiales-de-saumon_fig8_321304227.
- 2- <https://images.app.goo.gl/naea1DmxD3Sxtbv9>.

7 Annexes

Annexe 1: Temps minimum et maximum indicatifs pour le tri et la quantification d'un seul prélèvement unitaire pour un type de substrat donné. La durée minimale du temps de tri par substrat correspond à la valeur moyenne permettant d'obtenir 80% de la richesse taxonomique du prélèvement considéré.

Nature du substrat	Durée de tri minimum	Durée de tri maximum
Bryophytes	50 min	1h20
Spermapytes immergés (hydrophytes)	40 min	1h05
Déchets organiques grossiers (litières)	45 min	1h05
Chevelus racinaires, supports ligneux	50 min	1h05
Sédiments minéraux de grande taille (pierres, galets) (25 à 250 mm)	25 min	45 min
Blocs (> 250 mm) inclus dans une matrice d'éléments minéraux de grande taille (25 à 250 mm)	50 min	1h30
Granulats grossiers (gravier) (2 à 25 mm)	40 min	50 min
Spermapytes émergents de strate basse (hélophytes)	15 min	20 min
Vases : sédiments fins (< 0,1 mm) avec déchets organiques fins	40 min	1h00
Sables et limons (< 2 mm)	25 min	35 min
Algues	50 min	1h25
Surfaces uniformes dures naturelles et artificielles (roches, dalles, marnes et argiles compactes)	Non renseigné	Non renseigné

Annexe 2 : Occurrence des ordres et taxa des macroinvertébrés benthiques dans les stations d'étude.

Ordre	Taxa	Berwinne	Ry d'Oxhe	Ry de Feron	Burnot	Molignée	Samson
		Fréquence (%)					
Coléoptère	Chrysomelidae	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00
	Elmidae	0,26	5,57	1,49	2,39	16,82	0,00
	Total (%)	0,26	5,72	1,49	2,39	16,82	0,00
Diptère	Ceratopogonidae	0,53	0,30	0,00	0,00	0,22	0,00
	Chironomidae	43,80	20,93	16,27	18,60	4,71	4,53
	Limoniidae	0,00	1,51	0,45	0,37	2,02	0,00
	Sciomyzidae	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Simuliidae	2,90	6,33	4,18	14,18	6,05	1,57
	Total (%)	47,49	29,07	20,90	33,15	13,00	6,10
Ephéméroptère	Baetidae	29,55	8,89	2,24	11,42	26,91	36,93
	Caenidae	2,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Ephemerellidae	16,89	18,22	14,18	16,76	15,70	25,96
	Ephemeridae	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,96
	Leptophlebiidae	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total (%)	49,08	27,11	16,42	28,18	42,60	65,85
Oligochète	haplotaxidae	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Lumbriculidae	0,00	0,00	0,00	0,00	1,79	0,00
	Total (%)	0,26	0,00	0,00	0,00	1,79	0,00
Tricoptère	Glossosomatidae	0,00	0,00	0,00	0,55	0,00	0,00
	Hydropsychidae	0,53	1,05	0,00	5,89	3,36	6,27
	Hydroptilidae	0,00	0,00	0,00	0,55	0,00	0,00
	Psychomyiidae	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52
	Rhyacophilidae	0,53	0,15	1,64	1,47	4,04	1,22
	Total (%)	1,06	1,20	1,64	8,47	7,40	8,01
Triclade	Dugesiidae	0,00	0,00	5,22	0,00	0,45	0,00
Achète	Glossiphoniidae	1,06	0,00	0,00	0,00	0,45	0,00
Amphipode	Gammaridae	0,00	36,30	54,33	27,07	17,49	19,16
Veneroïda	Sphaeriidae	0,00	0,45	0,00	0,00	0,00	0,00
Gastéropode	Ancylidae	0,53	0,15	0,00	0,74	0,00	0,17
Nématode	Nematoda	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Nymphe*	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35
	Terrestre*	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35

* ne sont pas des taxa ; mais considérés tels dans cette étude pour faciliter les calculs

Annexe 3 : Occurrence des ordres et taxa des macroinvertébrés dérivants dans les stations d'étude

		Berwinne	Ry d'Oxhe	Ry de Feron	Molignée	Burnot	Samson
Ordres	Taxa	Fréquence (%)					
Coléoptère	Chrysomelidae	1,84	1,67	0,00	3,04	4,51	6,72
	Dytiscidae	0,00	0,00	0,00	7,90	0,00	0,00
	Elmidae	1,84	11,16	4,94	3,04	12,41	1,98
	Hydrophilidae	0,00	6,69	0,00	0,00	6,77	0,00
	Total (%)	3,68	19,52	4,94	13,98	23,69	8,70
Diptère	Bibionidae	1,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Chironomidae	18,10	5,58	6,91	6,08	3,38	4,35
	Simuliidae	15,23	15,62	37,53	9,12	1,69	24,11
	Total (%)	35,16	21,20	44,45	15,20	5,08	28,46
Ephéméroptère	Baetidae	13,78	8,70	3,95	11,40	6,77	6,32
	Caenidae	4,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Ephemerellidae	10,11	11,16	2,63	9,12	11,12	7,11
	Ephemeridae	3,68	6,69	4,94	0,00	0,00	0,00
	Heptageniidae	0,00	0,00	7,90	0,00	0,00	0,00
	Total (%)	32,47	26,55	19,42	20,52	17,89	13,44
Hémiptère	Mesoveliidae	1,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Notonectidae	1,84	1,67	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total (%)	3,68	1,67	0,00	0,00	0,00	0,00
Tricoptère	Hydropsychidae	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,14
	Hydroptilidae	0,00	0,00	0,00	0,00	8,46	0,00
	Rhyacophilidae	1,84	0,00	0,99	16,72	0,00	1,19
	Total (%)	1,84	0,00	0,99	16,72	8,46	6,32
Amphipode	Gammaridae	0,00	9,08	6,40	10,64	8,85	0,40
Plécoptère	Capniidae	0,00	0,00	1,98	0,00	0,00	0,00
Triclade	Dugesiiidae	0,00	0,00	5,93	0,00	0,00	0,00
Tricoptère	Glossosomatidae	0,00	0,00	0,00	7,60	8,46	2,37
Isopode	Asellidae	4,90	3,35	1,96	1,52	0,00	0,00
Décapode	Astacidae	0,00	0,00	0,00	0,00	3,38	0,39
-	Nymphe*	7,61	9,62	6,85	9,12	10,83	3,56
-	Terrestre*	10,66	9,01	7,08	4,70	13,36	36,36

Annexe 4 : Photos de quelques macroinvertébrés.



Gammaridae



Hydropsychidae



Simuliidae



Baetidae



Chironomidae



Limoniidae



Rhyacophilidae



Elmidae



Chrysomelidae



Ephemerellidae



Asellidae



Nymphes de diptères