



Service public
de **Wallonie**

**DIRECTION GENERALE OPERATIONNELLE AGRICULTURE,
RESSOURCES NATURELLES ET ENVIRONNEMENT
DEPARTEMENT DE LA NATURE ET DES FORETS**

SUBVENTION D'ETUDE RELATIVE A LA REHABILITATION DU SAUMON ATLANTIQUE DANS LE BASSIN DE LA MEUSE

Rapport final février 2023 - janvier 2024



UNIVERSITÉ DE LIEGE

J.P. BENITEZ, A. DIERCKX, R. CAPARROS MEGIDO, S. RENARDY, C. VOM BERGE, P. HUBERT,

G. JEHAES, J. GELDER, B. NZAU MATONDO, J.C. PHILIPPART, M. OVIDIO (coordinateur)

Service de Gestion des Ressources Aquatiques et Aquaculture (UGERAA)

Laboratoire de Démographie des Poissons et d'Hydroécologie (LDPH)

22 quai E. Van Beneden, 4020 Liège

En collaboration avec

Avec le Laboratoire d'Entomologie Fonctionnel et Evolutive (GxABT-ULiège)

Table des matières

1. INTERCEPTION DES GÉNITEURS DE SAUMONS ET TRUITES DE MER DANS L'AXE MEUSE-OURTHE ET POURSUITE DES MONITORING CONTINUS DES PASSES À POISSONS DE LIXHE ET DES GROSSES-BATTES	4
1.1 Contrôle des remontées dans la grande échelle à poissons de Lixhe sur la Meuse en 2023	5
1.2 Contrôle des remontées dans l'échelle des Grosses Battes (Angleur) sur l'Ourthe en 2023	11
1.3 Bilan des remontées de salmonidés en 2023 dans le bassin de la Meuse et évolution temporelle	15
1.4 Faits marquants en 2023 et recommandations	23
2 MONITORING DE LA PETITE ÉCHELLE À POISSONS DE LIXHE POUR LA CAPTURE DES ANGUILLES EUROPÉENNES DURANT LEUR MIGRATION VERS L'AMONT	24
2.1 Contrôle des remontées dans la petite échelle à poissons de Lixhe sur la Meuse en 2020	25
3 CARACTERISATION DES COMPORTEMENTS DE REMONTEE DES POISSONS DANS L'AXE FORME PAR LA MEUSE, EN AMONT DU BARRAGE DE LIXHE, VIA LES BARRAGES DE MONSIN ET D'IVOZ-RAMET ET FORME PAR LA BASSE OURTHE EN AMONT DU BARRAGE D'ANGLEUR/ GROSSES BATTES.....	32
3.1 Présentation des sites et du système de détection automatique.....	33
3.2 Caractérisation de la migration de remontée dans l'axe Meuse entre Lixhe, Monsin, Ivoz-Ramet et Grosses Battes de poissons marqués par puce RFID à Lixhe au cours de l'année 2022	39
4 Evaluation de l'utilisation du bassin de la Berwinne dans le contexte de la réintroduction du saumon (UNamur/ ULiège).....	45
4.1 Contexte sur la Berwinne	46
4.2 Matériel et méthode.....	46
4.3 Résultats	59
4.4 Conclusion.....	81
5 Références bibliographiques	83

INTRODUCTION

Le présent rapport final intègre les travaux de l'Université de Liège dans la cadre de la convention relative à la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse pour la période février 2023 - janvier 2024.

Comme les années antérieures, nous tenons à remercier collectivement toutes les personnes et institutions qui ont accordé leur appui financier et/ou logistique à la réalisation des études et actions décrites dans ce rapport et ont ainsi contribué à la progression du projet ' Saumon Meuse'. Nous remercions spécialement M. Willy BORSUS, Ministre de l'Économie, de la Recherche et de l'Innovation, du Numérique, de l'Agriculture, de l'Urbanisme et de l'Aménagement du territoire, de l'IFAPME et des Centres de Compétence qui a accepté d'accorder la subvention 2022-2023 aux équipes universitaires et Mme VANACHTER pour leur suivi. Nos remerciements s'adressent aussi aux Services concernés du Service Public de Wallonie (SPW) qui ont participé au projet d'une manière ou d'une autre. Il s'agit spécialement du SPW-ARNE-DNF (Direction de la Chasse et de la Pêche, Directeur P. VILLERS; Service Pêche, Directeur F. Dumonceau), du SPW – MI (Direction des Etudes Environnementales et paysagères, M. Dubois; Direction de la Gestion hydrologique, P. DIERICKX) et du SPW- ARNE, DDRCB (Direction des Cours d'Eau Non Navigables, S. GAYET).

Nous remercions aussi particulièrement l'équipe du Service de la Pêche de la DNF, représenté par son Directeur F. Dumonceau ainsi que ses agents sur le terrain. Nous remercions aussi toute l'équipe du CoSMos d'Erezée pour leur collaboration très appréciée et pour l'appui aux contrôles des pièges de capture (coordination Y. NEUS). Merci à tous les membres du comité d'accompagnements du projet pour leur participation active aux réunions.

Références du rapport

BENITEZ, J.P., DIERCKX, A., CAPARROS MEGIDO, R., RENARDY, S., VOM BERGE C., HUBERT, P., JEHAES, G., GELDER, J., NZAU MATONDO, B., PHILIPPART, J.C. & OVIDIO, M. (2024). Rapport final annuel 2023 au Service Public de Wallonie (DGARNE/DNF-SP) de la Subvention 2023-2024 relative au suivi scientifique de la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse. Université de Liège, 83 pages.

1. INTERCEPTION DES GÉNITEURS DE SAUMONS ET TRUITES DE MER DANS L'AXE MEUSE-OURTHE ET POURSUITE DES MONITORING CONTINUS DES PASSES À POISSONS DE LIXHE ET DES GROSSES-BATTES

1.1 Contrôle des remontées dans la grande échelle à poissons de Lixhe sur la Meuse en 2023

Le barrage de Lixhe, construit en 1980, est le premier barrage en Meuse belge, situé à 323km en amont de la Mer du Nord (Fig.1). Avec une différence de hauteur de 8m et équipé de 6 vannes mobiles, il a pour vocation la navigation ainsi que la production d'hydroélectricité par le biais de 4 turbines situées en rive droite, avec un débit de fonctionnement maximum de 340 m³/s (23000 KW). A sa construction en 1980, une première passe à poissons (P1, Fig.2) a été aménagée au centre du barrage entre le rejet des turbines et les vannes mobiles. La seconde passe à poissons installée en rive droite (P2, Fig. 2), a été construite en 1998, afin de favoriser le passage vers l'amont de grands migrateurs, car elle dispose d'un débit de fonctionnement plus important (1m³/s). Sa configuration est de type « passe à bassins à fentes verticales » et elle est associée à un débit d'attrait de 2m³/s (Da, Fig. 2) afin d'augmenter son attractivité. Le piège consiste en une cage de capture installée dans le bassin le plus amont de la passe (PC₂, Fig.2).

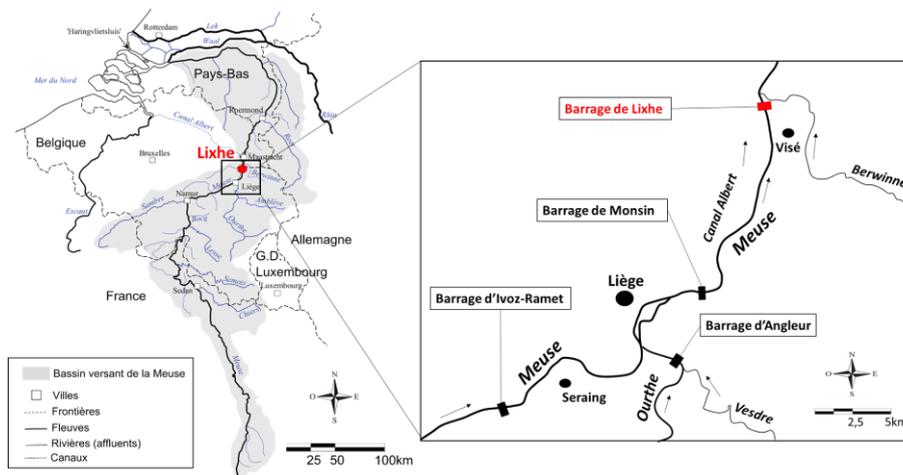


Fig.1 : Schéma du bassin hydrographique de la Meuse avec un zoom sur la basse Meuse et la localisation du barrage de Lixhe

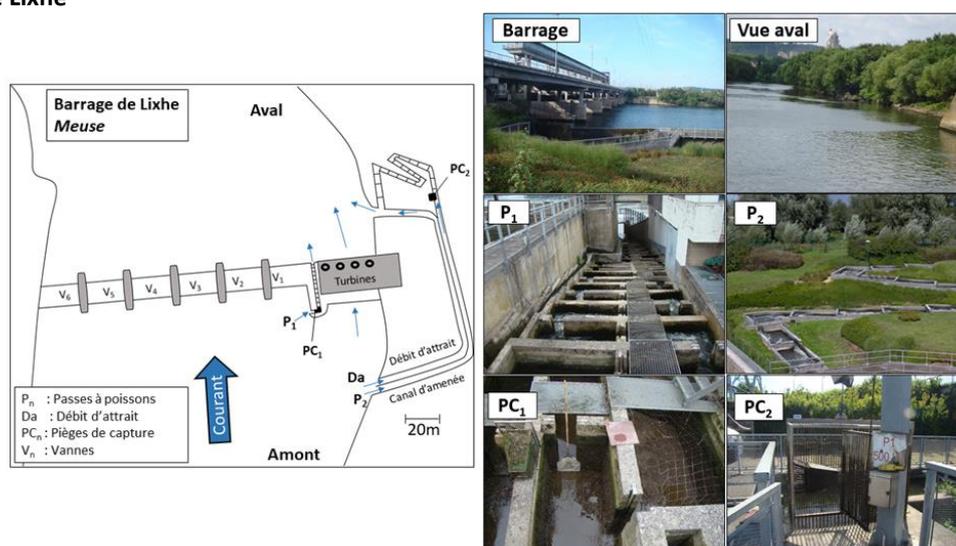


Fig.2 : Schéma du barrage de Lixhe sur la Meuse à gauche et à droite, les photos du barrage, de l'aval du barrage, des deux passes à poissons et de leur piège de capture

1.1.1 Conditions de réalisation de l'étude

Les contrôles de la grande échelle à poissons (GE) en 2023 (25^{ème} année consécutive) ont été réalisés du 5 janvier au 21 décembre 2023 (n=91 contrôles).

Régimes de débit et de température

Les débits de la Meuse à Lixhe sont disponibles grâce aux relevés du SETHY-SPW (Station 54511002 – Visé basse Meuse) et la température de l'eau via des enregistrements automatiques en continu spécialement mis en place par l'ULiège sur le site de Lixhe via un logger de température (Hobo®).

- En 2023 (Fig.3), le débit de la Meuse est moyennement élevé (>400m³/s) durant le mois de janvier avec un pic à 1183m³/s enregistré le 16-01-23. Le débit redescend sous le seuil de 200 m³/s début février puis remonte début mars >400m³/s, pour redescendre sous les 200m³/s mi-avril, avec des minimas de <15 m³/s en juillet et aout. Enfin, le débit repasse au-dessus de la barre des 400m³/s du 31-10-23 jusque fin de l'année. En moyenne en 2023, le débit de la Meuse à Visé est de 253m³/s contre 148m³/s en 2022, 264m³/s en 2021 et 229m³/s en 2020 avec une valeur minimum de 8,7m³/s et maximum de 1215m³/s.
- Début 2023, on enregistre des températures moyennes journalières de la Meuse proches de 10°C mais repasse ensuite sous cette barre jusque mi-mars. Ensuite, la température monte progressivement pour atteindre 20°C le 01-06-23. La température est supérieure à 20°C entre juin et septembre avec un pic à 25,2°C le 25 juin. A partir du 20 septembre, on enregistre ensuite une diminution progressive, lorsque la température de l'eau repasse sous le seuil des 10°C le 23 novembre jusque fin de l'année. La température moyenne de 2023 est de 14,8°C contre 15,3°C en 2022, 13,9°C en 2021 et 14,9°C 2020.

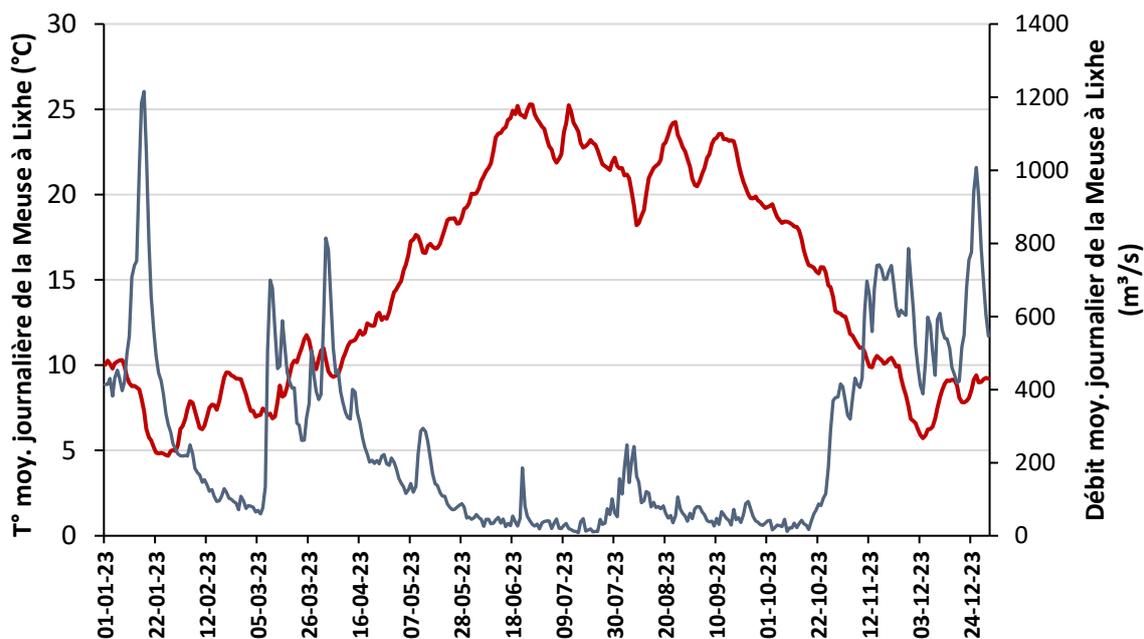


Fig.3 : Températures (°C) et débits (m³/s) moyens journaliers de la Meuse à Visé-Lixhe en 2023 (source : SETHY-SPW pour le débit).

1.1.2 Description générale des captures

Le nombre total de captures dans la grande échelle à poissons de Lixhe en 2023 s'élève à n=642 poissons pour une biomasse totale de 1192,7kg. On dénombre 12 espèces différentes dont 3 espèces non indigènes (le silure, l'aspe et la carpe herbivore). Les espèces rhéophiles représentent 19,6% des captures contre 80,4% pour les non rhéophiles (ubiquistes et limnophiles). L'espèce la plus abondante est la brème commune avec n= 436 individus suivie de l'aspe (n=56) et le gardon (n=49).

Tableau 1 : Statistiques des captures des poissons au sein de la grande échelle à poissons du barrage de Lixhe en Meuse entre janvier et décembre 2023

Espèce	N	Taille (mm)			Biomasse totale (kg)
		Moy.	Min.	Max.	
Saumon atlantique	3	818	741	862	14,1
Truite de mer	1	500	500	500	1,4
Barbeau	4	374	145	630	6,6
Hotu	30	423	379	478	37,2
Chevaine	31	400	322	453	35,9
Ide	1	515	515	515	2,0
Aspe*	56	507	435	570	91,6
Total rhéophiles	126				188,8
Brème commune	436	452	190	550	675,6
Carpe	9	736	622	900	79,8
Carpe herbivore*	1	900	900	900	12,2
Gardon	49	283	164	404	25,1
Silure*	21	1108	894	1620	211,2
Total non rhéophiles	516				1004
Total	642				1192,8

*espèces non indigènes

1.1.3 Analyse spécifique des captures de salmonidés à Lixhe en 2023

1.1.3.1. Saumon atlantique

Les captures de saumons atlantiques dans la GE de Lixhe en 2023 s'élèvent à **n=3 pour une biomasse de 14,3kg**. En 2023 (tableau 2), on observe deux dates de capture, la première le 5 juin et la seconde le 9 juin avec une température de la Meuse comprise entre 20,8°C et 21,8°C (moyenne de capture de 21,1°C). Les débits enregistrés lors des différentes captures sont de 33,2m³/s et de 45,4m³/s avec un débit moyen de capture de 41,3m³/s. Aucune seconde période de capture n'a été observée durant l'automne comme c'est le cas habituellement. Aucun regroupement de saumon n'a été observé en rive gauche comme ce fut le cas en 2019 et en 2020.

Tableau 2 : Liste des saumons adultes (n=3) capturés à Lixhe dans la passe à poissons au cours de l'année 2023.

Date	Technique de capture	Taille (lf,mm)	Poids (g)	Sexe	T° (°C)	Débit (m³/s)	Mort
05-06-23	Cage Lixhe	852	4397	Ind.	20,8	45,4	A Erezée
05-06-23	Cage Lixhe	741	3962	M	20,8	45,4	Non
09-06-23	Vidange PAP	862	5987	Ind.	21,8	33,2	A Lixhe

1.1.3.2. Truite de mer et de rivière

En 2023, on enregistre la capture de n=1 truite commune, type truite de mer, dans la grande échelle de Lixhe pour une biomasse de 1,4Kg (Tableau 3). Cet individu de type truite de mer (capture au printemps) possède une taille de 500mm et a été transféré à la pisciculture d'Erezée en vue de réaliser des reproductions artificielles.

Tableau 3 : Liste des truites communes adultes (n=1) capturées dans la grande échelle à poissons du barrage de Lixhe au cours de l'année 2023.

Date	Type	Technique de capture	Taille (lf,mm)	Poids (g)	T° (°C)	Débit (m³/s)	Mort dans la cage
06-07-23	Truite de mer	Cage	500	1446	21,88	45,83	Non

1.1.4 Evolution historique des captures de 1999 à 2023 pour quelques espèces cibles

1.1.4.1. Cyprinidés rhéophiles

On enregistre entre 1999 et 2023, la capture de n=768 chevaines, n=353 barbeaux et n=368 hotus. On note une forte variabilité interannuelle dans les captures de cyprinidés rhéophiles (Fig.5).

- N=4 **barbeaux** ont été capturés en 2023. Bien qu'aucun barbeau n'ait été capturé en 2022, l'effectif de 2023 reste faible par rapport à la période 2008 – 2015 avec plus de 15 barbeaux par an.
- N=31 **chevaines** ont été capturés en 2023, ce qui constitue un effectif comparable aux années antérieures. A noter que 2005 reste l'année où l'on comptabilise le plus grand nombre de chevaines avec 81 individus.
- Pour les **hotus**, l'effectif de 2023 avec n=30 individus représente la 4^{ème} meilleure année depuis 1999, mais inférieur à l'effectif de 2022 (n=90).

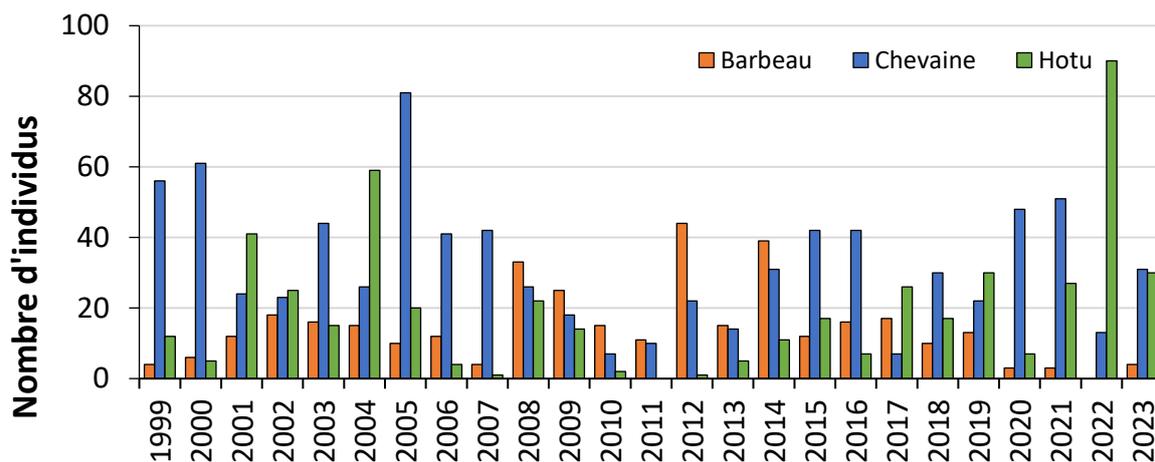


Fig.5 : Evolution du nombre de barbeaux, de chevaines et de hotus capturés en remontée dans la grande échelle à poissons du barrage de Lixhe sur la Meuse de 1999 à 2023.

1.1.4.2. Gardon et brème commune

- Les captures de **gardons** en 2023 (n=49) sont plus faibles que les dernières années (2018 à 2021 : n>100 individus mais semblables à l'effectif observé en 2022 (n=59). L'année avec le plus grand nombre de gardon depuis 2010 est l'année 2018 avec 713 individus (Fig.6). L'année 2023 représente la troisième année avec le plus faible effectif capturé depuis 2010.
- Pour la **brème commune**, après une diminution importante des captures entre 2011 et 2015 (de 1000 individus capturés par an à une centaine par an), une stabilisation entre 2016 et 2019 avec <150 ind./an, on observe une augmentation des captures pour la période de 2021 à 2023 avec un effectif entre 402 individus en 2021 et 671 en 2022 (Fig.8).

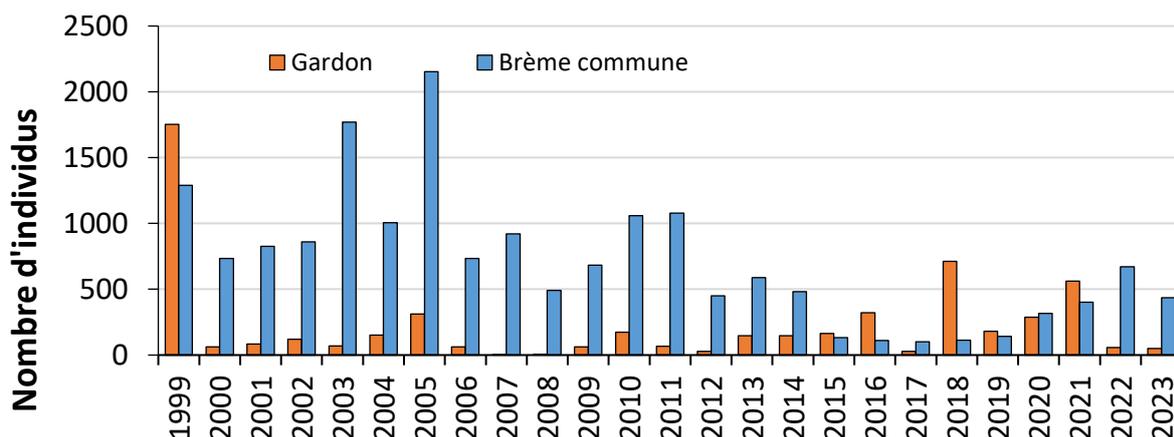


Fig.6 : Evolution du nombre de gardons et de brèmes communes capturés en remontée dans la grande échelle à poissons du barrage de Lixhe sur la Meuse de 1999 à 2023.

1.1.4.3. Aspe et silure

Pour ces deux espèces non indigènes, on observe depuis 2008 une tendance à l'augmentation du nombre de capture (Fig.7), plus marquées pour l'aspe et plus variable pour le silure :

- Avec un nombre croissant de captures depuis 2014, le nombre d'aspes en 2022 représentait, depuis 1999, l'année avec le plus grand nombre de captures avec n=418 individus, un nombre 4,5 fois supérieur à celui de 2020. Néanmoins, l'effectif de 2023 est bien plus faible avec 56 captures.
- Après une forte augmentation des captures de silures en 2017, avec un total de 43 individus capturés à Lixhe, comme en 2021 (n=20) et 2022 (n=20), l'effectif de l'année 2023 est de n=21 captures. Le nombre d'individus capturés dans l'échelle à poissons de Lixhe continue de se stabiliser entre 20 et 30 individus par an depuis 2018.

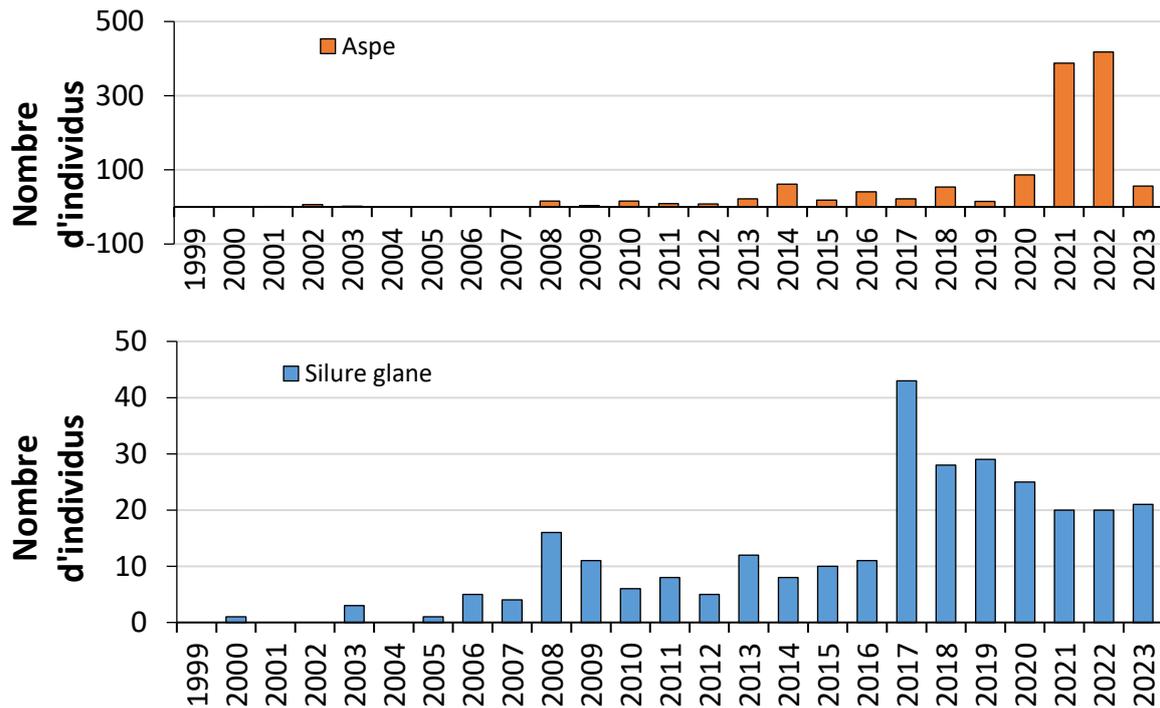


Fig.7 : Evolution du nombre d'aspes et de silures capturés en remontée dans la grande échelle à poissons du barrage de Lixhe sur la Meuse de 1999 à 2023.

1.2 Contrôle des remontées dans l'échelle des Grosses Battes (Angleur) sur l'Ourthe en 2023

Le barrage d'Angleur est un barrage rampe de 90m de long avec une Dh de 4m, qui est situé dans la basse Ourthe (Fig.8), dans une zone à barbeau (Huet, 1949). En rive gauche, il est équipé de deux vannes mobiles afin de réguler le débit (Fig.9). En 2009, une passe à poissons a été aménagée entre les vannes et le barrage afin de remplacer une ancienne passe Denil, qui était peu fonctionnelle. La configuration est de type « passe à bassins à fentes verticales » avec un débit de fonctionnement de $0,5\text{m}^3/\text{s}$ et elle est associée à un débit d'attrait de $1,5\text{m}^3/\text{s}$. Depuis décembre 2020, une passe à poissons de type « passes à bassins à fentes verticales » a été installée en rive droite (Fig.10), associée à la nouvelle centrale hydroélectrique. Les pièges consistent en des cages de capture dans le bassin amont et sont contrôlés durant toute l'année de 2 à 3 fois par semaine. Les poissons capturés sont simplement dénombrés par espèce, catégorisés par taille puis déversés en amont du barrage. Cependant depuis la crue de juillet 2021, les passes sont opérationnelles depuis mars 2022 pour la passe en rive droite et depuis fin juin 2022 pour la passe en rive gauche.

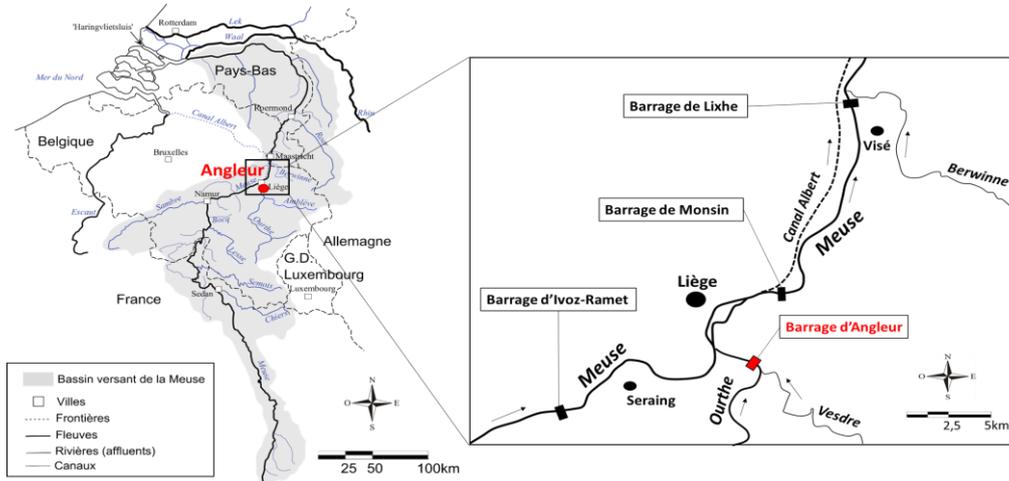


Fig.8 : Schéma du bassin hydrographique de la Meuse avec un zoom sur la basse Ourthe et la localisation du barrage des Grosses Battes

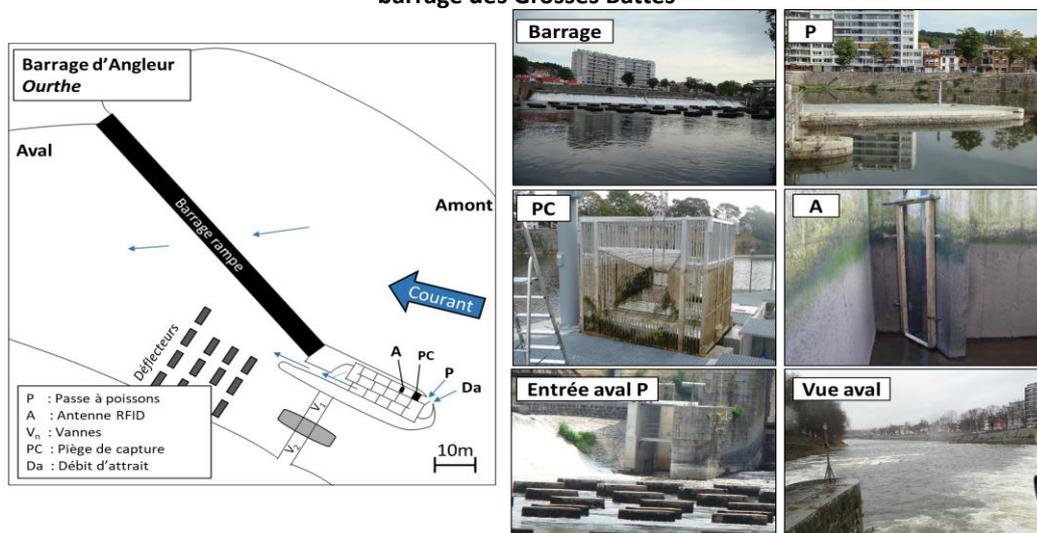


Fig.9 : Schéma du barrage des Grosses Battes sur l'Ourthe à gauche et à droite, les photos du barrage, de l'aval du barrage, de la passe à poissons et du piège de capture



Fig.10 : Vue aval de la nouvelle passe à poissons installées en rive droite (à gauche) et photo de la cage de capture installée dans le bassin le plus en amont (à droite).

1.2.1 Conditions de réalisation de l'étude

Les contrôles de l'échelle à poissons des Grosses Battes en 2023 ont été réalisés du 5 janvier au 1er décembre (n=142 contrôles, n= 59 RG et n= 83 RD).

Régimes de débit et de température

Les débits de l'Ourthe à Angleur sont disponibles grâce aux relevés du SETHY-SPW (Station 580800C2 –Angleur Ourthe bis) et les températures de l'eau via des enregistrements automatiques en continu spécialement mis en place par l'ULiège sur le site des Grosses Battes via un logger de température (Hobo®).

- En 2023 (fig.11), le débit de l'Ourthe est en moyenne de $65,2\text{m}^3/\text{s}$ contre une moyenne de $38,7\text{m}^3/\text{s}$ en 2022, de $66,1\text{m}^3/\text{s}$ en 2021 et de $51,8\text{m}^3/\text{s}$ en 2020. On observe en hiver, plusieurs pics importants de débit durant lesquelles on enregistre des valeurs $>200\text{m}^3/\text{s}$. Le débit repasse sous le seuil de $100\text{m}^3/\text{s}$ le 7 avril 2023, pour ensuite diminuer progressivement jusque fin octobre avec une valeurs $<30\text{m}^3/\text{s}$. La valeur minimale est observée le 22 juillet 2023 avec un débit de $7\text{m}^3/\text{s}$.
- Début 2023, on enregistre des températures moyennes journalières de l'Ourthe inférieures à 10°C jusqu'au 11 avril 2023. Ensuite, la température monte progressivement pour dépasser les 15°C le 8 mai 2022. Avec une température maximale de $24,1^\circ\text{C}$, la température moyenne annuelle est de $12,4^\circ\text{C}$ en 2023 contre $12,9^\circ\text{C}$ en 2022.

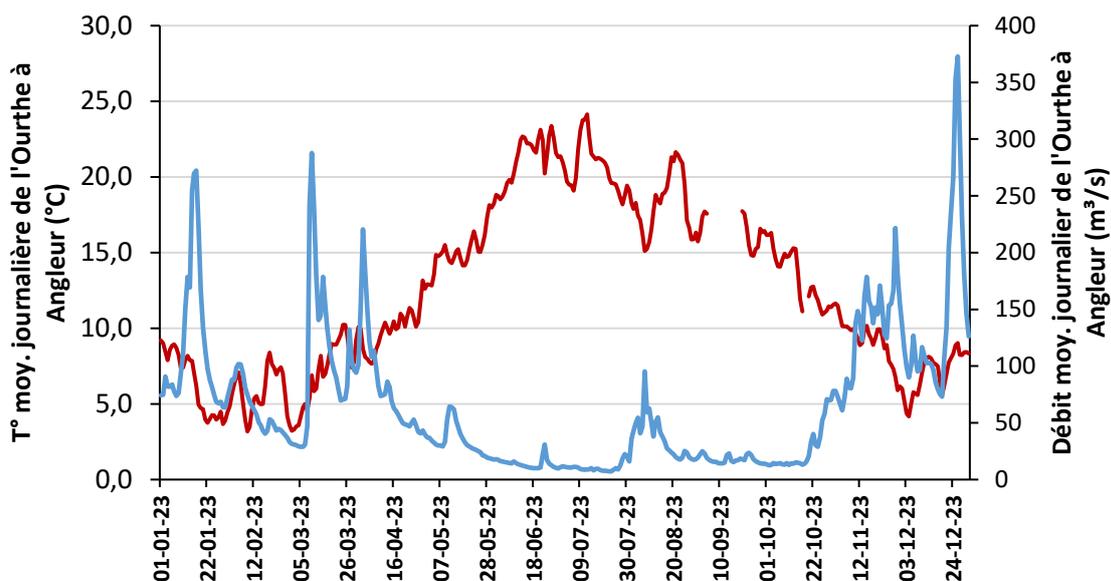


Fig.11 : Température (°C) et débits moyens journaliers (m³/s) de l'Ourthe à Angleur en 2023 (source : SETHY SPW pour le débit).

1.2.2 Description générale des captures de 2023

Le nombre total de captures aux Grosses Battes en 2023 pour les deux passes, s'élève à n=376 poissons (Tableau 4). On dénombre 16 espèces différentes dont 3 espèces non indigènes (le silure, l'aspe et la carpe koi). Les espèces rhéophiles représentent 44,6% des captures. L'espèce la plus abondante est le chevaine avec n=127 individus. On constate une plus grande proportion d'individus rhéophiles dans la passe en rive droite par rapport à la passe en rive gauche.

Tableau 4 : Statistiques des captures des poissons au sein des échelles à poissons des Grosses Battes en rive droite (RD) et en rive gauche (RG) sur l'Ourthe entre janvier et décembre 2023.

Espèces	RG	RD	Total
Saumon atlantique	1	0	1
Truite de mer	1	0	1
Barbeau	11	22	33
Chevaine	65	62	127
Hotu	0	5	5
Aspe	0	1	1
Espèces rhéophiles	78	90	168
Brème bordelière	1	0	1
Brème commune	113	14	127
Carassin	1	0	1
Carpe	26	5	31
Gardon	6	1	7
Carpe Koi	1	0	1
Silure	24	15	39
Tanche	1	0	1
Espèces non rhéophiles	173	35	208
Total	251	125	376

1.2.3 Analyse spécifique des captures de salmonidés en 2023

1.2.4.1. Saumon atlantique

En 2023, n=1 saumon atlantique (n=1 en RG) a été capturé dans les passes à poissons des Grosses Battes (Tableau 5) avec une taille de 825mm. La capture a été observée le 12 mai, lorsque la température de l'Ourthe était de 14,3°C et le débit de 63m³/s.

Tableau 5. Information du saumon adulte capturés dans les passes à poissons du barrage des Grosses Battes en rive gauche (RG) et en rive droite (RD) à Angleur sur l'Ourthe au cours de l'année 2023.

Date	Lieu de capture	Taille (mm)	Poids (g)	T° (°C)	Débit (m ³ /s)
12-05-23	RG	825	5110	14,3	63

1.2.4.2. Truite de mer

On observe la capture d'un individu (Tableau 6) dans la passe à poissons des Grosses Battes en RG sur l'Ourthe à Angleur. L'individu d'une taille de 540mm, a été capturé le 30 mai 2023 lorsque la température de l'Ourthe était de 18°C et le débit de 18,1m³/s.

Tableau 6 : Caractéristiques de la truite communes adulte capturée dans les passes à poissons du barrage des Grosses Battes sur l'Ourthe au cours de l'année 2023.

Date	Lieu de capture	T° (°C)	Q (m ³ /s)	Taille (mm)	Poids (g)
30-05-23	RG	18	18,1	540	2126

1.3 Bilan des remontées de salmonidés en 2023 dans le bassin de la Meuse et évolution temporelle

1.3.1 Bilan 2023

(a) Saumon atlantique

Sur l'année 2023, n=4 individus (dont 1 mâle), vs. N=9 en 2022 ont été capturés à Lixhe (75 % en Meuse) et aux Grosses Battes (25 % dans l'Ourthe). On notera aucune capture sur la Roer dans la passe à poissons de Roermond. Pour les individus capturés dans le cadre du programme saumon (Lixhe + Grosses Battes), 100% des captures se sont déroulées au printemps durant les mois de mai et juin (Fig. 12). Les analyses génétiques réalisées par l'équipe de l'UCL indiquent que les saumons capturés à Lixhe et aux Grosses Battes sont de souche Loire-Allier (>90%). L'assignation parentale via les analyses génétiques a démontré qu'au minimum un des parents de n=2 individus capturés en migration de reproduction en 2023 provient d'Erezée. La taille moyenne des saumons atlantiques capturés en 2023 (Fig.13) est de 823mm (± 55 mm) (Fig. 13).

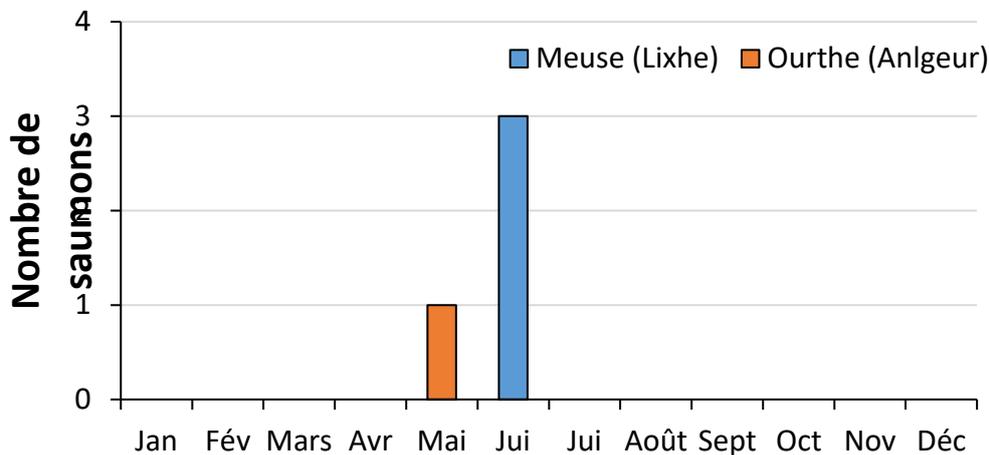


Fig.12 : Nombre de saumons capturés par mois dans la passe à Lixhe (bleu) et aux Grosses Battes (orange) durant l'année 2023.

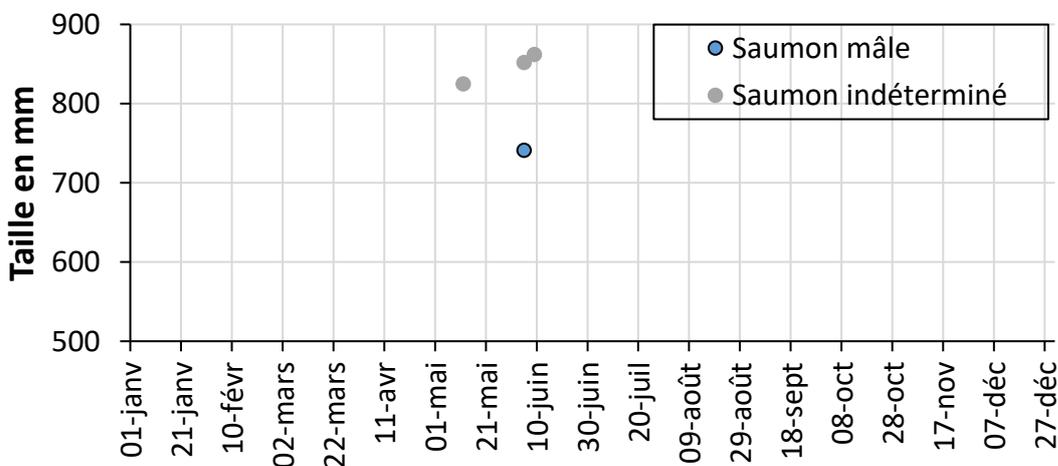


Fig.13 : Tailles (Lf, mm) selon le sexe des saumons capturés en fonction de la date de capture dans les passes à poissons de Lixhe et des Grosses Battes durant l'année 2023.

(b) *Truite de mer*

Au total en 2023, n=2 individus ont été capturés contre n=6 en 2022 au sein des passes à poissons de Lixhe (Meuse) et des Grosses Battes (Ourthe). Les captures sont réparties sur 2 saisons de l'année (Fig.14) : le printemps avec 50% des captures et l'été avec 50%. La taille moyenne des truites de mer capturées en 2023 est de 520mm± 28mm.

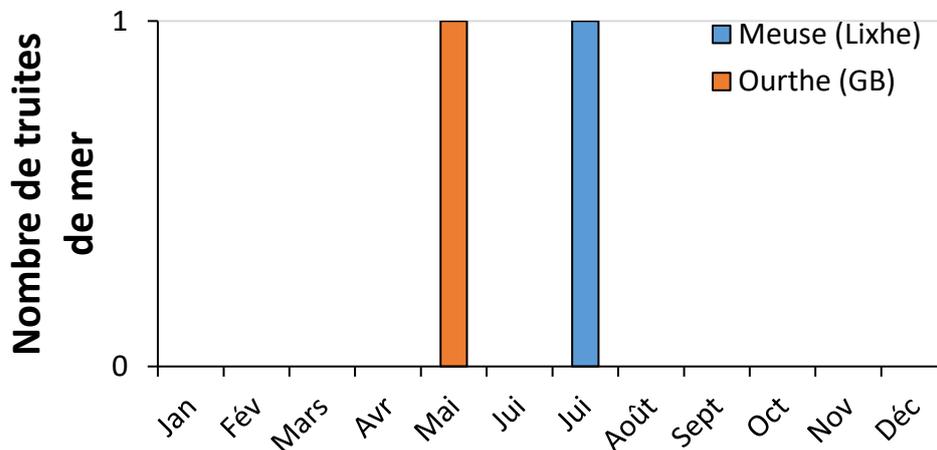


Fig.14 : Nombre de truites de mer capturées par mois dans la passe à poissons de Lixhe (bleu) et des Grosses Battes (orange) durant l'année 2023.

1.3.2. Evolution historique des captures de salmonidés adultes en migration de remontée

(a) *Saumon atlantique*

Depuis le monitoring de la nouvelle passe à poissons de Lixhe en Meuse (fin 1998) et l'aménagement d'une passe fonctionnelle au barrage des Grosses Battes sur l'Ourthe (fin 2009), 285 individus adultes de saumon atlantique (dont n=4 en 2023) ont été capturés au sein de ces deux passes à poissons (Fig.15) :

- Au total, 79% des captures ont été recensées à la passe à poissons de Lixhe contre 21% à la passe des Grosses Battes. Cette proportion Lixhe-GB en 2023 est de 25% des captures aux Grosses-Battes et 75% à Lixhe, ce qui confirme la tendance observée depuis 2017, où près de 30% des captures sont réalisées aux Grosses-Battes.
- Sur les 25 années de monitoring, les captures depuis 2014 représentent 80% des captures totales. En termes d'effectif capturé, 2023 (n=3) est l'année avec le plus faible nombre de capture observé depuis 2013 (n=7 individus). L'année record était 2015 (n=59) suivie de 2017 (n=43), 2019 (n=28) et 2016 (n=26).
- L'évolution interannuelle des captures de saumon par saison (Fig.16) montre que les captures en hiver sont rares (1,1%) et celles en été sont peu fréquentes (11,2%). Les captures se répartissent généralement entre le printemps (39,3%) et l'automne (48,4%) avec un pic variable selon les années.

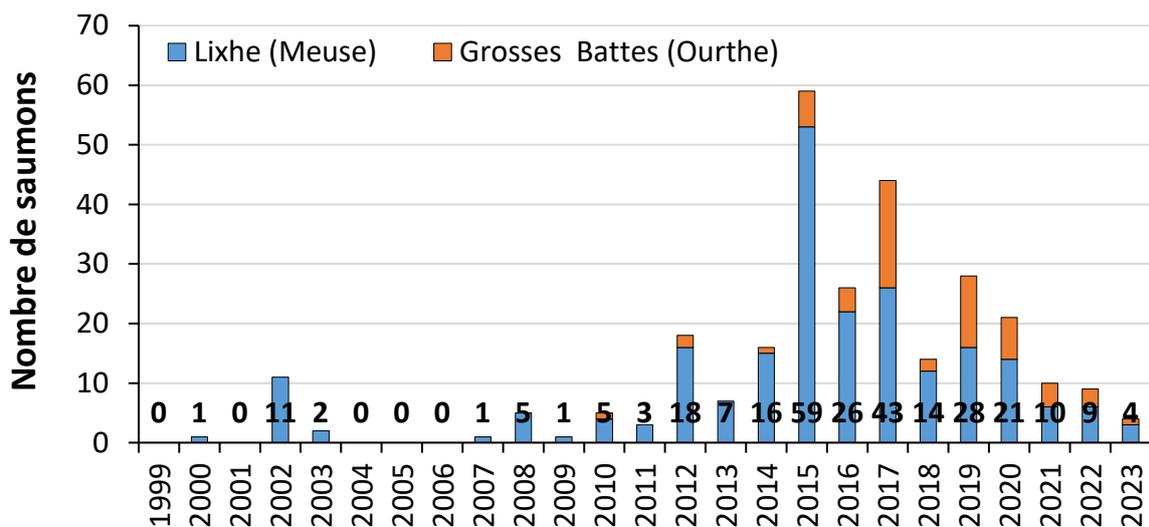


Fig.15 : Evolution temporelle du nombre total de captures de saumons par année à Lixhe (bleu) et aux Grosses Battes (orange)

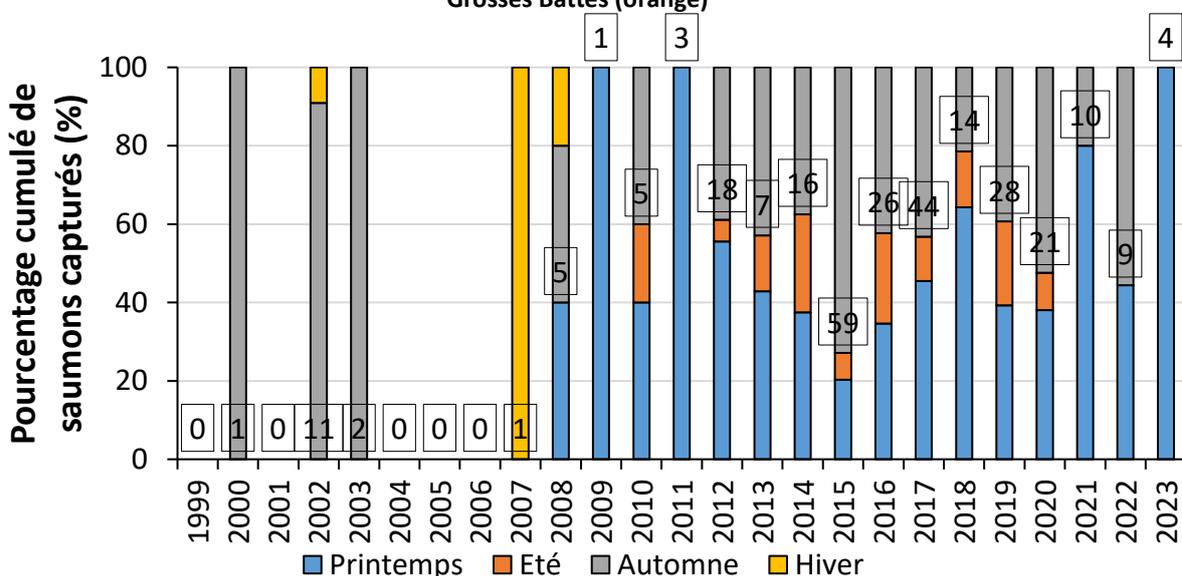


Fig.16 : Evolution annuelle du pourcentage cumulé de captures de saumon par an selon la saison.

La taille moyenne des saumons atlantiques capturés depuis 1999 est de 781mm ± 91mm (Fig.17). Depuis 2012 (année où le nombre par année est suffisant pour comparer), la taille des saumons varie significativement entre les années test de kruskall-wallis, p<0,001). Aucune différence significative n'est observée entre la taille des individus capturés à Lixhe (755 mm ± 91mm) et la taille des individus capturés aux Grosses Battes (764 mm ± 81mm) (test de Wilcoxon, p=0,49) ainsi qu'entre la taille des individus capturés durant le printemps-été (770mm ± 88mm) et durant l'automne-hiver (754mm ± 90mm) (test de Wilcoxon, p=0,19).

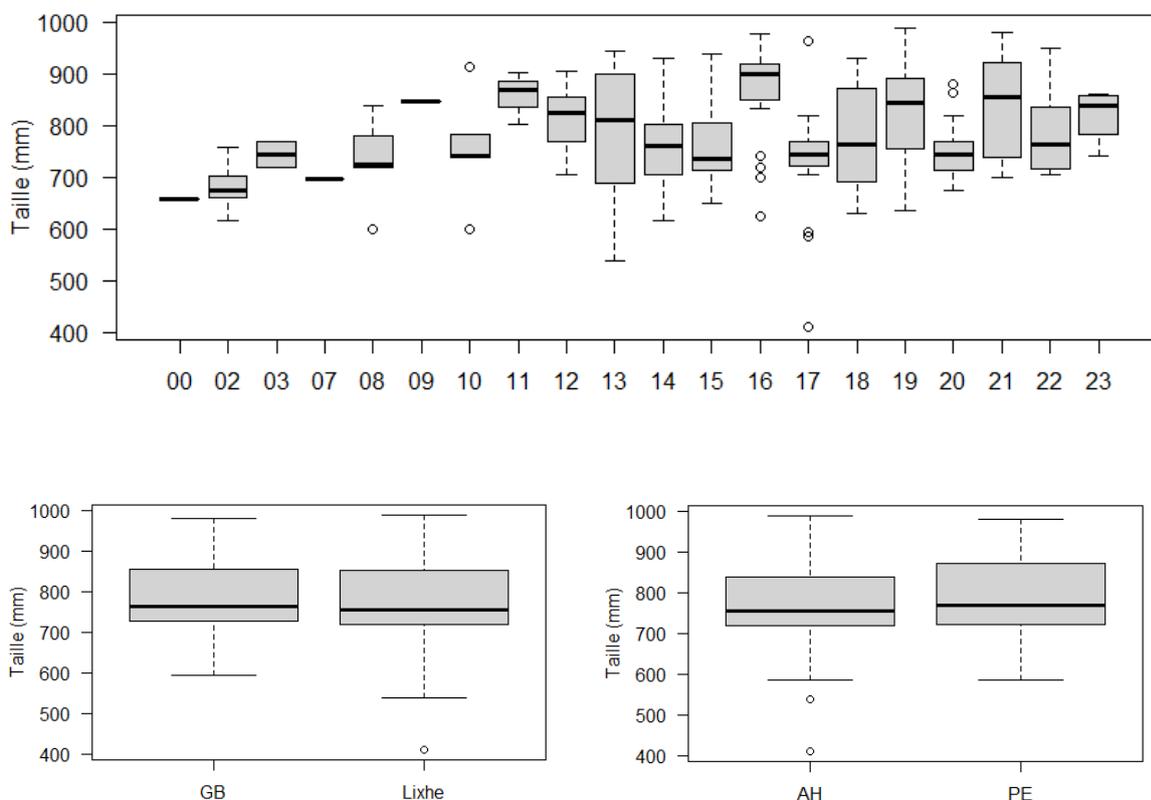


Fig.17 : Comparaison des tailles de captures des saumons atlantiques capturés à Lixhe et aux Grosses Battes selon l'année de capture (haut), selon le lieu de capture (bas, gauche) et selon la saison (bas, droite: AH=Automne-hiver, PE=Printemps-été).

La température moyenne de capture des saumons atlantiques depuis 1999 est de $15,9^{\circ}\text{C} \pm 3,4^{\circ}\text{C}$ (Fig.18). Depuis 2012, la température moyenne de capture des saumons par année ne varie pas significativement (test de kruskal-wallis, $p=0,19$) mais une différence significative est observée entre la température de capture des individus capturés à Lixhe ($16,1^{\circ}\text{C} \pm 3,1^{\circ}\text{C}$) et celle des individus capturés aux Grosses Battes ($14,2^{\circ}\text{C} \pm 3,2^{\circ}\text{C}$) (test de Wilcoxon, $p<0,001$) ainsi qu'entre la température de capture des individus capturés durant le printemps-été ($17,9^{\circ}\text{C} \pm 2,9^{\circ}\text{C}$) et celle durant l'automne-hiver ($14,1^{\circ}\text{C} \pm 2,4^{\circ}\text{C}$) (test de Wilcoxon, $p<0,001$).

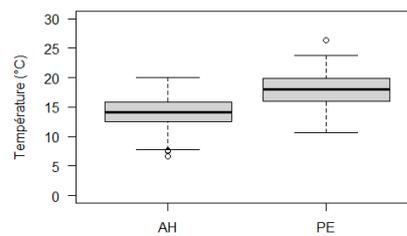
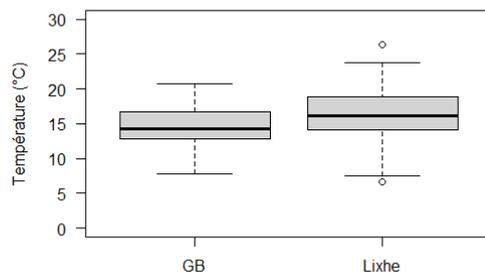
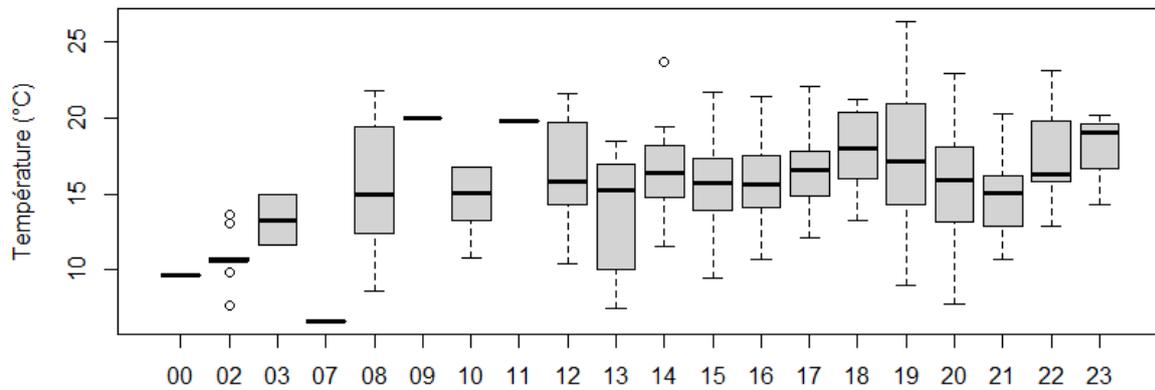


Fig.18 : Comparaison des températures de captures des saumons atlantiques capturés à Lixhe et aux Grosses Battes selon l'année de capture (en haut), selon le lieu de capture (en bas à gauche) et selon la saison (en bas à droite : AH=Automne-hiver, PE=Printemps-été).

Le rapport de débit (débit journalier/module) moyen de capture des saumons atlantiques depuis 1999 est de $0,51 \pm 0,40$ fois le module de la rivière (Fig.19). Depuis 2012, ce rapport varie significativement (test de kruskal-wallis, $p < 0,001$) d'année en année selon les conditions hydrologiques des rivières.

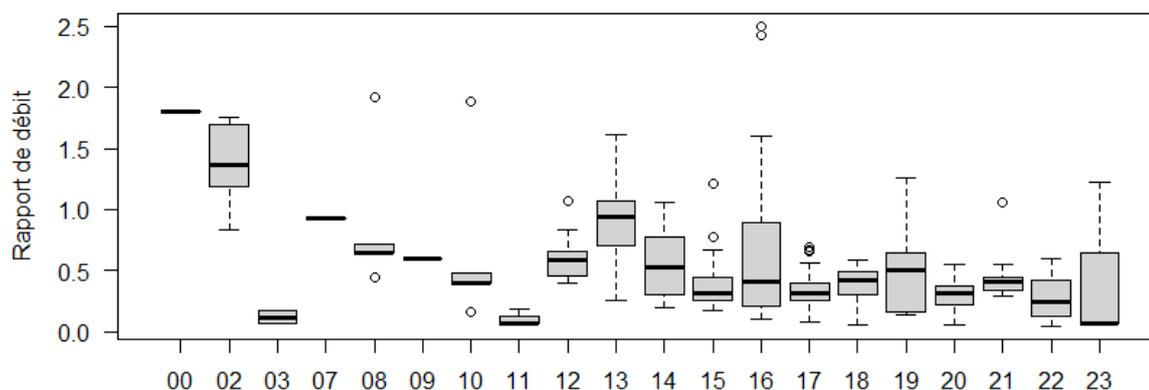


Fig.19 : Comparaison des rapports de débit pour les saumons capturés à Lixhe et aux Grosses Battes selon l'année de capture

Tendance temporelle des remontées de géniteurs de saumon à l'échelle européenne

D'autres bassins hydrographiques européens recensent les remontées de géniteurs de saumons au sein de leurs rivières. Les données disponibles sont acquises par différentes techniques : pêches électriques, pièges de captures, données de captures par des pêcheurs ou par vidéo surveillance. Les données du Rhin proviennent du programme LANUV NRW. Ces données possèdent un caractère multi-annuel et historique comme pour le programme saumon en Belgique.

La comparaison de l'évolution des effectifs de saumons atlantiques observés par année en Meuse Wallonne depuis 2010 (Fig.20 et 21) avec d'autres données de remontées pour d'autres grands bassins versants européens, montre que le constat est le même à l'échelle européenne :

- La période 2015-2017 est caractérisée par un plus grand nombre de saumons recensés pour plusieurs bassins hydrographiques européens, avec 2015 comme meilleure année en termes de remontées.
- Les **faibles effectifs en 2023** pour la Meuse en Wallonie, ont également été constatés dans certains bassins hydrographiques européens, sauf pour le Rhin, où les effectifs ont augmenté de 145% entre 2022 et 2023.

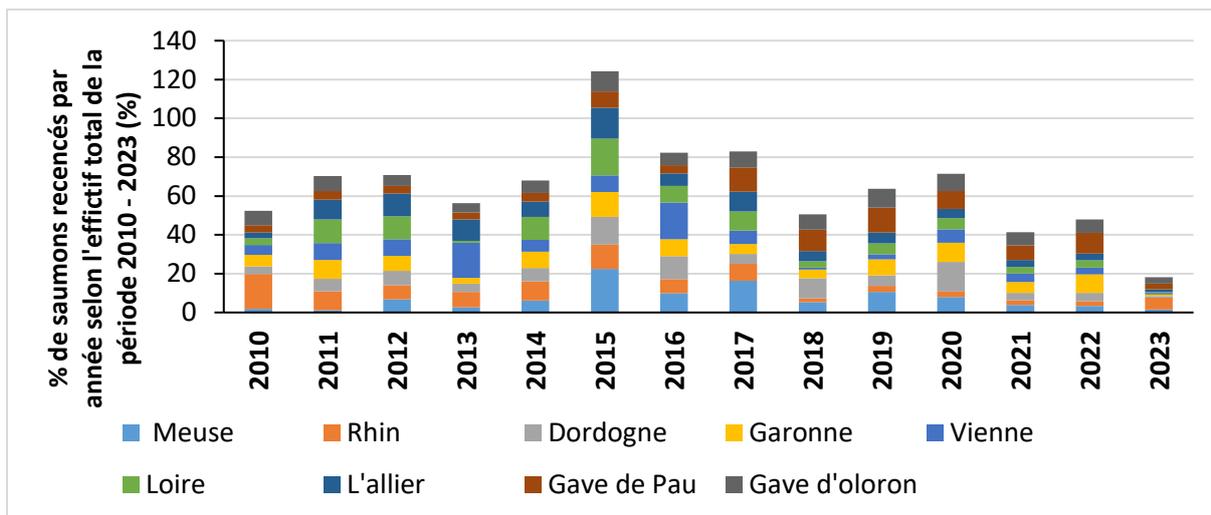


Fig.20 : Evolution historique par bassins hydrographiques/pays européens du pourcentage d'individus recensés par an par rapport à la totalité des individus recensés sur la période 2010-2023.

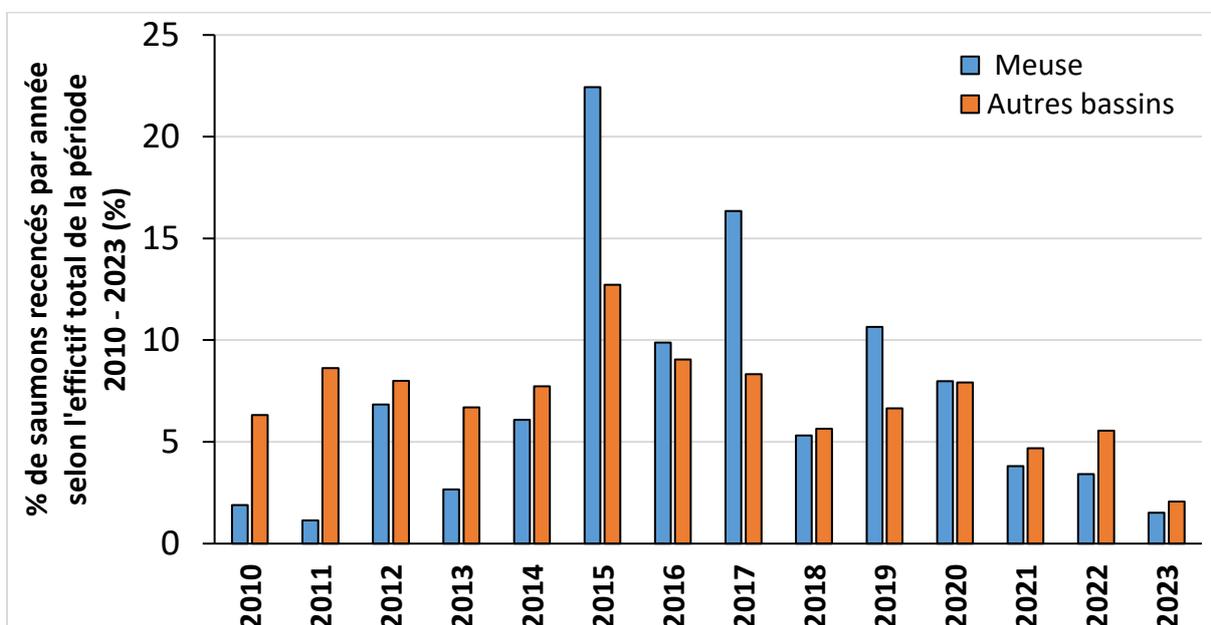


Fig.21 : Evolution historique pour la Meuse par rapport aux bassins hydrographiques du pourcentage d'individus saumon recensés par an par rapport à la totalité des individus recensés sur la période 2010-2023.

L'hypothèse émise en 2022, par les scientifiques responsables du suivi du saumon dans le Rhin est une corrélation significative avec la baisse du débit de nos rivières due à la sécheresse suite aux changements climatiques. Néanmoins, les poissons ne mouraient pas directement de la sécheresse mais de l'augmentation de nombreux facteurs de mortalité, tels que la prédation, les problèmes de santé, les pertes liées au passage à travers les centrales hydroélectriques, les températures plus élevées, les pertes dues à la navigation, la connectivité, etc. Ceux-ci s'aggravent lorsque les rivières ont de faibles niveaux d'eau et la mortalité est alors plus élevée. Les responsables du programme saumon sur le Rhin, confirment cette hypothèse et que les résultats de 2023 à la hausse, sont certainement dus à une année avec de meilleures conditions hydrologiques, qui auraient favorisées les remontées

de 2023.

Néanmoins, la tendance en Wallonie est similaire à celle que l'on peut observer dans toute l'Europe, à l'exception de quelques systèmes isolés, par exemple au Danemark. Il s'avère que d'après des experts de la NASCO (North Atlantic Salmon Conservation Organization) (Fig.22), la survie en mer est également plus mauvaise qu'auparavant malgré des réductions importantes de quotas de pêche. Les raisons seraient également les changements climatiques sur l'écosystème marin mais d'autres hypothèses sont la présence plus importante de fermes d'aquaculture qui ont un impact sur les stocks de saumon atlantique en raison des effets génétiques des saumons d'élevage qui s'échappent dans les populations sauvages et de la mortalité due aux poux du poisson et aux maladies qui se propagent du saumon d'élevage vers le saumon sauvage.

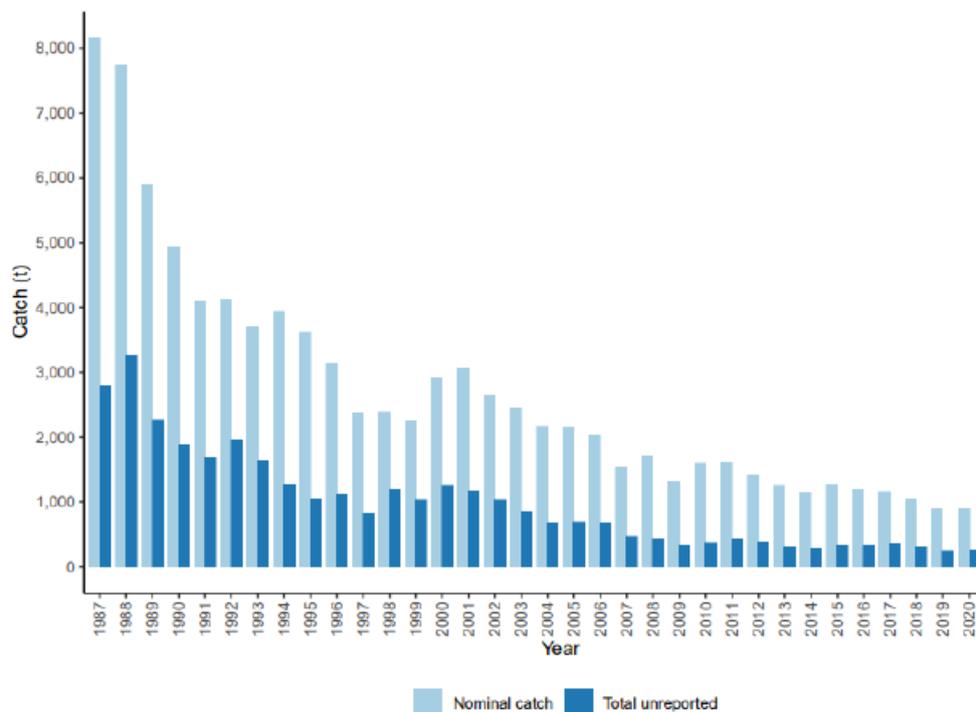


Figure 2.1.3.1. Nominal North Atlantic salmon catch (tonnes round fresh weight) and unreported catch (tonnes round fresh weight) in NASCO Areas, 1987–2022.

Fig.22 : Evolution historique des captures de saumons de 1987 à 2022 (ICES, 2022).

(b) Truite de mer

Depuis le monitoring de la nouvelle passe à poissons de Lixhe en Meuse (fin 1998) et l'aménagement d'une passe fonctionnelle au barrage des Grosses Battes sur l'Ourthe (fin 2009), 406 individus adultes de truite de mer ont été capturés au sein de ces deux passes à poissons (Fig.23) :

- Au total, 84,2% des captures ont été recensées au sein de la passe à poissons de Lixhe contre 15,8% au sein de la passe des Grosses Battes.
- Sur les 25 années de monitoring, les 10 dernières années (2013 à 2023) représentent 60% des captures totales. Depuis 2014, on observe une tendance à la diminution avec n=4 en 2020 et n=2 en 2023 représentant les moins bonnes années en termes d'effectif capturé. L'effectif de 2023 (n=4) est en baisse par rapport à 2022 (n=6) et largement inférieur à la période 2014-2017 (N = de 27 à 55 individus par an).
- La taille moyenne des truites de mer capturées depuis 1999 est de 546mm ± 83mm. Mis à part les années où l'effectif est trop faible (n<10 : 1999,2004-2007,2011,2020,2022), la taille des truites varie significativement (test de kruskall-wallis, p<0,001).

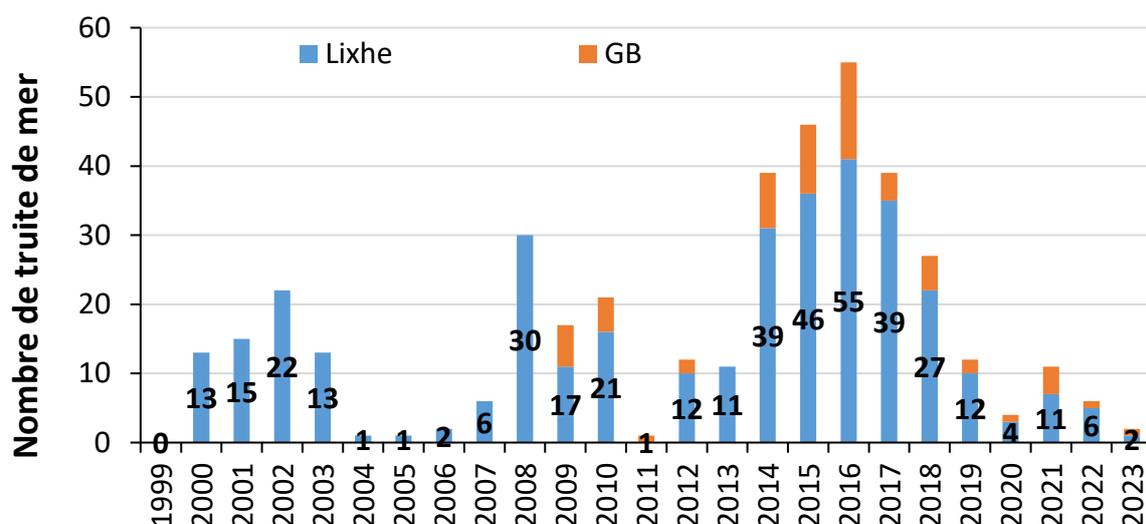


Fig.23 : Evolution du nombre total de captures de saumons atlantiques par année à Lixhe (bleu) et aux Grosses Battes (orange)

1.4 Faits marquants en 2023 et recommandations

- Diminution du nombre de capture de grands salmonidés (truite et saumon) : effectifs les plus faibles pour le saumon atlantique et la truite de mer depuis 2011.
- Espèces non indigènes : diminution du nombre de capture de l'aspe (de + de 400 individus en 2022 à <60 individus en 2023) et stabilisation du nombre de capture de silure (±25 individus/an)
- Initiation de la collaboration avec les Hollandais : organisation de captures de géniteurs à Lith et échange d'informations.
- Echange d'information avec des scientifiques responsable de programmes de réintroduction du saumon sur d'autres grands bassins hydrographiques
- Maintenir et renforcer les collaborations internationales
- Envisager de maximiser le nombre de géniteur capturés à l'aide d'autres techniques que le monitoring des passes à poissons.

2 MONITORING DE LA PETITE ÉCHELLE À POISSONS DE LIXHE POUR LA CAPTURE DES ANGUILLES EUROPÉENNES DURANT LEUR MIGRATION VERS L'AMONT

2.1 Contrôle des remontées dans la petite échelle à poissons de Lixhe sur la Meuse en 2020

Depuis les années 1970, un déclin des différents stades de développement de l'anguille Européenne (*Anguilla anguilla*) est observé à l'échelle continentale (ICES, 2018). En 2008, l'anguille européenne a été listée sur la « IUCN Red list » comme espèce en danger critique d'extinction (Jacoby et Gollock 2014). En Belgique, le barrage de Lixhe représente le premier point d'entrée dans la Meuse wallonne. Une ancienne passe à poissons (P1, Fig.1) a été aménagée au centre du barrage de Lixhe en 1980, entre le rejet des turbines et les vannes mobiles. Le système de piégeage consiste à la capture des poissons dans les bassins les plus en amont après fermeture de la vanne de prise d'eau qui provoque la mise à sec de la partie amont de la passe. Chaque individu capturé est anesthésié à l'Eugénol (0,1ml/l), mesuré, pesé, avec le marquage d'un échantillon à chaque monitoring (transpondeur RFID, cf. chapitre 3) et remis dans un bassin de réveil avant d'être déversé en amont, au pied du barrage de Lixhe. Ce piège, contrairement à la cage de capture de la grande échelle à poissons de Lixhe, permet la capture de toutes les classes de tailles de poissons qui utilisent la passe et en particulier les anguilles européennes au stade anguille jaune en migration de remontée. Néanmoins, une expérience réalisée en 2013 a mis en évidence une utilisation non négligeable de la grande échelle à poissons de Lixhe par les anguilles européennes (Nzau Matondo et al., 2017). Bien que l'effectif ne soit pas total, le monitoring annuel de la petite échelle à poissons permet d'analyser en détails l'évolution interannuelle des remontées d'anguilles jaunes d'un point de vue abondance, périodicité de capture, taille des individus et l'influence des facteurs environnementaux. Une diminution drastique (>90%) des captures d'anguilles jaunes a été observée dans la petite échelle de Lixhe depuis 1992 (Nzau Matondo et Ovidio, 2016). Ce piégeage historique est d'un grand intérêt, car il représente un moyen de suivre l'évolution du stock d'anguilles jaunes entrant en Wallonie et indirectement, de l'évolution de la population d'anguilles européennes au sein du bassin mosan. Après un arrêt en juillet 2021, suite aux crues et toute l'année 2022, le piégeage a pu reprendre en 2023.

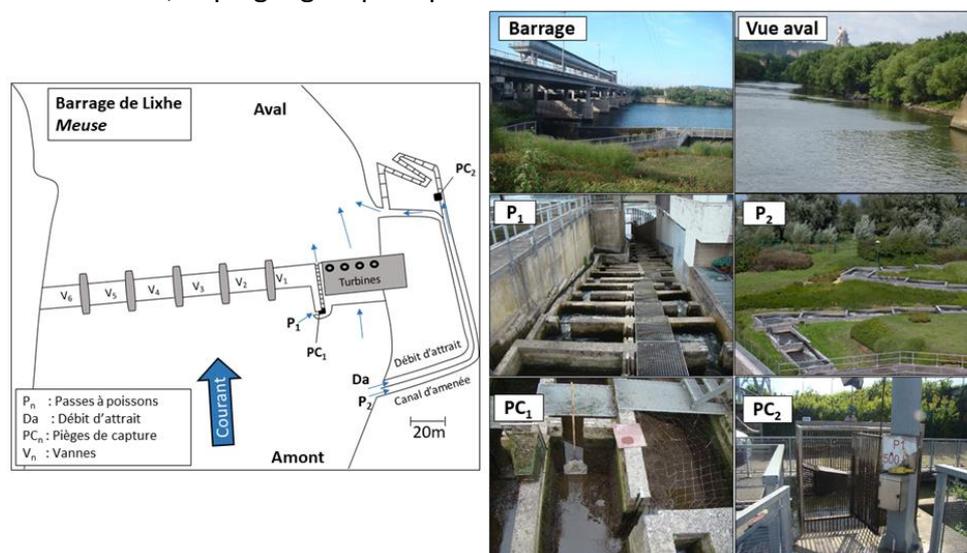


Fig.1 : Schéma du barrage de Lixhe sur la Meuse à gauche et à droite, les photos du barrage, de l'aval du barrage, des deux passes à poissons et de leur piège de capture

2.1.1 Conditions de réalisation de l'étude en 2023

Dans la petite échelle (PE), les contrôles ont couvert la période du 9 juin au 16 octobre (25 contrôles et 126 jours de piégeage en continu), idéalement afin de couvrir la période de migration de l'anguille européenne.

2.1.2 Résultats multi-espèces en 2023

Le contrôle de la petite échelle de Lixhe nous a permis de capturer 381 individus de 9 espèces différentes dont 48 alevins (Tableau 1). L'espèce la plus représentée dans la petite échelle de Lixhe est l'anguille avec **305 individus** (dont **n = 58 certainement issus de repeuplement** de par leur faible taille) et suivie par le gobie à tâche noire avec n= 54 individus (n=21 adultes vs. N=33 juvéniles). Les autres espèces présentent un effectif capturé de 1 à 8 individus par espèce.

Tableau 1. Statistiques des captures des poissons en migration de remontée dans la petite échelle à poissons du barrage de Lixhe sur la Meuse en 2023 (25 contrôles)

Espèces	N	Biomasse (g)	Taille (mm)		
			Moy.	Min.	Max.
Anguille	247+58**	20160	325	146	891
Truite	2+0*	178	189	187	191
Chevaine	0+3*	29	95	88	102
Hotu	0+2*	3	47	39	55
Vandoise	0+2*	2	40,5	40	41
Ablette spirilin	4+0*	16	64	63	65
Total rhéophiles	6+7*	228			
Ablette commune	0+8*	14	41,625	32	62
Brème commune	1+0*	1100	390	390	390
Gobie à tâche noire ^a	21+33*	416	60	25	165
Total non rhéophiles	22+41*	1530			
Total	275+48*+58**				

^a espèce non indigène

* nombre d'individus juvéniles

**nombre d'individus « supposés » issus de repeuplement

2.1.3 Résultats de l'anguille européenne en 2023

En 2023, les n=305 individus capturés (vs. N=387 en 2021, dernière année de monitoring) possèdent une taille moyenne de 325mm avec une taille minimum de 146mm et une taille maximum de 891mm. D'après la répartition des individus par classe de taille (Fig.2), on observe que la majorité (81,6%) des anguilles jaunes présente une taille inférieure à 400mm proche de la valeur de 2019 avec 79,6% mais inférieure à 2021 avec 90,9% et 2020 avec 91,2%. Comme observé en 2019 et 2020 mais dans une moindre mesure, un grand nombre d'anguilles

capturées en 2023 possède une taille inférieure à 250mm. Ces individus (n=59) peuvent être considérés comme des individus issus de repeuplements en civelles effectués en aval de Lixhe par le SPW, car de tailles inférieures aux tailles historiques pour les plus anciennes années de captures. En effet, en mars 2018, un total de 19,6kg de civelle a été déversé en 11 points sur un tronçon de 7km juste en aval de Lixhe. Cette biomasse représente un effectif de ± 62000 individus. A noter que sur ce même tronçon, un total de 12,2kg de civelles (± 39000 individus) a été déversé en 6 points en mars 2019. En revanche aucun déversement n'a été effectué en aval de Lixhe depuis 2020.

Les repeuplements en civelles réalisés en aval de Lixhe ont un effet, toujours confirmé en 2023, sur la taille moyenne historique des anguilles capturées, qui était en constante augmentation depuis le début du monitoring de Lixhe (données disponibles depuis 1999). Parmi les individus considérés comme probablement non issus du repeuplement (n =247), on observe également des individus avec une taille supérieure à 500mm (n=16). On observe en 2023 néanmoins un décalage positif d'année en année (Fig. 2), du pic d'occurrence selon la gamme de taille et un recouvrement des deux pics de tailles, bien différenciés en 2020, qui s'explique par la croissance naturelle des anguilles déversées sous forme civelle. En effet, d'après l'étude de l'efficacité des repeuplements en civelles en Wallonie, il a été observé une croissance moyenne de 67mm/an (entre 35 et 128mm/an) pour des rivières de petites et moyennes tailles (Nzau Matondo et al., 2023).

Parmi les 305 individus capturés, n=76 individus (24,9%) ont été équipés d'un transpondeur RFID et relâchés en amont, afin d'être éventuellement détectés dans les passes à poissons amont, munies de stations automatiques RFID, ainsi que deux individus recapturés (cf. chapitre 3).

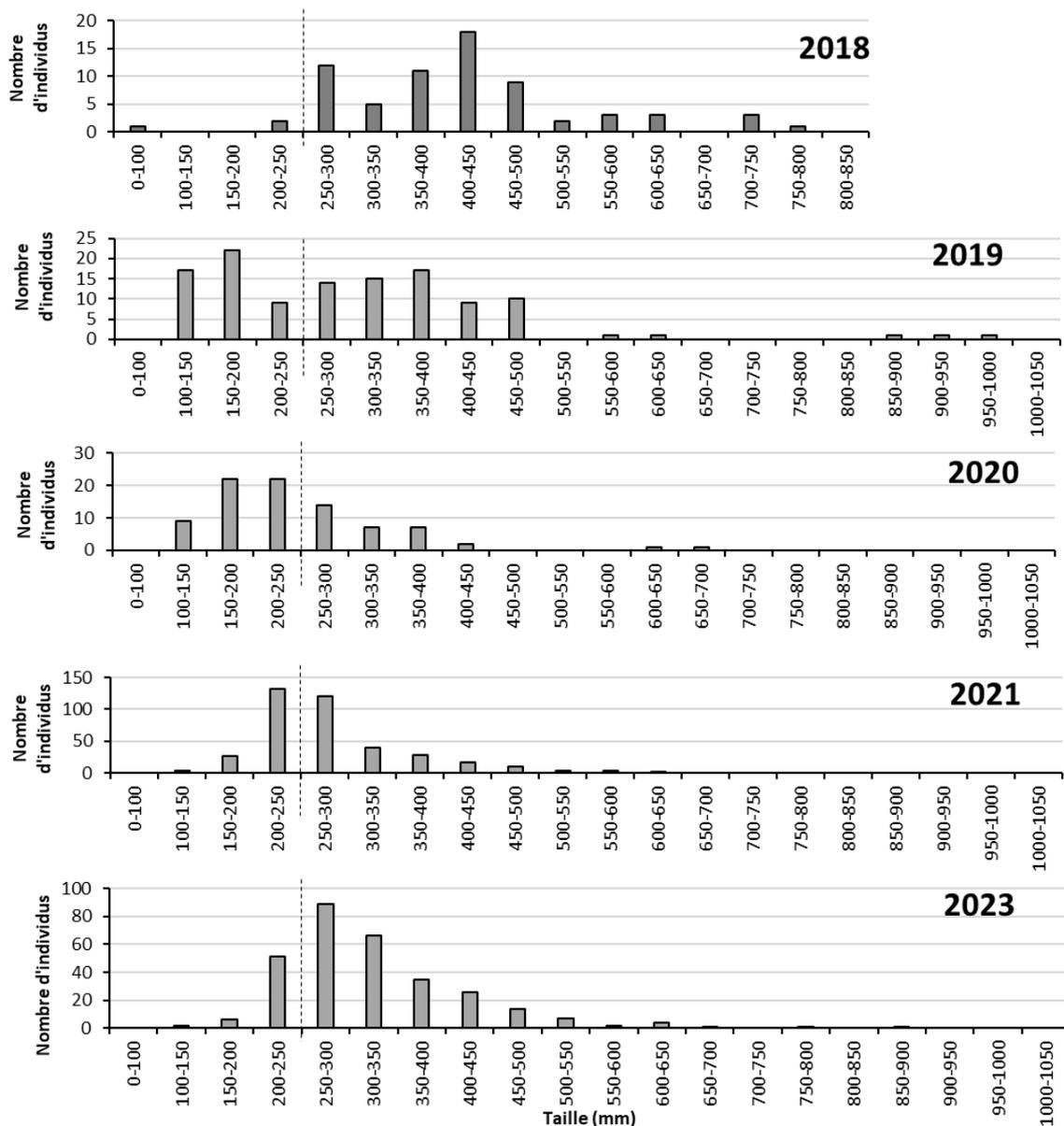


Fig.2 : Histogrammes du nombre d'anguilles jaunes par classe de taille (en mm) capturées dans la petite échelle de Lixhe de haut en bas, en 2018, 2019, 2020, 2021 et 2023. La ligne en pointillée représente la limite entre individus issus de repeuplements ou non.

La période de captures d'anguilles jaunes en 2023 débute le 15 juin lorsque la température de la Meuse est de 23,3°C (Fig.3). Le pic de capture d'anguilles jaune est observé lors de la première journée de monitoring, c'est-à-dire le 15 juin, avec un effectif de 123 individus capturés. La dernière capture d'anguille jaune (100% de l'effectif) a été observée le 2 octobre 2023 lorsque la température était toujours de 19,3°C. En 2023, les anguilles jaunes ont été capturées à une température moyenne de 24,1°C.

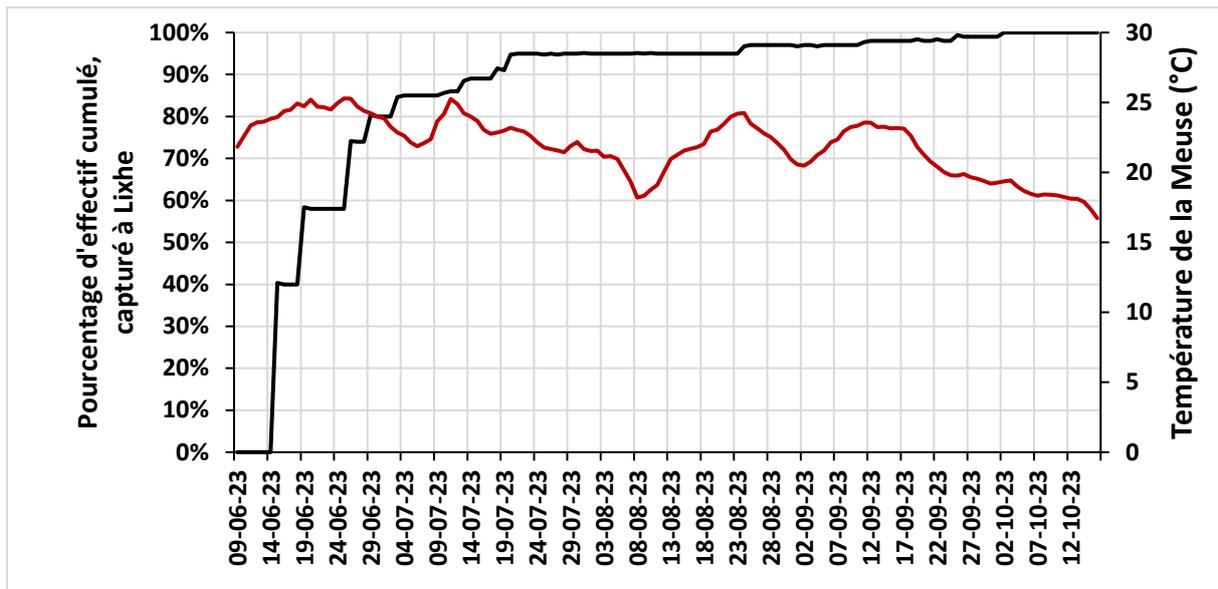


Fig.3 : Courbe (ligne noire) du pourcentage d'effectifs cumulés d'anguilles jaunes capturées en 2023 dans la petite échelle de Lixhe en lien avec la température de la Meuse à Lixhe (ligne rouge).

2.1.4 Evolution historique des captures de 1992 à 2023 pour l'anguille européenne

L'effectif capturé en 2023 diminue (-73 individus) par rapport à 2021 mais reste supérieur aux effectifs observés entre 2015 et 2020 (Fig. 4). Cependant l'effectif annuel reste faible par rapport aux années 2000 et de plus, l'effectif capturé provient en partie de repeuplements en civelles réalisés en aval du barrage de Lixhe par le SPW-Service de la pêche. L'ouverture du Haringvliet en automne 2018 reste partiellement une raison qui pourrait expliquer les remontées d'anguilles jaunes. Néanmoins, Il faudra certainement attendre plusieurs années pour espérer un impact potentiel sur Lixhe, car la progression des anguilles en remontée dans la Meuse est très lente (Nzau Matondo & Ovidio, 2018). D'un point de vue historique le nombre d'anguilles capturées par année diminue toujours significativement (test de Man-Kendall : $\tau = -0.66$, $p < 0,001$). Bien que les effectifs annuels capturés soient en augmentation en 2021 et en 2023 par rapport aux années antérieures. Il faut également noter qu'en 2022, aucun monitoring de la petite échelle n'a été possible suite à l'engorgement de la passe engendré par la crue de juillet 2021.

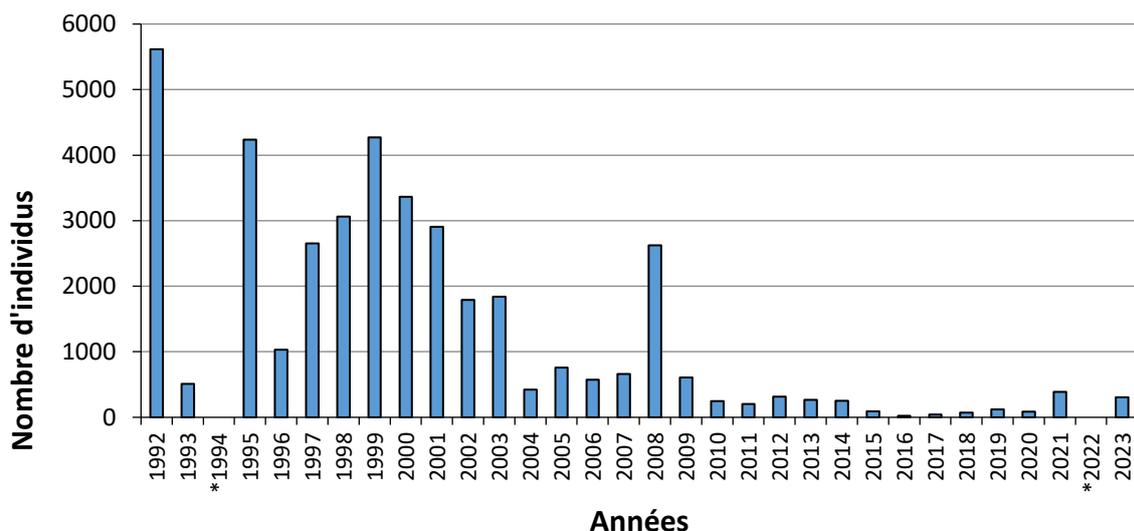


Fig.4 : Evolution du nombre d'anguilles jaunes capturées en remontée dans la petite échelle à poissons du barrage de Lixhe sur la Meuse entre 1992 à 2023.

L'analyse des captures depuis 1999 montre qu'historiquement (Fig.5) :

- Les anguilles au stade anguille jaune sont en migration de remontée entre le 100^e jour de l'année (début avril) et le 270^e jour de l'année (fin septembre). Cependant depuis 2014, la période de migration s'étrangle avec des remontées généralement entre le 150^e jour de l'année (fin mai) et le 275^e jour de l'année (début octobre).
- La période de capture (nombre de jours entre la 1^{ère} capture et la dernière capture) diminue significativement depuis 1999 (test de Mann-Kendall, $\tau = -0,62$, $p < 0,0001$) avec une durée de 150 jours début des années 2000 à une durée < 100 jours depuis 2014 sauf pour 2023. Bien entendu, le déroulement des captures d'anguilles en 2020 (covid 19 + crues hivernales) et 2021 (crues hivernales + inondations importantes de juillet) engendre une tendance plus marquée avec une période de monitoring plus courte. En effet en 2023, des captures ont été observées plus tardivement que les années antérieures certainement suite à un début d'automne très estival avec des températures de la Meuse proche de 20°C.
- Bien que $>75\%$ des anguilles sont capturées à Lixhe à des températures de la Meuse supérieures à 20°C, on observe également un étranglement des gammes de température de capture des anguilles en relation avec la diminution de la période de remontée. Néanmoins, en 2023, la période de migration est plus longue mais la température de capture médiane est une des plus élevées avec une valeur proche de 24°C.
- L'évolution de la taille moyenne de capture d'anguilles jaunes montrait une tendance temporelle positive significative (test de Mann-Kendall, $\tau = 0,79$, $p < 0,0001$) de 1999 à 2018. En revanche, cette taille moyenne, plus faible de 2019 à 2023, tend à croître d'année en année depuis 2020 (médiane de 228mm en 2020, 262mm en 2021 et 304mm en 2023), suite à l'effet des repeuplements en aval de Lixhe en civelles et leur croissance en milieu naturel. Suite à la bonne croissance des civelles de repeuplement

dans le bassin de la Meuse il sera toutefois de plus en plus difficile de distinguer les anguilles issues du repeuplement et les anguilles qui viennent de la mer du Nord.

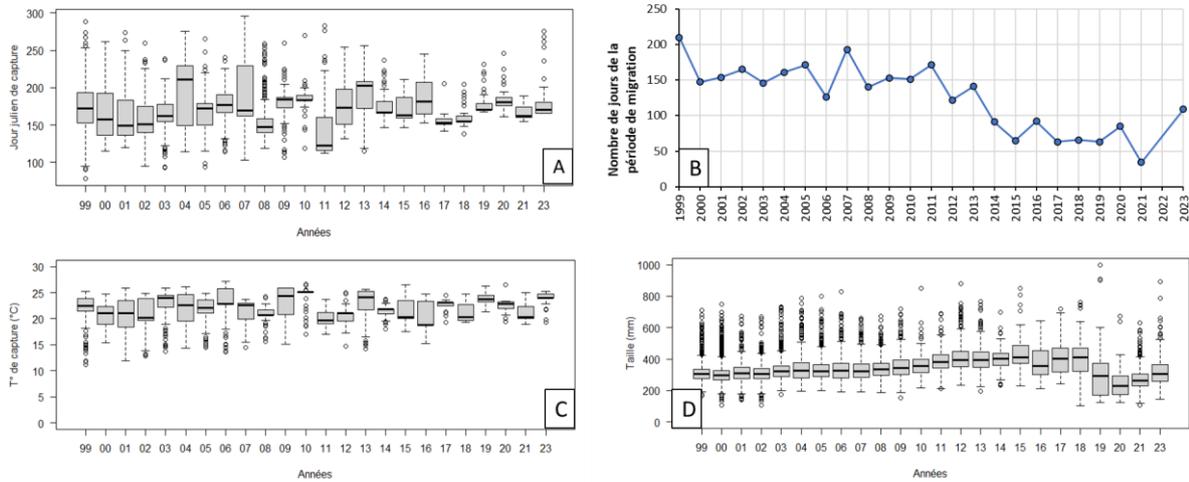


Fig.5 : Evolution temporelle du jour de capture (A), de la période de capture (B), de la température de capture (C) et de la taille (D) d'anguilles jaunes capturées en remontée dans la petite échelle à poissons du barrage de Lixhe sur la Meuse entre 1999 à 2023

**3 CARACTERISATION DES COMPORTEMENTS DE
REMONTEE DES POISSONS DANS L'AXE FORME
PAR LA MEUSE, EN AMONT DU BARRAGE DE
LIXHE, VIA LES BARRAGES DE MONSIN ET D'IVOZ-
RAMET ET FORME PAR LA BASSE OURTHE EN
AMONT DU BARRAGE D'ANGLEUR/ GROSSES
BATTES**

3.1 Présentation des sites et du système de détection automatique

3.1.1 Mise en place du programme de suivi RFID en Meuse liégeoise

La libre circulation des poissons migrateurs en remontée dans la Meuse liégeoise à partir de la frontière néerlandaise mitoyenne à Eijsden est perturbée par quatre grands barrages de navigation associés à des centrales hydroélectriques (fig.1). De l'aval vers l'amont, ces ouvrages sont situés à Lixhe (Visé), Monsin (Liège), Ivoz-Ramet (Flémalle) et Ampsin-Neuville (Amay). Dans le cadre du programme Saumon Meuse, le barrage de Lixhe, Monsin et Ivoz-Ramet ont été équipés par le SPW d'une passe à poissons multi-spécifique respectivement en 1998, 2001 et 2002. L'aménagement d'une passe spécifique à anguille a été réalisé en 2015 à Ivoz-Ramet lors de la construction de la nouvelle écluse. Un projet de construction d'une rivière de contournement est prévu à Ampsin dans les années à venir. Dans le bief entre les barrages de Monsin et d'Ivoz-Ramet se jette l'Ourthe, qui est obstruée dans son cours inférieur par un obstacle majeur, le barrage des Grosses Battes, qui est équipé depuis 2009 d'une passe à poissons moderne et de deux depuis 2021.

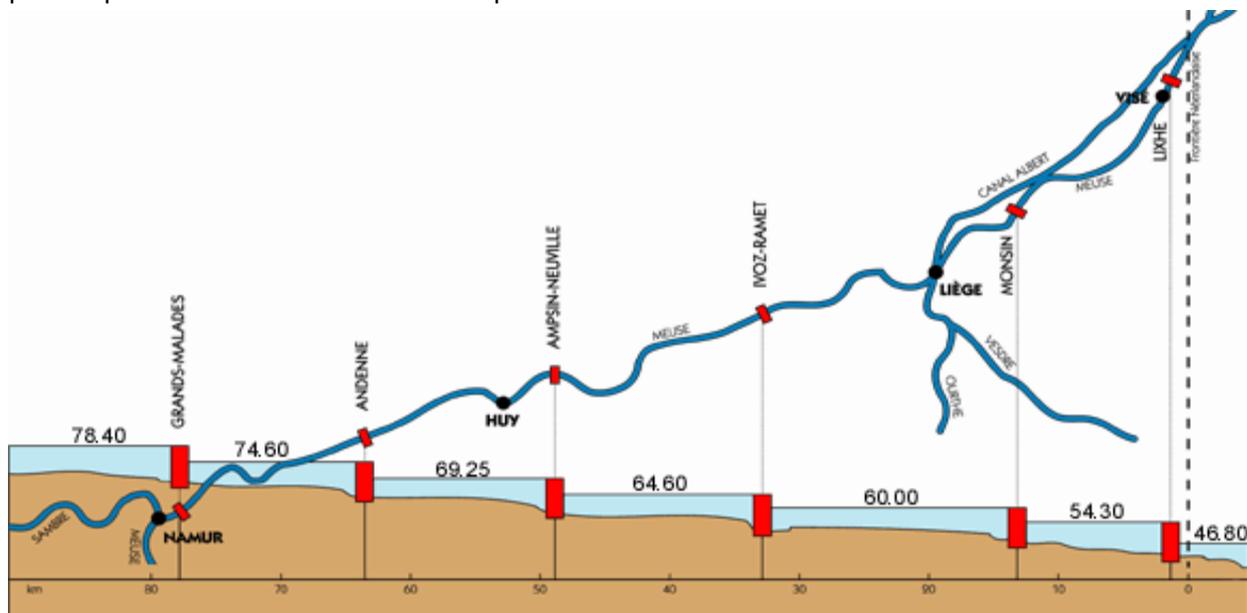


Figure 1 : Localisation des barrages de navigation+ centrales hydroélectriques sur la Meuse wallonne entre Visé et Namur (source : SPE).

Jusqu'à 2010, l'efficacité du rétablissement de la libre remontée des poissons migrateurs en Meuse liégeoise a surtout été vérifiée grâce à des pièges de capture installés dans les échelles de Lixhe (Meuse) et des Grosses Battes (Ourthe) (cf. chapitre 1.). Dépourvues de pièges de capture, les échelles de Monsin et d'Ivoz-Ramet n'ont pu être contrôlées qu'exceptionnellement par vidange complète des bassins et récolte des poissons à l'épuisette. Fin des années 1990, quelques observations intéressantes ont été réalisées grâce au suivi télémétriques manuels de poissons interceptés en remontée à Lixhe, pourvus d'un émetteur radio, relâchés dans la Meuse en amont du barrage puis radio-pistés manuellement dans l'axe Meuse et dans la basse Ourthe (voir rapports saumon des années 1997-1998, lien : <http://hdl.handle.net/2268/160787>).

A partir de 2010, l'ULiège a entrepris de mettre progressivement en place en région liégeoise un réseau de détection automatique (méthode RFID : IDentification par Radio-Fréquence) des passages des poissons porteurs d'un transpondeur RFID (pit-tag) au sein des passes migratoires. Pour suivre la remontée de poissons au-delà du barrage de Lixhe, la mise en place du réseau d'antennes de détection

a progressé selon le calendrier suivant : (i) échelle de Monsin en 2010 et modifiée en 2015 avec l'installation d'une seconde antenne à l'entrée de l'échelle, (ii) échelle d'Ivoz-Ramet en 2011, (iii) échelle de Liège Grosses Battes en 2012 et (iv) échelle de Lixhe en 2020.

L'avantage de la marque RFID est sa faible taille, son coût limité et sa durée de vie qui est illimitée car elle ne contient pas de batterie, et renvoie un code par interrogation via un champ magnétique envoyé par les antennes. Les poissons marqués peuvent donc être suivis sur plusieurs années consécutives.

3.1.2 Description du réseau de détection RFID en Meuse liégeoise

3.1.2.1. Méthode utilisée

L'équipement RFID (marque CIPAM®, Clermont-Ferrand, France) de détection automatique permet de suivre individuellement les poissons marqués avec un transpondeur RFID (Fig.2. : Texas instrument 23mm Glass Transpondeur). Un rapport poids du poisson/ poids du transpondeur (<2%) doit être respecté pour éliminer tout impact sur le comportement du poisson. Le poisson marqué est détecté automatiquement lors de son passage à travers une antenne installée dans les passes à poissons qui est reliée à une station d'enregistrement, l'information est directement transmise à cette station. Le code du poisson détecté est stocké en mémoire avec comme informations la date et l'heure de la détection. Ces données seront par la suite transférées sur un ordinateur pour être analysées.

Le marquage s'effectue sur le site du barrage de Lixhe par insertion du transpondeur RFID dans la cavité abdominale du poisson. Après capture dans la cage de capture, le poisson est au préalable anesthésié et les instruments désinfectés. Une incision de maximum 5mm est réalisée pour permettre l'insertion de la puce dans la cavité abdominale. Une fois le marquage effectué, le poisson est maintenu en stabulation le temps qu'il soit réveillé, et il est relâché en amont du barrage de Lixhe pour être éventuellement détecté au sein des échelles à poissons situées en amont.



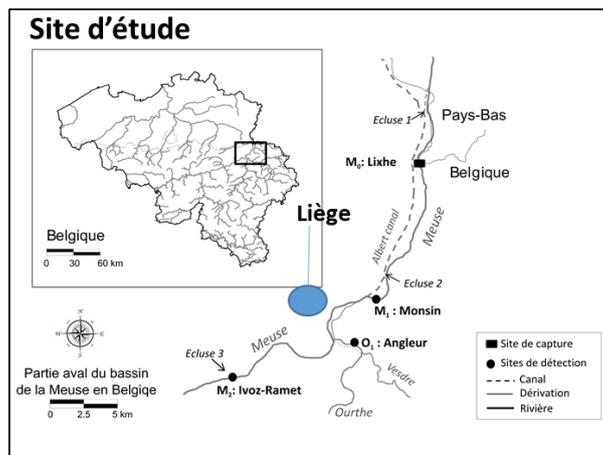
Figure 2 : Transpondeur RFID (Texas Instrument)

3.1.2.2. Dispositif de détection

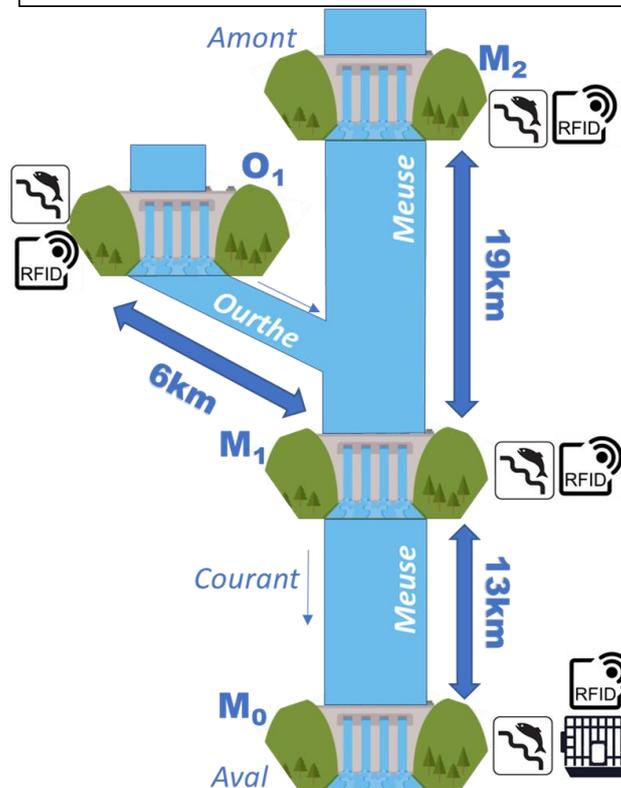
Le système de détection est formé par l'installation d'antennes de détection RFID automatique reliées à une station d'enregistrement (Fig.3) au niveau des passes à poissons du bassin aval de la Meuse (Fig. 4).



Figure 3 : Station d'enregistrement RFID automatique (à gauche) et antenne de détection (à droite)



A



B

Fig. 4 : Représentation du complexe de détection dans la partie aval du bassin de la Meuse à l'échelle (partie A) et d'un point de vue schématique (partie B).

a) Monsin (Meuse aval confluence Ourthe)

La première antenne de détection a été installée début 2010 au niveau de l'échancrure aval du bassin supérieur de l'échelle de Monsin (Meuse), située à 13,1km en amont du barrage de Lixhe. En mars 2015, nous avons installé une seconde antenne au niveau de l'échancrure aval du deuxième bassin inférieur de l'échelle à poissons (Fig.5). Avec ces deux antennes, il est possible de vérifier si un individu entré dans l'échelle (et détecté à l'antenne aval) en ressort par détection à l'antenne amont. Ce dispositif permet également de connaître le temps de transit nécessaire pour franchir le barrage via l'échelle à poissons. Les deux antennes ont dû être remplacées au printemps 2023.



Fig. 5 : Photo de l'antenne de détection RFID placée au niveau de la dernière échancrure de la passe à poissons de Monsin (à gauche) et celle installée en 2015 dans la partie aval de l'échelle à poissons (à droite).

b) Ivoz-Ramet (Meuse amont de la confluence Ourthe)

Le barrage d'Ivoz-Ramet situé à 32,2km en amont du barrage de Lixhe et 19,1km du barrage de Monsin représente le premier barrage en amont de la confluence avec l'Ourthe. Une station de détection RFID a été mise en place (Fig. 6) en juillet 2011. L'antenne est installée au niveau de l'échancrure aval du bassin supérieur de la passe à poissons. Une seconde antenne en aval a été installée au printemps 2023 avec de vérifier l'efficacité et de mesurer les temps de transit.



Figure 6 : Antennes de détection automatique RFID installée au sein de la passe à poissons du barrage d'Ivoz-Ramet (amont à gauche, aval à droite).

c) Grosses-Battes (Basse Ourthe)

Dans l'échelle à poissons du barrage des Grosses Battes sur l'Ourthe (fig. 7) situé à 19,3km en amont de Lixhe et 6,2km en amont de Monsin, une station de détection RFID a été mise en place le 29 mars 2012 avec une antenne au niveau de l'échancrure aval de l'avant dernier bassin amont de l'échelle. Cependant depuis la crue de juillet 2021, ce dispositif de détection n'est plus opérationnel et la détection d'individus préalablement marqués se fait uniquement avec un appareil portable lors de la capture dans les cages de captures. Une seconde antenne en aval a été installée au printemps 2023 avec de vérifier l'efficacité et de mesurer les temps de transit.



Figure 7 : Antenne de détection RFID au niveau d'une échancrure à l'amont de l'échelle à poissons du barrage des Grosses Battes sur la basse Ourthe à Liège (amont à gauche, aval à droite).

d) Lixhe (Meuse)

Le site de capture/marquage, l'échelle à poissons de Lixhe, est équipé d'un système de détection, opérationnel depuis le 27.03.2020 et consiste en 2 antennes de détection (Fig.8) :

- (1) EP (Entrée de Passe) située au niveau de l'échancrure aval du bassin le plus en aval de la passe,

(2) SP (Sortie de Passe) située au niveau de l'échancrure du bassin aval de la cage de capture. Ce placement permet d'évaluer l'efficacité de la passe migratoire. De même le dispositif permet de mesurer le temps d'arrivée et le temps de passage de la passe migratoire.



Figure 8 : Site d'étude du barrage de Lixhe avec les 4 antennes RFID, la cage de capture et le lieu de déversement (à gauche, source : Walonmap) et les 2 Antennes RFID (EP=Entrée Passe ; SP=Sortie Passe) et la cage de capture (à droite).

3.2 Caractérisation de la migration de remontée dans l'axe Meuse entre Lixhe, Monsin, Ivoz-Ramet et Grosses Battes de poissons marqués par puce RFID à Lixhe au cours de l'année 2023

3.2.1 Résultats 2023 : détections totales des poissons marqués en 2023

Au cours de l'année 2023, 191 poissons appartenant à 11 espèces ont été marqués avec transpondeur RFID à Lixhe. Tous les individus marqués ont été relâchés dans le canal d'alimentation de l'échelle à poissons de Lixhe pour la grande échelle et juste en amont du barrage pour la petite échelle. Sur les 191 poissons marqués en 2023, 53 individus (28%) ont été détectés au sein du réseau de détection RFID (Tableau 1). Parmi les poissons capturés à Lixhe en 2023 et remis en amont, aucune recapture n'a été observée.

Tableau 1. Nombre de poissons des différentes espèces et écotypes marqués par puce électronique Texas Instrument (RFID) après capture dans les échelles à poissons de Lixhe puis détectés lors de leur passage dans des échelles à poissons à l'amont sur la Meuse à Monsin et Ivoz et sur la basse Ourthe à Angleur-Liège pour l'année 2023.

Espèce	N marqués	Taille moy. (mm)	Taille min. (mm)	Taille max. (mm)	Détection réseau RFID	
					N	%
Anguille	76	395	221	891	9	12
Aspe	3	498	446	530	1	33
Barbeau	2	601	571	630	2	100
Brème commune	45	439	380	510	22	49
Carpe	5	725	622	825	1	20
Chevaine	13	391	332	440	10	77
Gardon	10	321	215	404	1	10
Hotu	16	414	379	468	2	13
Ide	1	515	515	515	0	0
Silure	20	1112	894	1620	5	25
Total	191				53	28

3.2.2 Résultats au niveau du barrage de Monsin (Meuse)

Les détections (N=1362 en 2023) de poissons au niveau du barrage de Monsin (13,1km en amont de Lixhe) concernent 56 poissons appartenant à 9 espèces différentes : l'anguille (n=12), le silure (n=6), le chevaine (n=9), le hotu (n=2), l'aspe (n=2), la brème commune (n=19), le barbeau (n=3), le gardon (n=1) et deux carpes.

a) Résultats poissons marqués en 2023

Parmi les individus capturés, marqués et déversés en amont de Lixhe en 2023, 47 individus (24,6% des individus marqués à Lixhe en 2023) ont été détectés en 2023 au sein de la passe à poissons de Monsin. La brème commune et le chevaine sont les espèces avec le plus grand nombre d'individus détectés (respectivement, N=19 et N=9) avec un pourcentage de détection respectif de 42,2% et de 69%. Les temps médians de migration vont de 0,27j/km pour le gardon à 6,23j/km pour la carpe.

Au total 34 individus ont franchi complètement la passe à poissons de Monsin (Tableau 3), ce qui représente un pourcentage d'efficacité total de 17,8%. Le taux d'efficacité ajusté total, qui ne prend en considération que les poissons détectés à l'entrée, en 2023 est de 72,3% (Min=37% pour l'anguille et

Max=100% pour le gardon, le barbeau, le chevaine, le hotu, l'apse et la carpe). Parmi les 34 poissons qui ont franchi la passe à poissons de Monsin, 17 poissons l'ont franchie durant une période de non-fonctionnement de l'antenne aval. Les temps médians de transit, incomplet, au sein de la passe à poissons (médiane multi-espèces = 3h57) varient de 2h23 pour le hotu à 18h26 pour la carpe.

Tableau 3 : Données de détections observées en 2023 à Monsin (Meuse) pour les individus marqués en 2023 à Lixhe (Meuse). Le pourcentage d'efficacité totale (% eff. Tot.) représente le nombre de poissons qui ont réalisé un franchissement par rapport au nombre de poissons marqués à Lixhe. Le pourcentage d'efficacité ajusté (% eff. Ajust.) représente le nombre de poissons qui ont réalisé un franchissement par rapport au nombre de poissons détecté à l'antenne aval de Monsin.

Espèces	N amont Lixhe	N dét.	% dét.	Temps de migration Lixhe- Monsin (jours/km)			N fr.	% eff. Total	% eff. Ajust.	Temps de franchissement (heures)		
				Médiane	Min	Max				Mediane	Min	Max
Anguille	76	8	11%	3,2	0,1	10,9	3	4%	38%	21:44:22	7:35:54	101:51:23
Aspe	3	1	33%	2,5	2,5	2,5	1	33%	100%			
Barbeau	2	2	100%	0,5	0,2	0,8	2	100%	100%			
Brème C	45	19	42%	1,5	0,1	13,2	13	29%	68%	6:27:42	3:14:29	356:46:38
Carpe	5	1	20%	6,2	6,2	6,2	1	20%	100%	18:26:20	18:26:20	18:26:20
Chevaine	13	9	69%	0,6	0,1	5,0	9	69%	100%	2:37:32	2:18:58	5:10:29
Gardon	10	1	10%	0,3	0,3	0,3	1	10%	100%			
Hotu	16	1	6%	1,8	1,8	1,8	1	6%	100%	2:23:36	2:23:36	2:23:36
Ide	1	0	0%					0%	0%			
Silure	20	5	25%	1,3	0,2	4,5	3	15%	60%	3:19:38	3:19:38	3:19:38
Total	191	47	25%	2,2	0,1	13,2	34	18%	72%	03:57:11	2:18:58	356:46:38

b) Détection en 2023 de poissons marqués les années précédentes

A Monsin, en 2023, 9 poissons appartenant à 6 espèces (Anguille, Aspe, barbeau, Carpe, hotu et Silure) ont été détectés après un marquage RFID réalisé avant 2022 (2011 à 2021) (Tableau 4). N=4 anguilles ont été détectées à Monsin de 2 à 3 années post-marquage à Lixhe. On dénombre également 1 aspe (marqué en 2021), 1 barbeau (marqué en 2018), 1 carpe (marquée en 2011), 1 hotu (marqué en 2015), et 1 silure (marqué en 2020). Le pourcentage d'efficacité ajusté de l'échelle à poisson de Monsin est de 44%. Un seul temps de franchissement a été calculé et il est 2h37 pour l'aspe.

Tableau 4 : Données de détections observées en 2023 à Monsin (Meuse) pour les individus marqués avant 2023 à Lixhe (Meuse)

Espèces	N dét.	N par année	N fr	% eff. Ajust.	Temps médian de franchissement (heures)
Anguille	4	1 (2020) 3 (2021)	1	25%	
Aspe	1	1 (2021)	1	100%	02:37
Barbeau	1	1(2018)	1	100%	
Carpe	1	1 (2011)	0	0%	
Hotu	1	1 (2015)	0	0%	
Silure	1	1 (2020)	1	100%	
Total	9		4	44%	

3.2.3 Résultats au niveau du barrage des Grosses Battes (Ourthe)

En 2023, la remontée depuis l'amont du barrage de Lixhe jusqu'au barrage de Liège Grosses Battes sur la basse Ourthe a pu être contrôlée par capture dans les pièges de capture des deux passes à poissons et par le dispositif de détection RFID dans la passe en rive gauche (munie de deux antennes). Les données de remontées concernent 31 poissons en rive gauche (détection) et 6 poissons en rive droite (capture)

Pour la rive gauche, N= 5 anguilles dont N= 4 marqués avant 2023, N=2 barbeaux, N=20 chevaines (dont N= 15 marqués avant 2023), N=1 hotus (marqué en 2022), N=1 carpe marquée en 2023 et N=2 silures (dont 1 marqué en 2022). Parmi ces 31 individus (Tableau 5) :

- 10 individus proviennent des marquages réalisés à Lixhe de 2023 et N=21 des marquages à Lixhe avant 2023 (2013 à 2022).
- 29 individus (94%) ont été détectés préalablement à Monsin entre 1 jours (barbeau) à 3587 jours (chevaine).
- 1 anguille a été détectée à Ivoz-Ramet en 2022 avant d'être détectée en 2023 aux GB.
- 22 individus ont effectué un franchissement complet (eff. Aj. = 71%) avec un temps médian de franchissement de 1h56 (min. = 43min et max. = 12h54).
- Selon les profils de détection et les recaptures dans la cage, N=11 individus (50% des individus détectés en amont) sont redescendus par la passe après une détection à l'antenne amont. Ce phénomène indiquerait qu'il existe un effet répulsif de la cage.

Tableau 5 : Données RFID de 2023 pour l'échelle à poissons des Grosses Battes (Ourthe) en rive gauche (SPW)

Espèces	N dét. GB	N marqué en 2023	N marqués < 2023	% dét. À Monsin (N)	NB jours Monsin - GB	N Fr	% FR	Tps FR médian (heures)	Tps FR min. (heures)	Tps FR max. (heures)	N redescendus	% redescendus
Anguille	5	1	4 (2021)	80% (4)	351-670	1	20%	2:16:17	2:16:17	2:16:17	0	0%
Barbeau	2	2	0	100% (2)	1-8	2	100%	0:42:46	0:42:46	0:42:46	1	50%
Carpe	1	1	0	100% (1)	38	0	0%	-	-	-	0	0%
			1 (2013)									
			1 (2015)									
			2 (2016)									
Chevaine	20	5	3 (2019)	95% (19)	2-3587	18	90%	1:54:04	0:53:15	12:54:26	9	50%
			1 (2020)									
			6 (2021)									
			1 (2022)									
Hotu	1	0	1 (2022)	100% (1)	574	0	0%	-	-	-	0	0%
Silure	2	1	1 (2022)	100% (1)	56-313	1	50%	6:37:21	6:37:21	6:37:21	1	100%
Total	31	10	21	94% (29)		22	71%	1:56:29	0:42:46	12:54:26	11	50%

Pour la rive droite, qui ne possède pas de système de détection RFID, N= 6 poissons ont été recapturés (N=4 barbeaux et N= 2 chevaines). Parmi ces 6 individus (Tableau 6) :

- 4 poissons ont été marqués à Lixhe et 2 poissons ont été marqués aux GB en 2015.
- 2 poissons proviennent des marquages de 2023 (1 barbeau et 1 chevaine) et 4 poissons ont été marqués antérieurement entre 2015 et 2018.
- 2 poissons ont été détectés au niveau de la passe en RG avant d'être capturés dans le piège de capture de la RD.

- Sur les 4 poissons marqués à Lixhe, N= 3 individus ont été détectés à Monsin entre 3 jours et 1825 jours plus tôt.

Tableau 6 : Données relative au poissons recapturés en 2023 pour l'échelle à poissons des Grosses Battes (Ourthe) en rive droite (HydroB).

Espèce	Date recapture GB	Dét. GB RG	Date Marquage	Lieu marquage	Dét. À Monsin	Nb jours Lixhe > Monsin	Nb jours Monsin>GB
Barbeau	08-05-23	-	10-04-15	Ourthe - GB	-	-	-
Barbeau	08-05-23	05-05-23	02-05-23	Meuse - Lixhe	04-05-23	3	3
Barbeau	12-05-23	-	08-06-15	Ourthe - GB	-	-	-
Barbeau	22-05-23	-	28-04-17	Meuse - Lixhe	-	-	-
Chevaine	23-05-23	-	10-04-18	Meuse - Lixhe	23-05-18	44	1825
Chevaine	23-05-23	09-05-23	11-04-23	Meuse - Lixhe	18-04-23	8	34

3.2.4 Résultats au niveau du barrage d'Ivoz-Ramet (Meuse)

En 2023, on dénombre 18 individus, tous marqués entre 2016 et 2023, appartenant à 6 espèces : 3 anguilles, 1 aspe, 1 barbeau, 8 brèmes communes, 3 chevaines et 1 hotu (Tableau 7). Dans l'analyse des remontées de poissons au barrage d'Ivoz-Ramet, il faut tenir compte d'une possibilité de passage des poissons par les écluses de navigation en rive droite. De plus pour l'anguille, une autre voie de passage serait l'utilisation de la nouvelle passe à anguille installée en automne 2015 (Fig. 9). Cette nouvelle passe à anguille n'est pas encore équipée d'une antenne RFID mais sa remise en fonction (problème d'approvisionnement d'eau depuis sa mise en place) confirme le besoin d'équiper cette passe en antennes RFID dans le futur. Parmi ces 18 individus détectés à Ivoz :

- 11 individus proviennent des marquages de 2023 et 7 proviennent de marquage antérieures (entre 2016 et 2022), tous marqués à Lixhe.
- 2 brèmes communes n'ont pas été détecté au préalable dans la passe à poissons de Monsin.
- Le temps de parcours en 2023 entre Lixhe et Ivoz-Ramet (29,2km) est en moyenne de 434 jours avec un minimum de 18 jours pour un hotu et un maximum de 2315 jours pour un barbeau.
- A partir du 18/04/23 (date placement seconde antenne RFID), 12 individus sur 14 ont effectué un franchissement complet (eff. Aj. = 85,7%) avec un temps médian de franchissement de 1h30 (min. = 32min et max. = 97h56).
- 1 chevaine a déjà été détecté en mai 2022 à Ivoz-Ramet
- Selon les profils de détection, aucun individu n'est redescendu par la passe après avoir été détecté à l'antenne amont.

Tableau 7 : Données de détection RFID dans l'échelle à poissons d'Ivoz-Ramet en 2023.

Espèces	N dét. Ivoz	N marqué en 2023	N marqués < 2023	% dét. À Monsin (N)	NB jours Monsin - Lixhe	N Fr	% FR	Tps FR médian (heures)	Tps FR min. (heures)	Tps FR max. (heures)
Anguille	3	0	1 (2021) 2 (2022)	100% (3)	739-1161	3	100%	01:56:00	97:56:00	97:56:00
Aspe	1	1		100% (1)	58	1	100%	00:32:38	0:32:38	0:32:38
Barbeau	1	0	1 (2016)	100% (1)	2316	1	100%			
Brème c.	8	6	1 (2020) 1 (2021)	75% (6)	39-1071	6	75%	01:35:22	1:13:52	2:17:53
Chevaine	3	2	1 (2022)	100% (3)	21-315	3	100%	00:56:36	0:53:53	0:59:18
Hotu	2	2	0	100% (1)	18-26	2	100%	02:06:10	2:06:10	2:06:10
Total	18	11	9	89% (16)		16	89%	01:31:02	0:32:38	97:56:00

3.2.5 Résultats au niveau du barrage de Lixhe (Meuse)

En 2023, au total, 14 individus de 6 espèces différentes (Barbeau, brème commune, chevaine, hotu, ide et Silure) ont été détectés au sein du dispositif de détection de la grande échelle à poissons de Lixhe (Tableau 8). Parmi ces 14 individus :

- Les individus détectés proviennent de marquages effectués en 2014 et 2021 à Lixhe.
- Deux individus (1 chevaine et 1 brème commune), non repris dans le tableau 8, ont été détectés par les antennes le jour du marquage. Il s'agit certainement de dévalaison passive directement post-maquage.
- n=14 (29%) ont été détecté dans la partie amont de la passe à poissons et n=1 (7%) a effectué un franchissement complet en ressortant de la passe vers l'amont. Le temps de franchissement de la passe varie de 4h14 pour un silure à 27h03 pour un barbeau.

Tableau 8 : Données de détection RFID dans l'échelle à poissons de Lixhe en 2023

Espèces	N dét. Lixhe	Année de marquage	N Fr	% FR	Tps FR médian (heures)	Redescendu
Barbeau	2	1 (2014) 1 (2016)	1	50%	27:03:00	0 (0%)
Brème c.	7	7 (2020)	0	0%		0 (0%)
Chevaine	1	1 (2020)	1	100%	7:41:00	1 (100%)
Hotu	1	1 (2021)	0	0%		
Ide	1	1 (2022)	0	0%		
Silure	2	2 (2020)	2	100%	4:44:00 4:15:00	2 (100%)
Total	14		4	29%	6:12:30	3 (75%)

3.2.6 Récapitulatif des données de franchissement en 2023 pour les 4 passes à poissons munies de dispositifs de détection

Parmi les 4 passes à poissons, maintenant équipées d'un double dispositif de détection (1 antenne aval et 1 antenne amont), il est possible de déterminer l'efficacité ajustée de chacune (Ovidio et a., 2017).

A l'aide des résultats (Tableau 9), on observe que :

- la passe d'Ivoz-Ramet sur la Meuse, représente la passe avec l'efficacité ajustée la plus grande avec 89% et un temps médian de franchissement le plus faible 1h31.
- La passe de Lixhe est la passe avec l'efficacité ajustée la plus faible mais les effectifs sont faibles.
- Il y a clairement un effet de la cage de capture à Lixhe et aux Grosses-Battes car entre 50% et 75% des poissons qui ont atteint l'amont, redescendent ensuite par la passe et sont finalement détectés en entrée de passe aval.

Tableau 9 : Données de détection RFID en 2023 pour les 4 passes à poissons d'étude avec un récapitulatif des données de franchissement

Espèces	Lixhe					Monsin					Grosses-Battes (RG)					Ivoz-Ramet				
	N dét.	N Fr	% eff. Ajust.	Tps FR médian (heures)	N Redescendu (%)	N dét.	N Fr	% eff. Ajust.	Tps FR médian (heures)	N Redescendu (%)	N dét.	N Fr	% eff. Ajust.	Tps FR médian (heures)	N Redescendu (%)	N dét.	N Fr	% eff. Ajust.	Tps FR médian (heures)	N Redescendu (%)
Anguille	-	-	-	-	-	12	4	33%	21 h44	0 (0%)	5	1	20%	2 h16	0 (0%)	3	3	100%	1 h56	0 (0%)
Aspe	-	-	-	-	-	2	2	100%	2 h37	0 (0%)	-	-	-	-	-	1	1	100%	0 h32	0 (0%)
Barbeau	2	1	50%	27 h03	0 (0%)	3	3	100%	-	0 (0%)	2	2	100%	0 h42	1 (50%)	1	1	100%	-	0 (0%)
Brème c.	7	0	0%	-	0 (0%)	19	13	68%	6 h27	0 (0%)	-	-	-	-	-	8	6	75%	1 h35	0 (0%)
Carpe	-	-	-	-	-	2	1	50%	18 h26	0 (0%)	1	0	0%	-	-	-	-	-	-	-
Chevaine	1	1	100%	7 h41	1 (100%)	9	9	100%	2 h37	0 (0%)	20	18	90%	1 h54	9 (50%)	3	3	100%	0 h56	0 (0%)
Gardon	-	-	-	-	-	1	1	100%	-	0 (0%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hotu	1	0	0%	-	-	2	1	50%	2 h23	0 (0%)	1	0	0%	-	-	2	2	100%	2 h06	0 (0%)
Ide	1	0	0%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silure	2	2	100%	4 h25	2 (100%)	6	4	67%	3 h19	0 (0%)	2	1	50%	6 h37	1 (100%)	-	-	-	-	0 (0%)
Total	14	4	29%	6 h12	3 (75%)	56	38	68%	3 h57	0 (0%)	31	22	71%	1 h56	11 (50%)	18	16	89%	1 h31	0 (0%)

4 EVALUATION DE L'UTILISATION DU BASSIN DE LA BERWINNE DANS LE CONTEXTE DE LA RÉINTRODUCTION DU SAUMON (UNAMUR/ ULIÈGE)

4.1 Contexte sur la Berwinne

Depuis de nombreuses années, les rempoissonnements du projet « Saumon Meuse » sont majoritairement effectués sur le bassin de l'Ourthe. Ce choix est délibéré et raisonné selon différents critères liés à *i*) un aspect logistique (proximité avec la salmoniculture) ; *ii*) la qualité des eaux sur ce bassin ; *iii*) une bonne connaissance des zones d'intérêts pour le repeuplement (étude de Otjacques et al. 2012). Toutefois, malgré des efforts de production de plus en plus intenses amenant à des déversements conséquents, les retours de saumons adultes restent faibles et déclinent légèrement ces dernières années. Plusieurs raisons peuvent être responsables de ces résultats quelques peu décourageants, notamment la difficulté de migration de dévalaison des jeunes saumons (i.e. Méry, Grosses Battes, complexe Monsin / Canal Albert). Il peut également être question ici d'un faible taux de survie des jeunes saumons déversés dû à un certain nombre de conditions délétères à savoir : la prédation des ichtyophages, le retard dans l'adaptation à leurs nouveaux habitats, les ressources alimentaires limitées, la vitesse et l'intensité de la dérive et la perturbation ou la perte du réflexe de fuite face à un prédateur (Orlov et al., 2006 ; Rodewald et al., 2011 ; Weber et al., 2014). Ainsi, il semble totalement judicieux d'identifier le potentiel d'une ou plusieurs rivières d'empoissonnement autres que celles d'ores et déjà utilisées afin d'optimiser la chance de survie et de dévalaison des jeunes saumons issus des déversements. Parmi un vaste choix de rivières wallonnes potentiellement intéressantes pour le repeuplement de jeunes saumons, la Berwinne présente un avantage considérable comparativement aux autres. Celle-ci est localisée à proximité de la frontière belgo-néerlandaise permettant de s'affranchir des difficultés de dévalaison, du moins en Wallonie. De plus, historiquement cette rivière est celle qui a donné naissance au projet « Saumon Meuse » après la découverte en 1987 de truites de mer (espèce anadrome). Cette étude avait donc pour but d'évaluer le potentiel de la Berwinne en tant que rivière d'empoissonnement. Cette action s'inscrit dans la continuité d'une démarche commune initiée entre l'Université de Namur et l'Université de Liège durant la convention 2022/2023. De façon plus spécifique, cette action avait pour objectif *(i)* de caractériser les ressources alimentaires suivant les zones de déversement, *(ii)* d'examiner le fitness des organismes empoisonnés en évaluant un taux de présence sur zone de déversement, la croissance et l'état physiologique des jeunes saumons, *(iii)* de déterminer leur comportement alimentaire dans le milieu et enfin, *(iv)* d'étudier les comportements de déplacements de juvéniles de saumon dont la migration de dévalaison.

4.2 Matériel et méthode

4.2.1 Choix et localisations des stations

Ce travail a été réalisé sur la rivière Berwinne, située à l'est de la Belgique entre Liège et Maastricht d'une longueur inférieure à 30Km. La Berwinne est un affluent direct de la Meuse où la confluence est

située à la limite de la frontière Hollandaise. Au total 4 secteurs ont été définis pour le déversement des AEVR (Alevins émergents à vésicule résorbée) (Fig. 1). Ces derniers sont situés de Berneau (partie en aval) jusqu'à Val-Dieu (partie en amont). La zone d'étude s'étend sur une distance d'environ 14 km. Les différents secteurs ont été sélectionnés selon les caractéristiques hydrologiques spécifiques à l'habitat des saumoneaux que sont la vitesse d'écoulement et les substrats des zones de radiers (Fig. 2) et à leur accessibilité. Un secteur est constitué de plusieurs radiers dont le nombre varie entre 14 (Dalhem) et 21 radiers (Aubin) sur l'ensemble des secteurs. Pour chaque radier, la longueur et la largeur ont été mesurées en vue de la détermination de leurs surfaces. La figure 3 ci-dessous présente les différents secteurs et radiers de déversement des AEVR.

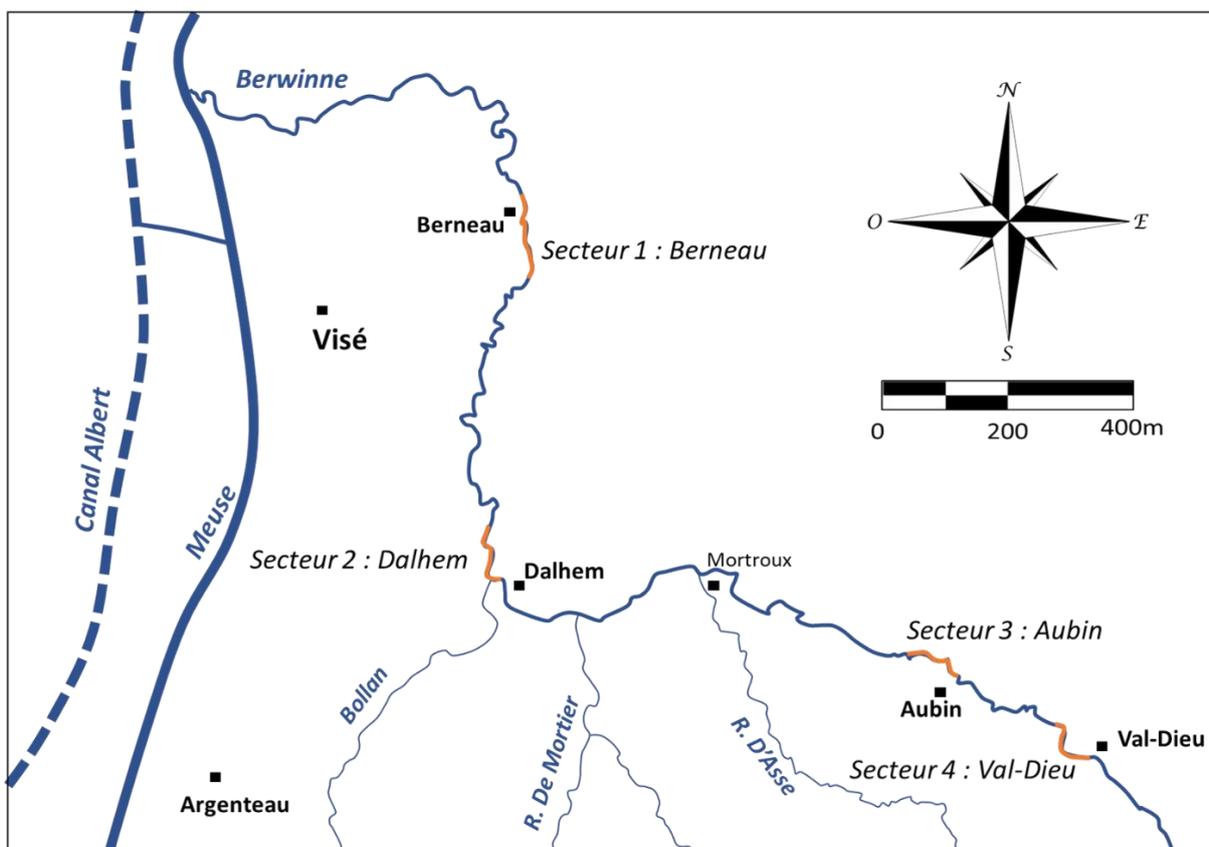


Figure 1 Localisation des 4 secteurs sélectionnés sur cette étude et des radiers associés à ces derniers



Figure 2 Photographie d'un radier sélectionné comme zone de déversement pour la Berwinne



Figure 3 Localisation GPS des radiers par secteur de déversement sur la Berwinne

4.2.2 Déversement des AEVR dans la Berwinne

Les alevins émergents à vésicule résorbée (AEVR) de ce travail étaient issus de la souche Loire Allier et provenaient tous de reproductions effectuées à la salmoniculture d'Erezée (CosMos). Pour rappel, en 2022, pour l'ensemble des secteurs, 62.541 AEVR soit 15.747, 15.604, 15.153 et 16.037 d'un poids moyen de 0,20g ont été repeuplés respectivement pour les secteurs 1 (Berneau), 2 (Dalhem), 3 (Aubin) et 4 (Val-Dieu). Ces empoisonnements ont été réalisés le 11 avril 2022 dans le secteur 4, le 15 avril 2022 dans le secteur 3 et le 19 avril 2022 dans les secteurs 1 et 2. En 2023, un effort d'empoisonnement plus conséquent a été réalisé amenant le nombre d'AEVR à un total de 103.921, soit 25.593, 25.956, 24.873 et 27.499 d'un poids moyen de 0,18g ont été repeuplés le 28/04/2023 et le 02/05/2023, respectivement pour les secteurs 1, 2 et 3, 4.

Le transport des alevins de la salmoniculture jusqu'à la zone de déversement a été effectué dans des sacs plastiques remplis au tiers d'eau de la salmoniculture et gonflés à l'oxygène. Du CosMos jusqu'au déversement, la durée du transport n'a pas excédé 2h. Une fois sur le terrain, les sacs ont été directement plongés pendant quelques minutes dans la rivière afin de permettre leur bonne acclimatation à la température après le déversement (Fig.4). Le contenu de chaque sac a été réparti entre deux, trois ou quatre radiers en fonction de leurs surfaces de radier favorable à leur implantation à ce stade de vie.



Figure 4 Acclimatation des jeunes AEVR avant le déversement

4.2.3 Caractérisation des ressources alimentaires de la Berwinne

4.2.3.1 Échantillonnage des macroinvertébrés

La collecte des macroinvertébrés a été réalisée le 29 mars à Dalhem, le 6 avril à Aubin, le 11 avril à Val-Dieu et le 12 avril à Berneau, soit quelques semaines avant le déversement des alevins sur les secteurs.

Pour chaque secteur, deux approches d'échantillonnage ont été adoptées selon le type de macroinvertébrés (*i.e.* benthiques ou dérivants) ciblé.

Prélèvements des macroinvertébrés benthiques

Pour les macroinvertébrés benthiques, l'échantillonnage a été réalisé au niveau des radiers sur lesquels un prélèvement stomacal a ensuite pu être réalisé sur un ou plusieurs saumons (Fig. 5):

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

Les substrats ont été identifiés selon la classification IBGN qui associe des couples substrats/vitesse. Les substrats les plus représentés ont été : les grosses pierres et galets typiques des radiers, les végétaux (racines, spermaphytes immergés, etc...) et enfin les sables et graviers. Lorsque le substrat était de type gravier/sable, le filet a été posé sur le fond du cours d'eau et le substrat a été chassé dans le filet à l'aide de trois coups de pied. Pour les grosses pierres (>20 cm), 3 ou 4 pierres ont été frottées consciencieusement dans le filet. Enfin, en ce qui concerne les végétaux (algues, racines, plantes, etc...), ils ont été insérés dans le filet et frottés, et ce à trois endroits différents.



Figure 5 Échantillonnage des macroinvertébrés benthiques

Le contenu de chaque échantillon a ensuite été déversé sur une colonne de trois tamis Prüfsieb DIN 4188 superposés de 20cm de diamètre avec un maillage de 6,2mm ; 2mm et 500 μm ; le tamis aux fines mailles étant en dessous. Les organismes ont ensuite été récupérés dans un bac prévu à cet effet selon la méthodologie suivante :

- Le filet a été rincé à l'aide d'un pulvérisateur sous pression rempli d'eau de la rivière. Le substrat disposé sur le premier tamis a également été rincé à l'aide du pulvérisateur.
- Lors du passage sur le deuxième tamis, après rinçage, le substrat avec les macroinvertébrés ont été récupérés dans un récipient étanche contenant de l'éthanol à 70°.
- La procédure a été identique pour le dernier tamis, le contenu du bac a été reversé dans ce tamis pour vérification. Les macroinvertébrés ont été récupérés dans le même récipient que pour le tamis n°2.

A chacune de ces étapes, une vérification visuelle a été réalisée afin de s'assurer que tous les macroinvertébrés aient été récupérés. Dans le cas contraire, ces derniers ont été directement déposés dans le contenant à l'aide d'une pince fine. Les 3 récipients réalisés sur un même radier ont ensuite été regroupés dans un même contenant.

Prélèvement des macroinvertébrés dérivants

Pour l'échantillonnage des macroinvertébrés dérivants, des filets Surber de 30 x 30 cm ont été posés en amont du premier radier dans chacune des 4 stations, et ce pendant 2h. Les 3 filets ont été disposés

sur la largeur du cours d'eau à 2 cm du fond de substrats pour éviter une récolte du benthos (Fig. 6). Le débit a été mesuré au début du prélèvement au moyen d'un courantomètre de type Flo-mate 2000 portable. Pour le secteur 1, les filets ont été posés de 13h48 à 15h50 avec un courant d'entrée pour chaque filet de respectivement 0,40 m³/s, 0,41m³/s et 0,10m³/s. Pour le secteur 2, les filets ont été posés de 9h49 à 12h15 avec un courant à l'entrée de chaque filet de 0,57m³/s, 0,54m³/s et 0,55m³/s. Pour le secteur 3, les filets ont été posés de 12h40 à 14h52 avec un courant à l'entrée de chaque filet de 0,25m³/s, 0,35m³/s et 0,58m³/s. Pour le secteur 4, les filets ont été posés de 9h50 à 13h40 avec un courant à l'entrée de chaque filet de 0,35m³/s, 0,30m³/s et 0,28m³/s.

La procédure de récupération des organismes capturés dans le filet a été la même que celle utilisée pour la partie benthique avec rinçage et récupération sur tamis. Et enfin les macroinvertébrés présents dans les 3 filets ont été centralisés dans un même contenant rempli d'éthanol à 70°.



Figure 6 Dispositif d'échantillonnage des macroinvertébrés dérivants

4.2.3.2 Identification et quantification des macroinvertébrés

De retour au laboratoire, les macroinvertébrés ont été placés dans une boîte de pétri contenant de l'eau distillée puis identifiés à l'aide d'une loupe binoculaire au grossissement x10. Les références et clés utilisées pour l'identification des organismes ont été la clé en ligne Classification PERLA Ministère du Développement durable¹ (version d'avril 2023), ainsi qu'en complément le livre Tachet et al. "Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie, écologie."

Les individus dont l'identification posait problème ont été identifiés par Monsieur Frédéric Cherot, membre du DEMNA (Département de l'Étude du Milieu naturel et agricole) et spécialiste en macroinvertébrés.

¹ <http://www.perla.developpement-durable.gouv.fr/index.php/classification/liste>

4.2.4 Suivi des jeunes saumons déversés dans la Berwinne

4.2.4.1 Procédure de prélèvement et calendrier

Dans cette étude, les pêches électriques ont été réalisées selon le schéma présenté dans la figure 7 à T11 mois (mars 2023) pour les organismes déversés durant la convention 2022 / 2023 et à T3 mois (juillet) et T6 mois (octobre) pour les organismes déversés en avril 2023 (Tab 1). Cette méthodologie a été retenue en raison du gain de temps et de personnel. Pour le suivi à T11 mois de la cohorte 2022, l'ensemble du linéaire a été inventorié en 1 passage en mars 2023. Pour les suivis à T3 mois et T6 mois de la cohorte 2023, la méthode a consisté à cibler uniquement les zones de radiers / rapides, habitats préférentiels des saumons juvéniles de l'année (Fig 8 - 9). Pour chaque secteur, des pêches électriques ont été réalisées sur des radiers, en deux passages successifs.

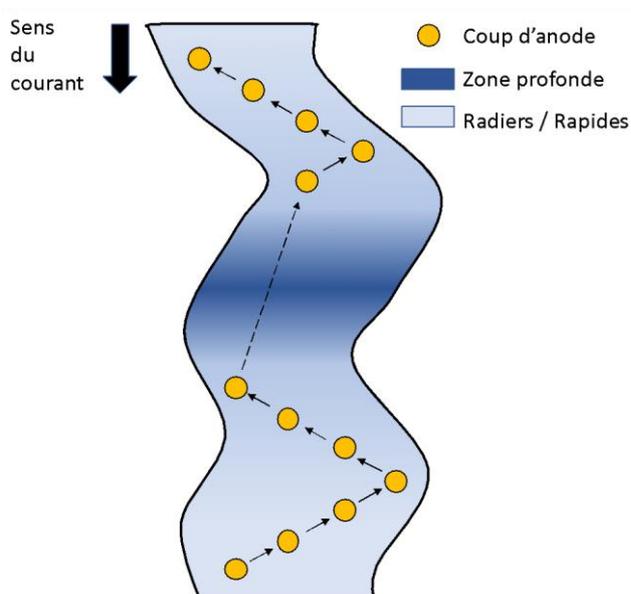


Figure 7 Schéma synthétique de la prospection selon la méthode employée dans cette étude

Tableau 1 Calendrier de déversement et d'échantillonnage poissons par pêche électrique par secteur

Lieux	N radiers	Date dév.	N AEVR	Date T3mois	Date T6mois
Berneau	16	02-05-23	27499	07-07-23	12-10-23
Dalhem	14	02-05-23	24873	14-07-23	13-10-23
Aubin	21	28-04-23	25956	14-07-23	20-10-23
Val-Dieu	15	28-04-23	25593	24-07-23	20-10-23



Figure 8 Illustration photo d'un inventaire piscicole sur un radier de la Berwinne



Figure 9 Illustration photo de la prise de biométrie d'un juvénile de saumon

Après chaque passage dans un radier, les poissons capturés ont été dénombrés, les paramètres morphométriques tels que la longueur totale, la longueur à la fourche (au millimètre près) et le poids total (au gramme près) ont été relevés.

Un pourcentage de présence sur zone de déversement, la croissance (taux de croissance spécifique SGR) des jeunes saumons, leur adaptation aux conditions du milieu (indice de conditions de Fulton K) et leur comportement alimentaire en fonction des ressources en macroinvertébrés disponibles ont été étudiés dans cette partie en utilisant les formules suivantes :

- **Estimation de la taille des populations** (nombre d'individus) par radier selon la méthode de Seber et Le Cren (1967) : la populations estimées (P) est calculée sur base des effectifs capturés au premier (C1) et au second (C2) passage où $P = C1^2 / C1 - C2$.

- **Pourcentage de présence (%)** = $TS (\%) = (\text{Densité estimée} / \text{Densité initiale}) * 100$;
- **Taux de croissance spécifique (%/j)** : $SGR = (\ln (\text{poids final}) - \ln (\text{poids initial}) * 100) / \text{Durée de l'étude}$; avec poids en (g) et Durée en (j) ;
- **Facteur de condition (K)** ; il est calculé par le rapport entre le poids*100 (mg)/la taille au cube (mm) ($100 * P / Lf^3$)
- **Indice de Shannon (H')** ; représente une mesure de la stabilité des communautés, prend en compte lors de son calcul la richesse et l'abondance relative des espèces contrairement à la richesse spécifique.

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

Où i est une famille du milieu d'étude, S est la richesse spécifique et p_i est la proportion du nombre d'individus d'une famille (n_i) sur le nombre d'individus total dans le milieu d'étude (N)

Pour l'analyse du comportement alimentaire, les 20 premiers saumons avec contenus ont été sélectionnés (sauf pour le secteur 4 où seulement 15 contenus ont été prélevés). La technique de "flushing" a été utilisée afin de ne pas sacrifier les saumons au contraire de l'étude de 2022 qui a consisté à prélever directement le tractus digestif de 10 organismes. Pour cela un dispositif composé d'un fin embout en plastique prolongé par un tuyau relié à un pulvérisateur rempli d'eau distillée a été utilisé, une pédale permettant de contrôler la pression. L'embout a été inséré délicatement à l'intérieur de l'orifice buccal du saumon jusqu'à la première résistance ressentie (quelques centimètres) et les opercules ont été maintenus fermés afin d'éviter le passage de macroinvertébrés par ce biais. De l'eau distillée a ensuite été injectée dans l'estomac du saumon, le processus a été répété plusieurs fois afin de récupérer la totalité du contenu stomacal. Celui-ci a été capté dans une passoire en plastique posée sur un support pour en assurer la stabilité (Fig. 10). Ensuite, pour chaque saumon flushé, les macroinvertébrés présents dans la passoire ont été transférés dans un Eppendorf à l'aide d'une pince fine et directement congelés pour leur conservation. Le jour de l'analyse, ils ont été décongelés et ensuite mis dans une boîte de pétri contenant de l'eau distillée. L'identification au binoculaire a été réalisée selon la procédure énoncée précédemment.



Figure 10 Récupération du contenu stomacal et mise en Eppendorf

Pour le comportement alimentaire : l'abondance numérique d'un taxon % A_i et l'index de sélection des proies (V) ont été calculés. Pour cela, l'ensemble des macroinvertébrés retrouvés dans tous les contenus stomacaux d'un même échantillonnage ont été additionnés et rapportés permettant ainsi d'obtenir des abondances (Descroix *et al.* 2009).

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

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

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

4.2.5 Suivis du comportement de dévalaison des smolts

Le suivi automatique pour la détection de poissons marqués RFID plus en amont a été réalisé avec une antenne de détection RFID placée au niveau de Lixhe, au travers de la Berwinne, juste avant la confluence de la Berwinne avec la Meuse, environ 700m en amont (Fig. 11). Initialement placée perpendiculairement au sens du courant afin de maximiser les détections, l'antenne a été remplacée par deux antennes, côte à côte, placée sur le fond de la rivière dans le but d'éviter une dégradation à chaque coup d'eau. Grâce aux détections enregistrées, il est possible de calculer **Le taux d'échappement (%)** : pourcentage d'individus qui dévalent et qui sont enregistrés par l'antenne automatique par rapport au nombre d'individus marqués en amont. Les poissons ont été marqués lors des pêches électriques de recensement à T11 mois (mars 2023) pour la cohorte 2022 et à T6 mois (octobre 2023) pour la cohorte 2023. En plus, 200 smolts en provenance d'Erezée ont été déversés sur chacun des secteurs (50 ind./ secteur), le 7 avril 2023 afin de maximiser les informations de taux d'échappement par secteur.



Figure 11 Antenne de détection RFID de Lixhe avant Septembre 2023 (en haut) et après septembre 2023 (en bas).

4.2.6 Suivis des comportements de tacons en rivière

Un suivi manuel, par télémétrie RFID, a été réalisé du 29 mars 2023 au 2 juin 2023 à raison de deux fois par semaine. Pour chaque journée de suivi, deux passages ont été réalisés sur le secteur d'étude, en l'occurrence, le secteur de Berneau, un le matin et un l'après-midi. Deux personnes ont été mobilisées, une dans l'eau qui scannait la rivière à l'aide d'une antenne mobile et d'une station RFID mobile, l'autre restait sur la rive et notait les informations relevées. Ce suivi manuel a été réalisé avec une station de la marque « Oregon », placée dans un sac à dos (Fig. 12). Selon l'orientation du pit-TAG par rapport à l'antenne, le champ de détection de l'antenne varie de 15 à 50 cm et permet donc d'avoir une idée très précise de la localisation du tacon identifié. Lors du suivi sur le terrain, pour chaque tacon détecté par l'antenne, ont été relevés les données du numéro du pit-TAG RFID, les coordonnées GPS, la profondeur de l'endroit précis où le poisson a été localisé ainsi que le type de substrats (végétaux, sable, graviers ou galets). Enfin, les types de faciès d'écoulement ont été notés et définis sur base de la description faite par Malavoi et Souchon (2002).



Figure 12 Antenne Oregon (www.oregonrfid.com) (gauche) et Suivi RFID manuel dans la Berwinne (à droite)

Pour chaque tacon marqué, différentes données ont été mesurées et calculées.

- Le nombre de détections pour chaque tacon.
- La distance entre le point de déversement, c'est-à-dire l'endroit où il a été pêché lors de la pêche électrique de marquage et puis où il a été remis après le marquage, et le point où il a été détecté pour la première fois lors du suivi manuel.

- Le domaine vital utilisé par le tacon lors des deux mois de suivi réalisés, c'est-à-dire la distance linéaire entre le point le plus en amont et le point le plus en aval auxquels le tacon a été détecté.
- La distance maximale parcourue par un tacon entre deux détections consécutives.
- La distance totale parcourue : l'addition de toutes les distances parcourues entre deux détections, sans tenir compte de la distance entre le point de déversement et la première détection.
- La distance nette : la distance parcourue entre deux détections.

4.2.7 Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R Studio v1.4.1717 (RStudio). Les tests respectifs de Shapiro-Wilk et de Bartlett ont permis de vérifier la normalité et l'homogénéité des variances. En fonction de la normalité des données, différents tests statistiques ont été évalués. Lorsque les deux tests de base étaient vérifiés, la comparaison des moyennes a été effectuée avec le test ANOVA suivie d'une comparaison post-hoc avec le test de Tukey en cas de différences significatives (valeur $p < 0,05$). En cas de non-normalité des données, les tests non paramétriques de Kruskal-Wallis ont été réalisés avant le test post hoc de Wilcoxon-Whitney en cas de différences significatives (valeur $p < 0,05$). Pour les analyses en composantes principales (ACP), les abondances relatives de chaque famille de macroinvertébrés ont été utilisées. L'utilisation des données de chaque famille ne permettant pas d'obtenir une variance expliquée suffisante. Les familles présentes à moins de 1% au niveau de l'abondance totale ont été éliminées. Ensuite, les variables (familles) qui ont la variance expliquée la plus faible ont également été éliminées jusqu'à l'obtention de 60% minimum de variance expliquée pour les dimensions 1 et 2.

4.3 Résultats

4.3.1 Caractérisation des ressources trophiques (mars 2023) à T11 mois

4.3.1.1 Sur l'ensemble des 4 stations

Au niveau benthique, 41 familles ont été retrouvées pour un total de 5.355 individus. Parmi celles-ci, 3 familles ont majoritairement été représentées (62.71% de l'abondance totale) : les Baetidae (32,01%), les Sphaeriidae (19,33%) et les Chironomidae (11,37%) (Fig. 13, gauche). Au niveau de la dérive, 20 familles ont été identifiées pour un total de 266 individus dont 3 familles majoritaires (63,15% de l'abondance totale) : les Caenidae (29,32%), les Baetidae (20,32%) et les Chironomidae (13,53%) (Fig. 13, droite). Une moyenne de 0,072 individu/m³ dans la dérive a été observée.

Les différences notables de familles retrouvées en termes d'abondance entre dérive (D) et benthique (B) ont été observées chez les Sphaeriidae (19,33% B et 1,88% D), les Caenidae (5,68 % B et 29,32% D), les Gammaridae (3,12% B et 7,89% D) et les Elmidae (1,68% B et 4,14% D). Certaines familles

appartenant à la catégorie “Autres” (<1%) dans le benthos ne l’ont pas été dans le dérivant et inversement tels que chez les Simuliidae, les Oligochètes, les Planorbidae, les Erpobdellidae, les Ephemeraeidae, les Hydracarien et les Leptoceridae.

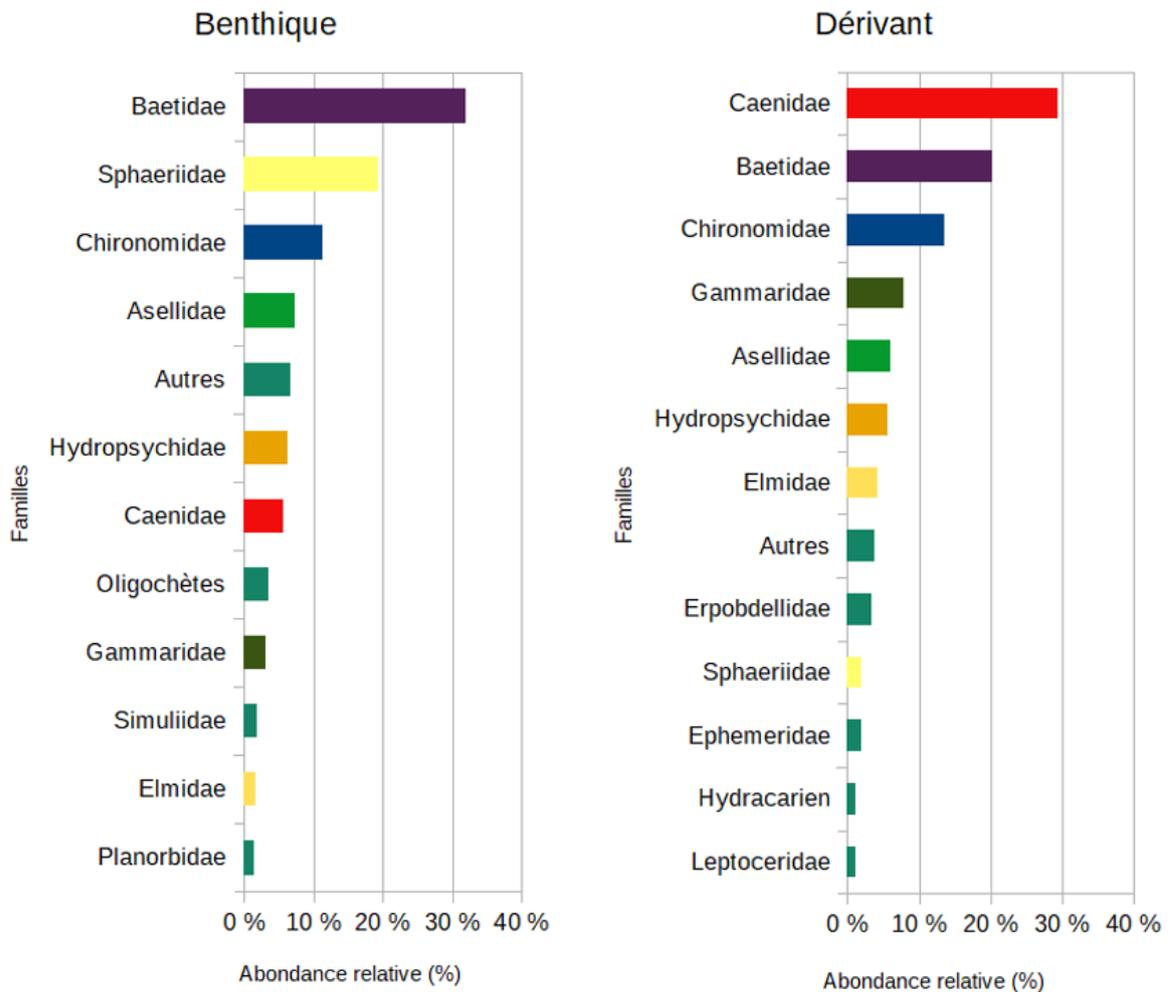


Figure 13 Abondance relative des familles de macroinvertébrés retrouvées dans les radiers et en dérive. (La catégorie “Autres” regroupe les familles présentes à moins de 1%.)

4.3.1.2 Courbes d’accumulations

La courbe d’accumulation a permis de voir qu’une stabilisation du nombre d’espèces trouvées (41 espèces) sur les radiers, 39 au total, semblait arriver au niveau des deux dernières unités d’échantillonnages (Fig. 14, haut). L’effort d’échantillonnage global paraissait donc suffisant. Il en va de même pour chaque station séparément (Fig. 14, bas).

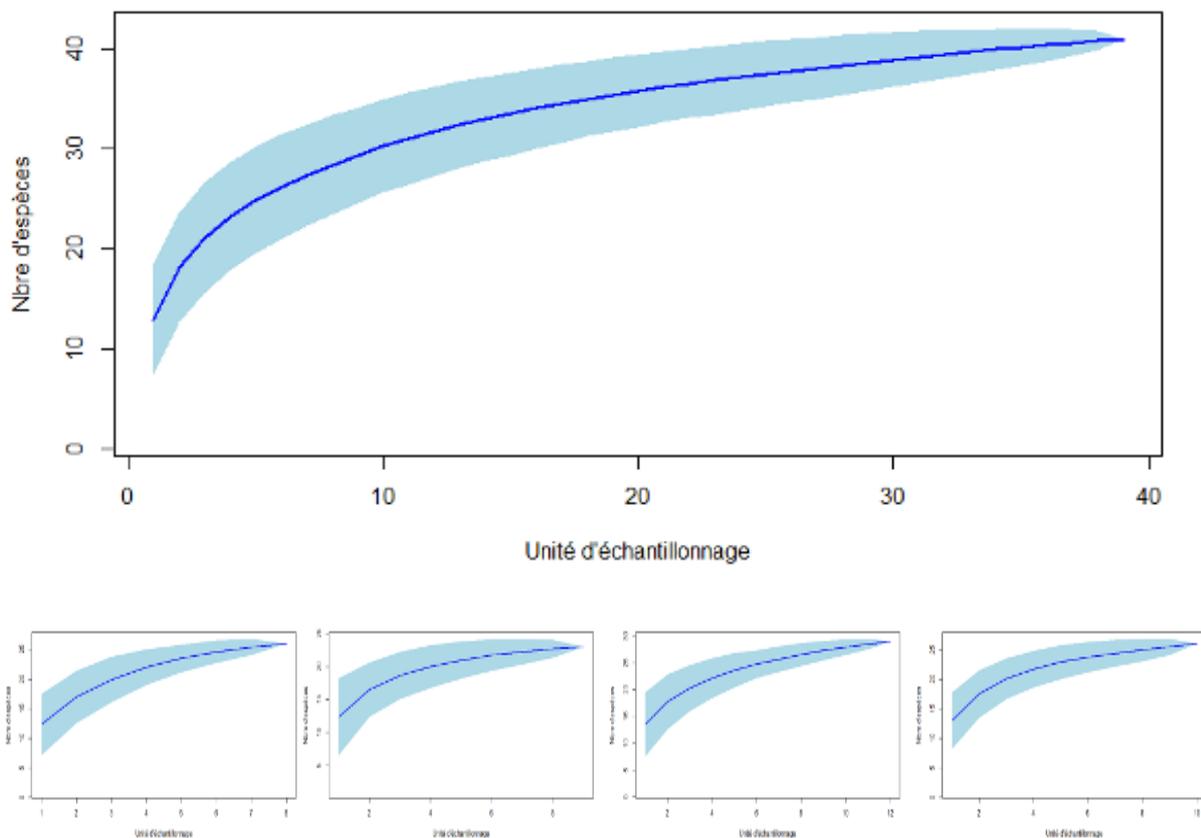


Figure 14 Courbes d'accumulation des espèces de macroinvertébrés échantillonnés en fonction du nombre d'unités d'échantillonnages (les radiers) pour les stations confondues. Toutes stations confondues (en haut) et pour chaque station séparément de la 1 à la 4 (de gauche à droite).

4.3.1.3 Composition en macroinvertébrés du milieu par station

4.3.1.3.1 Aperçu de la composition en macroinvertébrés benthiques et dérivants par station

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

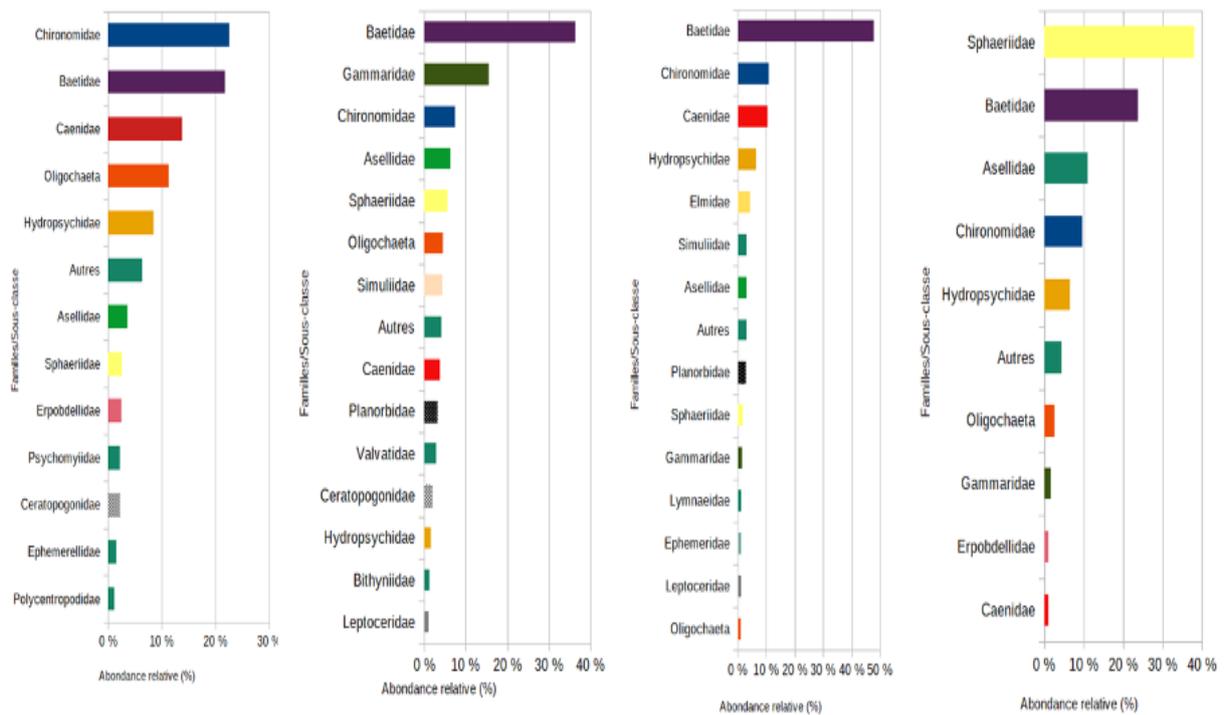


Figure 15 Abondances relatives des familles de macroinvertébrés retrouvées au niveau benthique (sur les radiers) pour les stations 1, 2, 3 et 4 (de gauche à droite).

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

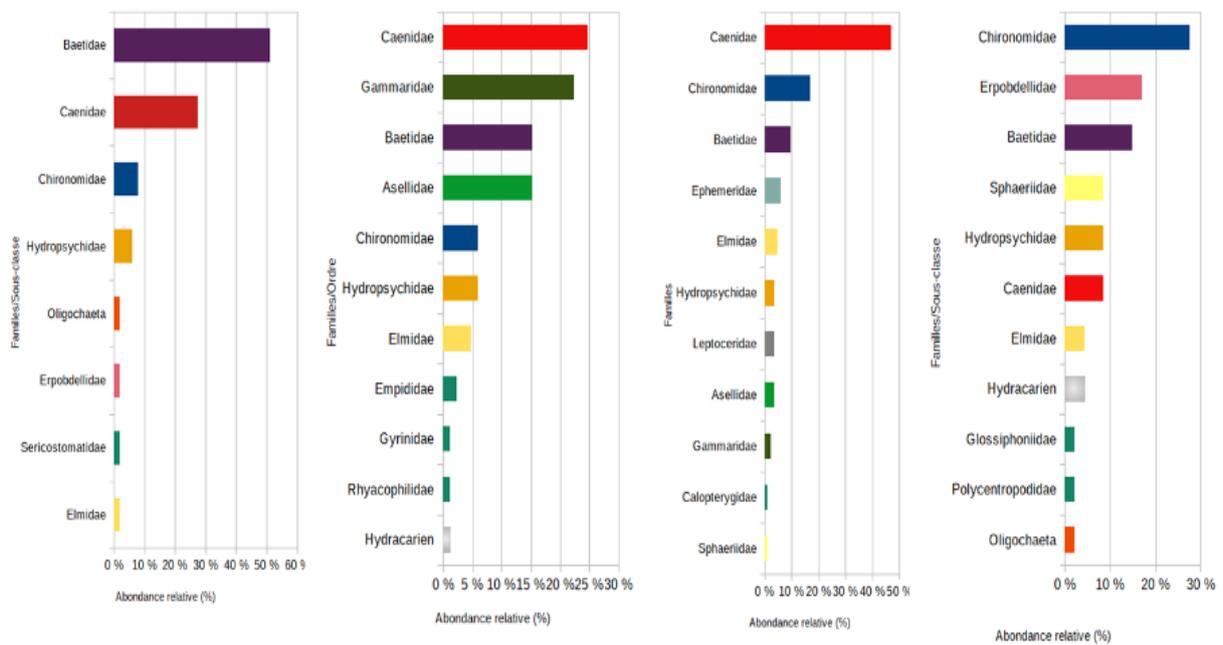


Figure 16 Abondances relatives des familles de macroinvertébrés[1] retrouvées dans la dérive pour les stations 1, 2, 3 et 4 (de gauche à droite).

Entre le benthos et la dérive, quelques différences d'abondance sont visibles pour certaines familles, les Caenidae sont beaucoup plus présents dans la dérive, les Elmidae sont également plus présents dans la dérive. Les gastéropodes sont, eux, moins nombreux voir absents dans la dérive (Fig. 15 et 16). Il y a globalement moins de familles (environ la moitié) dans la dérive que dans le benthos également.

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

Une analyse en composantes principales a été réalisée afin de comparer la composition en macroinvertébrés entre stations. La composition des stations 2 et 3 est éloignée des stations 1 et 4 avec 62,2% de variance expliquée par les 2 premières dimensions (Fig. 17, gauche). Au niveau benthique, les stations 2 et 3 possèdent relativement plus de Simuliidae et de Baetidae que les deux autres stations. La station 4 possède plus de Sphaeriidae et moins de Caenidae que les autres stations. La station 1 est la plus éloignée des autres stations, elle possède relativement plus de Chironomidae et d'Oligochaeta (Fig. 17, à droite).

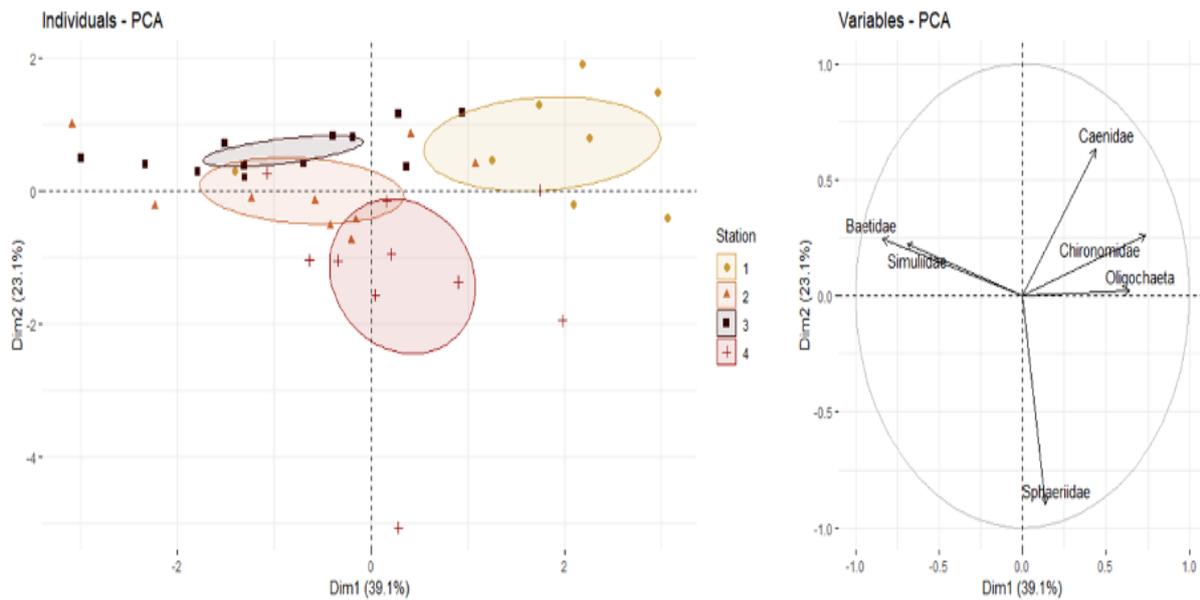


Figure 17 Analyse en composante principale de l'abondance des familles de macroinvertébrés benthiques en fonction des 4 stations.

En termes de biodiversité globale, aucune différence de l'indice de Shannon n'a été observé entre les 4 stations ($H(3) = 2,19$; $P = 0,53$). Pour les familles consommées par les saumons, la famille des Rhyacophilidae n'a présenté aucune différence significative d'abondance relative entre les stations ($H(3) = 0,88$; $P = 0,83$). Pour les autres familles, la station 1 a présenté une abondance relative significativement plus haute que les stations 2, 3 et 4 pour les Oligochaeta ($H(3) = 12,20$; $P = 6,74e-3$) et que les stations 2 et 3 pour les Chironomidae ($H(3) = 8,05$; $P = 0,045$) (Fig. 18). La station 2 a également démontré une abondance relative significativement plus haute pour les Gammaridae ($H(3) = 14,06$; $P = 2,81e-3$) et plus basse pour les Hydropsychidae ($H(3) = 13,09$; $P = 4,44e-3$) que les stations 1, 3 et 4 (Fig 18). La station 3 a montré une abondance relative significativement plus haute que les stations 1, 2 et 4 pour les Ephemeridae ($H(3) = 15,46$; $P = 1,46e-3$). Les stations 1 et 4 ont été significativement plus faible en termes d'abondance relative que les stations 2 et 3 pour les Simuliidae ($H(3) = 14,81$; $P = 1,98e-3$) et que la station 3 pour les Baetidae ($H(3) = 15,22$; $P = 1,64e-3$).

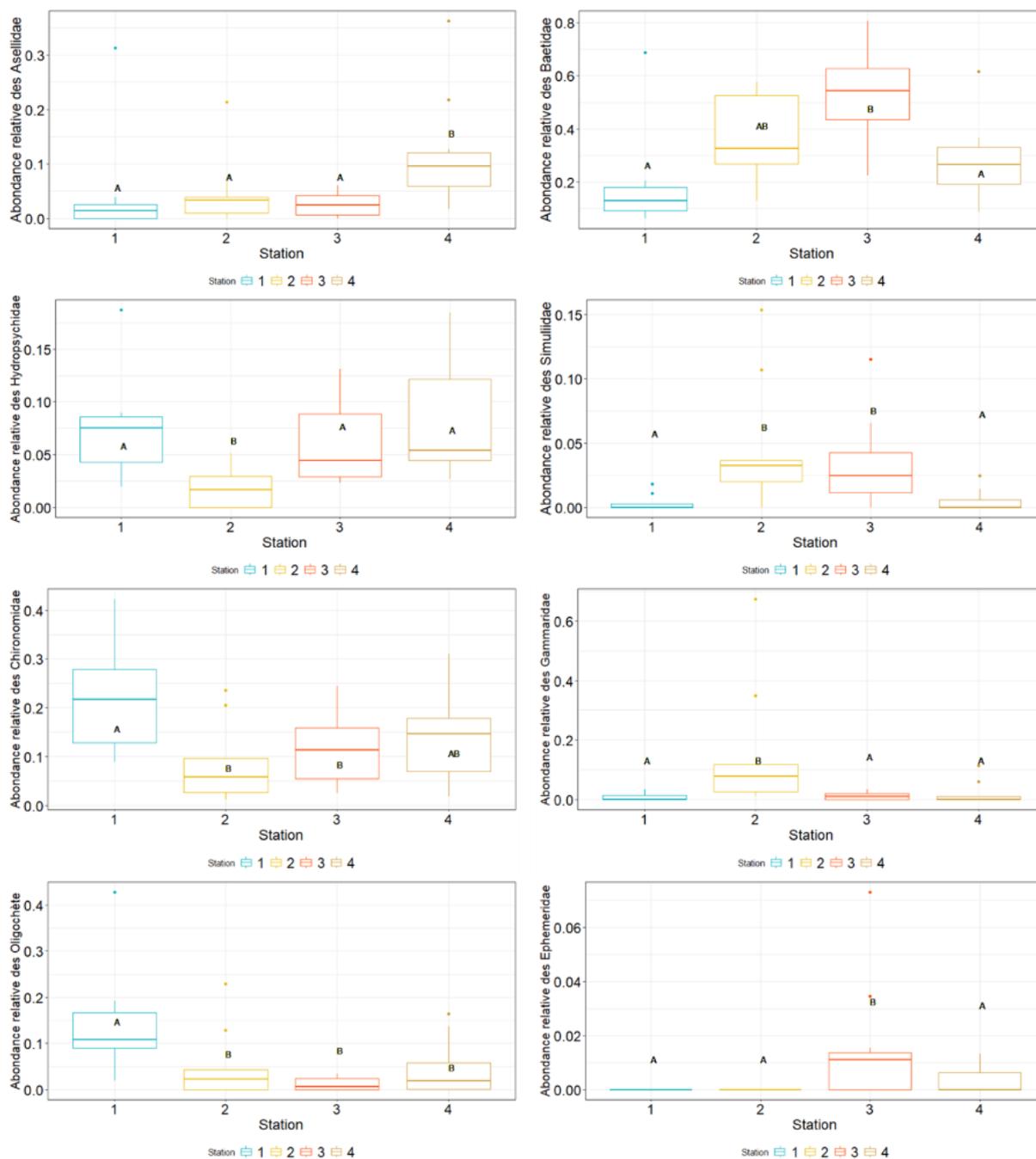


Figure 18 Abondance relative par familles benthiques consommée par les saumons en fonction des stations.

4.3.1.3.3 Indice de sélectivité

L'indice de sélectivité s'est révélé positif (sélection préférentiel) pour les Simuliidae (0,26 Benthique ; 0,25 Dérivant), les Chironomidae (0,12 B ; 0,12 D), les Baetidae (0,07 B ; 0,02 D), les Rhyacophilidae (0,08 B ; 0,06 D), les Hydropsychidae (0,04 B ; 0,06 D)(Fig. 19). L'indice est négatif (opportunisme) pour les Oligochètes (-0,06 B ; -0,07 D), les Ephemeridae(-0,02 B ; -0,11 D), les Asellidae (-0,07 B ; -0,12 D), les Gammaridae (-0,05 B ; -0,22 D) et les Hydracariens (-0,05 uniquement pour le dérivant) (Figure 21).

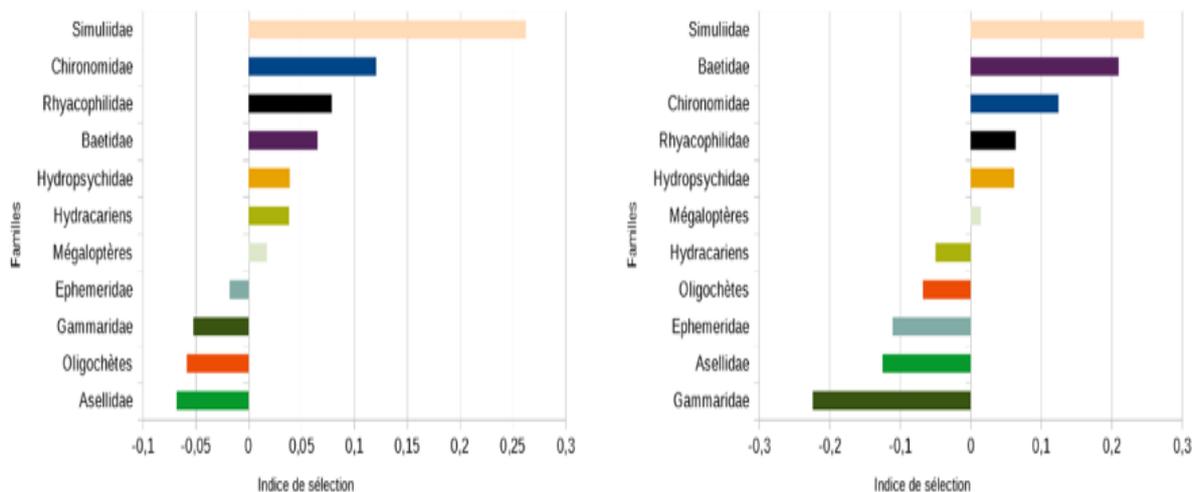


Figure 19 Indice de sélectivité C de Pearre (1982). Comparaison entre le contenu stomacal et le benthique (à gauche) et le dérivant (à droite)

4.3.2 Suivi du fitness des saumons

4.3.2.1 Suivis des AEVR déversés dans la Berwinne en 2022

Les organismes déversés en 2022 ont été suivis en mars 2023 soit 11 mois après l'empoisonnement (T11 mois). Par secteur, pour l'ensemble des radiers repeuplés en saumon (linéaire de rivière entre 700m et 900m), un effectif capturé entre 15 individus (à Val-Dieu) et 54 individus (à Berneau) a été observé (Tab. 2), où tous les individus capturés ont été munis d'un pit-tag RFID. La taille moyenne variait entre 93mm et 101mm. Par classe de taille, les classes supérieures à 120 mm étaient absentes sur les secteurs amont Aubin et Val-Dieu (Fig. 20). Il faut souligner que les inventaires sur ces deux secteurs amont ont été réalisés près de 20 jours post-recensement des deux secteurs aval car le débit ne permettait pas de réaliser des pêches électriques après le 3 mars. Ce résultat indiquerait qu'une grande proportion des individus pré-smolts ont quitté le milieu de croissance entre octobre 2022 et mars 2023, comme le confirme les données de détection à l'antenne RFID située proche de la confluence avec la Meuse.

Tableau 2 Informations relatives aux inventaires réalisés sur la Berwinne par secteur lors du mois de mars 2023 (T11 mois)

Secteur	Date	N radiers	N Saumons	Taille Lf (mm)		
				moy.	min.	Max.
Berneau	02-03-23	18	54	96	76	131
Dalhem	03-03-23	14	28	101	78	136
Aubin	21-03-23	22	29	93	72	111
Val-Dieu	23-03-23	14	15	100	84	114

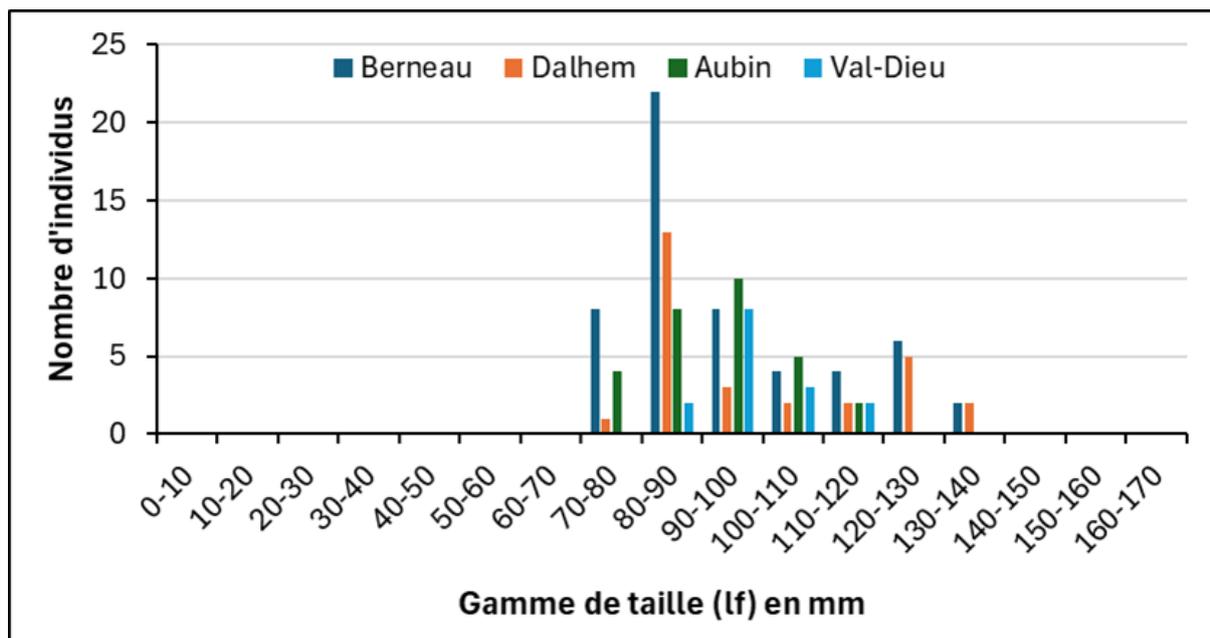


Figure 20 Répartition du nombre d'individus par classe de taille (en mm) selon le secteur d'étude, données obtenues lors des recensements à T11 mois en mars 2023.

4.3.2.2 Croissance et état physiologique des saumons de la cohorte 2022 en mars 2023

Une diminution significative du taux de croissance a été observée en fonction de l'âge des organismes (Fig. 21). A partir de T11 mois, un taux de croissance significativement inférieur a été observé à Aubin comparativement à Berneau et Dalhem (Nemeneyi test, p value < 0,05). En revanche, aucune différence significative n'a été observée pour l'indice de Fulton sur les organismes des 4 secteurs. Il est important de noter que la majorité des saumons ont été des jeunes mâles spermiantes (1+), les autres ayant très certainement dévalé. Les besoins énergétiques liés à la spermatogenèse peuvent ainsi expliquer les taux de croissances inférieurs entre le T6 mois et le T11 mois. En effet, l'énergie allouée à la constitution d'un stock de spermatozoïdes n'est par conséquent pas disponible pour la croissance des organismes.

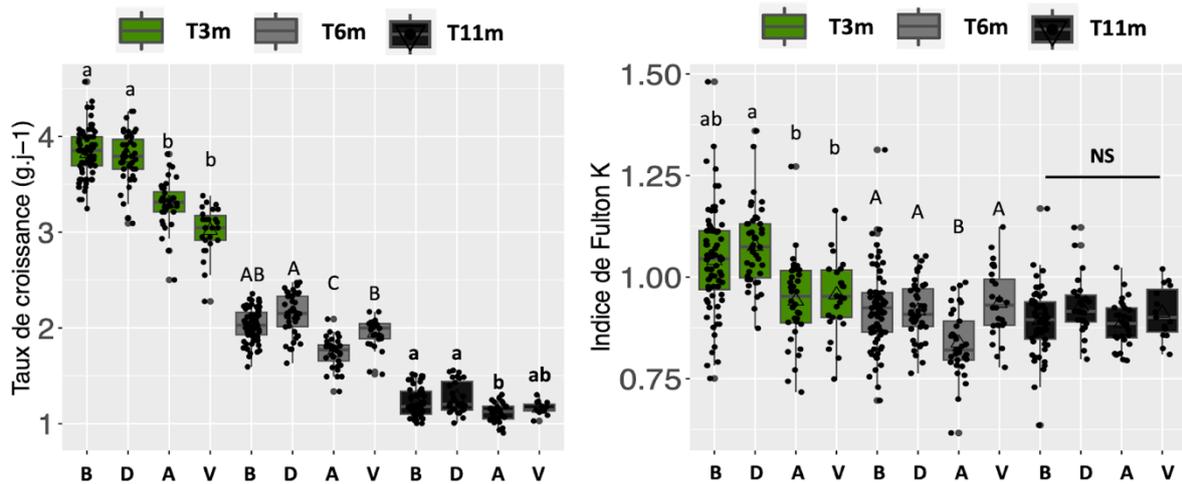


Figure 21 Taux de croissance spécifique et indice de condition de Fulton des jeunes tacons déversés durant la convention saumon 2022 / 2023 après 3, 6 et 11 mois passés sur les 4 secteurs de repeuplement (Berneau, Dalhem, Aubin et Val-Dieu). Le triangle présente les moyennes. Les lettres en minuscules représentent les différences significatives entre les organismes des 4 secteurs à T3 mois ; en majuscules à T6 mois ; en gras à T11 mois. NS = non significatif.

4.3.2.3 Suivis des AEVR déversés dans la Berwinne en 2023

Après les déversements au mois d'avril, les pêches électriques ont été réalisées en juillet (T3 mois) et en octobre (T6 mois). Celles-ci ont permis de recapturer 847 tacons au total, soit 579 à T3 mois pour 15 radiers dont 3 non repeuplés et 268 pour 13 radiers à T6 mois (Fig. 22; Tab. 3). La taille moyenne des tacons capturés à T3 mois a été de 62mm (min. = 32 mm; max. = 76mm) pour un poids moyen de 3,2g et de 91mm à T6 mois (min. =65mm; max.=116mm) pour un poids moyen de 8,9g. Après le déversement des 103.921 AEVR sur les 4 secteurs (65 radiers), la densité de tacons par m² a été plus importante à T3 mois pour les secteurs en aval (0,34 et 0,24 tacons par m²) que pour les secteurs en amont (0,14 et 0,08 tacons par m²). Le taux de présence a également été plus important en aval (4,04% et 1,99%) par rapport à l'amont (Tab. 3). A T6 mois la densité de tacons par m² a diminué avec une valeur globale de 0,13 tacon/m².



Figure 22 Photographies de tacons de saumons capturés à T3 mois (à gauche) et à T6 mois (à droite)

Tableau 3 Informations par période de suivi sur le nombre de radiers concernés, la surface totale concernée (en m²), le nombre et la densité (par m²) d'AEVR déversés à T0 ainsi que le nombre, la densité (par m²) et le pourcentage de présence de tacons pour les 4 secteurs, au total en 2023 et au total en 2022.

Infos	Informations	Berneau	Dalhem	Aubin	Val-Dieu	Total 2023	Total 2022
		secteur 1	Secteur 2	Secteur 3	Secteur 4		
T0 mois	N radiers	16	14	20	15	65	65
	Surface totale (m ²)	2525	1874	1872	2197	8498	7109
	Poids moyen (g)	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,20
	N AEVR	27499	24873	25956	25593	103921	62541
	N AEVR / m²	11	13	14	12	12	9
T3 mois	N radiers	6	3	3	3	15	12
	Surface totale (m ²)	1116	502	313	472	2402	1702
	Poids moyen (g)	2,88	3,83	3,61	3,67	3,18	4
	Taille moyenne (mm)	62	69	65	64	62	69
	N tacons capturés	377	121	43	38	579	321
	N tacons théoriques	428	156	44	39	667	-
	N tacons obs./ m²	0,34	0,24	0,14	0,08	0,24	0,18
	N tacons / m ²	0,38	0,31	0,14	0,08	0,28	-
% présence (%)	4,04%	1,97%	1,15%	0,60%	1,99%	2,56%	
T6 mois	N radiers	3	4	3	3	13	12
	Surface totale (m ²)	400	438	646	558	2042	1504
	Poids moyen (g)	7,74	10,19	8,21	10,96	8,90	7,30
	Taille moyenne (mm)	87	95	89	99	91	85
	N tacons capturés	60	57	108	43	268	138
	N tacons théoriques	71	60	122	46	299	-
	N tacons obs./ m²	0,15	0,13	0,17	0,08	0,13	0,09
	N tacons / m ²	0,18	0,14	0,19	0,08	0,15	-
% présence (%)	1,01%	0,73%	1,97%	0,85%	1,10%	1,20%	

A T3 mois, les 3 radiers juste en aval du dernier radier repeuplé ont été prospectés par pêche électrique afin d'identifier une dispersion vers l'aval des individus issus des déversements d'avril (Tab. 3). On a observé à T3 mois sur les 3 radiers non repeuplés un effectif de 139 tacons (0,27 tacons/m²) vs un effectif de 238 tacons pour les 3 radiers repeuplés (0,39 tacons/m²) où la densité de tacons était significativement plus faible sur les 3 radiers non-repeuplés (test de chi², *p* value > 0,05). Ce résultat indique qu'il y a donc bien une dispersion des AEVR sur les radiers aval mais dont l'abondance de tacons à T3 mois est plus faible sur les radiers non repeuplés.

4.3.2.4 Croissance et état physiologique des organismes déversés en 2023

La figure 23 présente les tailles totales et le poids des tacons capturés par secteur aux deux périodes de suivis. A T3 mois, une taille totale significativement supérieure a été observée à Dalhem en comparaison avec le secteur de Berneau (Nemeneyi, *p* value < 0,001). Le poids des organismes de Dalhem a également été supérieur à ceux des trois autres stations (Nemeneyi, *p* value < 0,05). Pour la taille totale des organismes à T6 mois post-déversement, les tacons des secteurs de Dalhem et de Val-Dieu présentaient une taille et un poids significativement plus grands que ceux issus des secteurs de

Berneau et d'Aubin (test de KW, $p < 0,05$; test post hoc de comparaison deux à deux de Nemeneyi, $p < 0,05$).

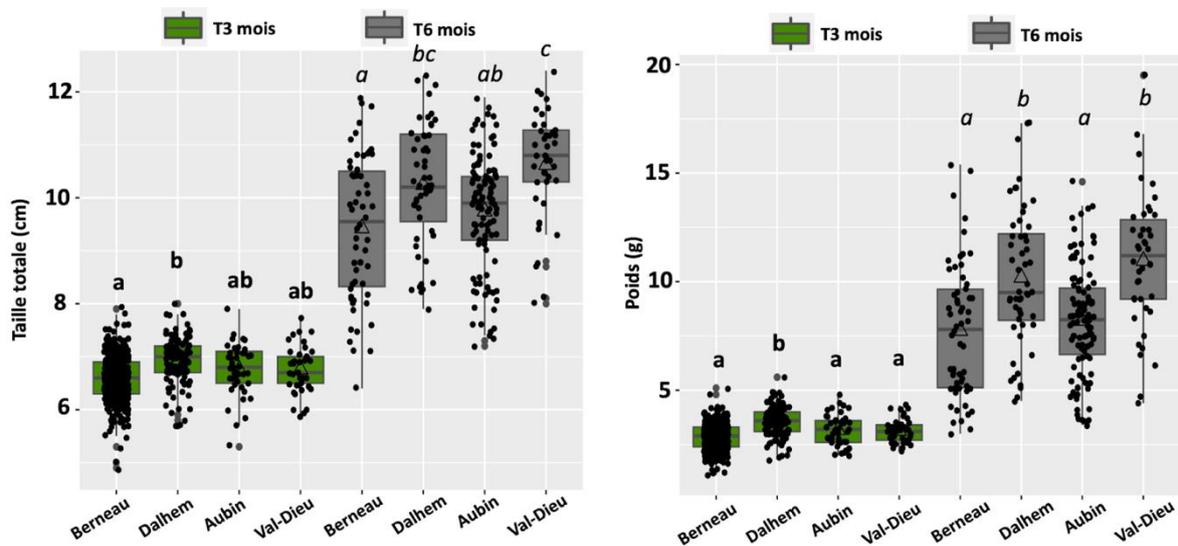


Figure 23 Taille totale et poids des jeunes tacons après 3 et 6 mois passés sur les 4 secteurs de repeuplement (Berneau, Dalhem, Aubin et Val-Dieu). Le triangle présente les moyennes. Les lettres en gras représentent les différences significatives entre les organismes des 4 secteurs à T3 mois ; en italiques à T6 mois.

La figure 24 présente le taux de croissance et l'indice de condition de Fulton des tacons, 3 mois et 6 mois après le déversement, sur les 4 secteurs investis lors cette étude. Après trois mois dans le milieu naturel, des taux de croissance significativement plus élevés ont été observés à Berneau et à Dalhem en comparaison avec Val-Dieu (Nemeneyi, p value $< 0,05$). Les indices de conditions ont été plus élevés à Dalhem qu'à Berneau et Val-Dieu (p value $< 0,05$). Après six mois dans le milieu naturel, les taux de croissance ont logiquement diminué. Alors que les organismes de Val-Dieu ont rejoint les taux de croissance de Dalhem, les organismes présents sur le secteur de Berneau et d'Aubin ont présenté un taux de croissance spécifique légèrement plus faible que les deux autres secteurs ($p < 0,05$). L'indice de condition à 6 mois est significativement plus important à Dalhem que les 3 autres secteurs (p value $< 0,05$).

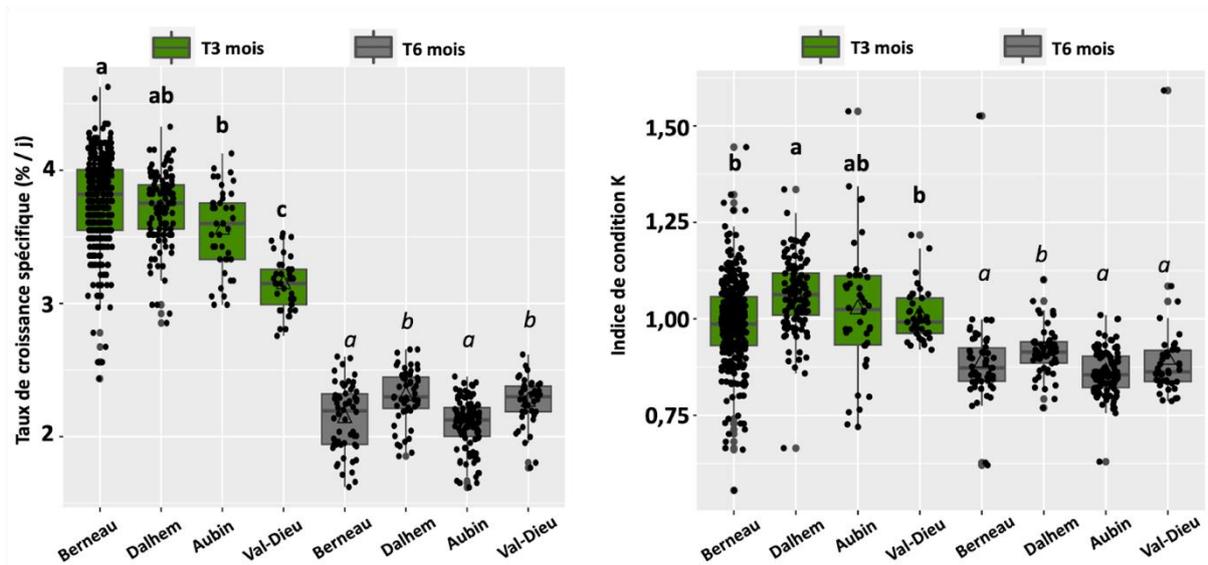


Figure 24 Taux de croissance spécifique et indice de condition de Fulton des jeunes tacons après 3 et 6 mois passés sur les 4 secteurs de repeuplement (Berneau, Dalhem, Aubin et Val-Dieu). Le triangle présente les moyennes. Les lettres en gras représentent les différences significatives entre les organismes des 4 secteurs à T3 mois ; en italiques à T6 mois

4.3.2.5 Comparaison des résultats obtenus en 2022 et 2023 sur les 4 secteurs à T3 mois et T6 mois

La figure 25 présente les résultats de taux de croissance et de l'indice de Fulton à T3 mois post-déversement sur les 4 secteurs investis lors de cette étude en 2022 et 2023. Aucun effet de l'année sur le taux de croissance n'a été observé sur cette étude comparative (Nemenyi, p value > 0,05). Un indice de condition inférieur à Berneau a été observé en 2023 en comparaison avec l'année 2022 (p value = 0.01369). Au contraire, un indice d'embonpoint supérieur a été observé en 2023 sur le secteur d'Aubin (p value = 0.03604). Bien que quelques différences significatives aient été identifiées notamment sur l'indice de Fulton, il est très intéressant de voir que dans l'ensemble, après 3 mois passés dans la Berwinne et ce, peu importe l'année (2022 et 2023), les organismes se développent de la même manière. Or, il semble très important dans le choix d'une rivière de repeuplement dans le cadre d'un plan durable d'empoissonnement de bénéficier de conditions stables d'un point de vue temporel.

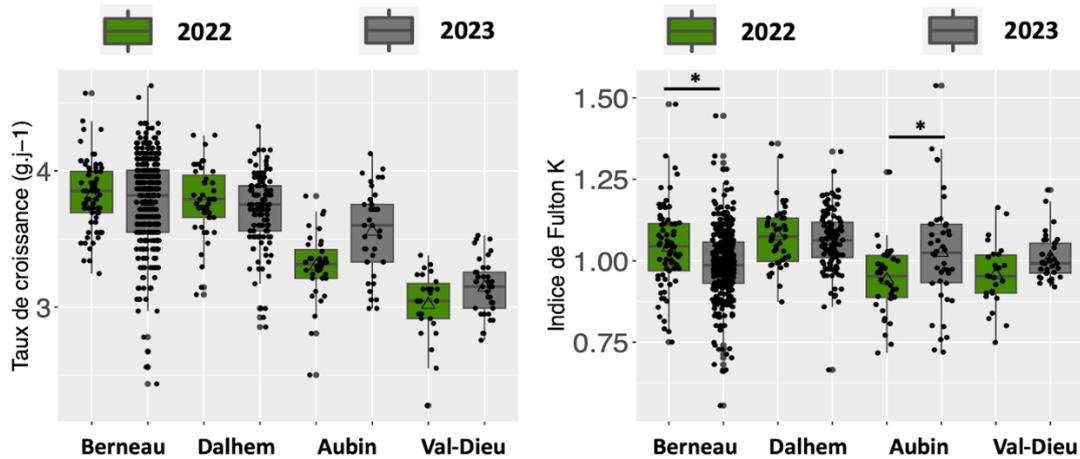


Figure 25 Taux de croissance spécifique et indice de condition de Fulton des jeunes tacons après 3 mois passés sur les 4 secteurs de repeuplement (Berneau, Dalhem, Aubin et Val-Dieu) en 2022 (box plot vert) et en 2023 (box plot gris). Le triangle présente les moyennes. (Différences significatives : * = 0,05 ; ** = 0,01 ; ***=0,001).

La figure 26 présente les résultats de taux de croissance et de l'indice de Fulton à T6 mois sur les 4 secteurs investis lors de cette étude en 2022 et 2023. Un effet année est observé sur le taux de croissance avec des taux supérieurs en 2023 à Dalhem, Aubin et Val-Dieu (Nemeneyi, p value < 0,005). Aucun effet de l'année sur l'indice de Fulton n'a été observé dans cette étude comparative (Nemeneyi, p value > 0,05). Contrairement aux résultats obtenus après 3 mois dans le milieu naturel, des taux de croissance supérieurs ont été observés sur trois des quatre secteurs investis dans cette étude en 2023. Ces différences de croissance peuvent trouver leur origine dans diverses hypothèses et notamment la disponibilité en nourriture ou encore à des conditions environnementales plus clémentes. Toutefois, il est intéressant de noter que les différences de croissance observées entre les 4 secteurs semblent être conservées entre 2022 et 2023.

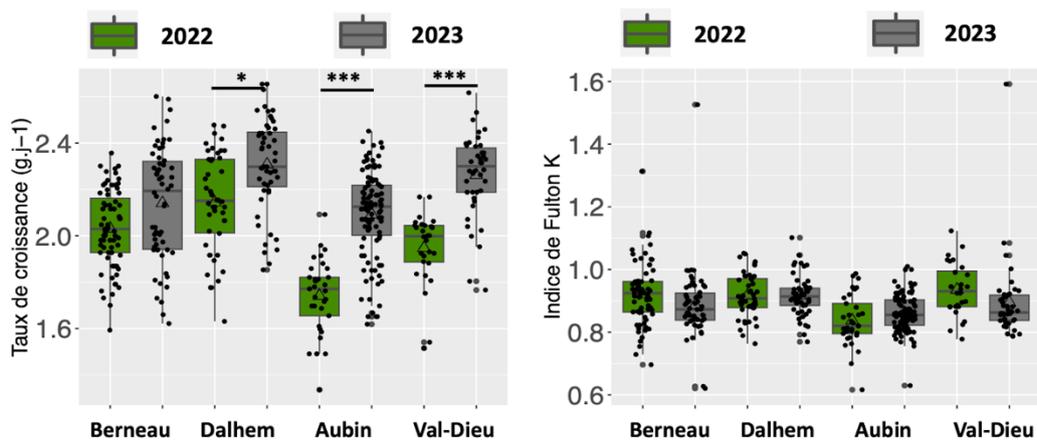


Figure 26 Taux de croissance spécifique et indice de condition de Fulton des jeunes tacons après 6 mois passés sur les 4 secteurs de repeuplement (Berneau, Dalhem, Aubin et Val-Dieu) en 2022 (box plot vert) et en 2023 (box plot gris). Le triangle présente les moyennes. (Différences significatives : * = 0,05 ; ** = 0,01 ; ***=0,001).

4.3.2.6 Comparaison entre les 4 secteurs de la Berwinne et un secteur du bassin de l'Ourthe (Comblain-la-Tour)

Afin d'évaluer le potentiel de la Berwinne en tant que rivière d'empoisonnement, une comparaison ponctuelle de la longueur totale, du poids et de l'indice de Fulton d'alevins émergents déversés en 2023 sur les 4 secteurs de la Berwinne et un secteur de l'Ourthe (Comblain-la-Tour), a été réalisée à la fin de leur première année dans le milieu naturel (Fig. 27). Il est important de noter que les organismes déversés sur le bassin de l'Ourthe (5 mai 2023) l'ont été quelques jours après les déversements effectués sur la Berwinne (28/04/2023). Quant au prélèvement à Comblain-la-Tour, il a été réalisé le 12/09/2023, soit quelques semaines avant ceux effectués sur le bassin de la Berwinne (12, 13 et 20/10/2023). Ainsi, les organismes ont passé 135 jours dans l'Ourthe contre 167, 168 et 175 jours dans la Berwinne. Concernant la longueur totale et le poids, les organismes de Comblain ont présenté des valeurs significativement inférieures à ceux de Val-Dieu (Nemeneyi test, p value < 0,01). Pour l'indice de condition, ce dernier a été significativement plus important à Comblain que sur l'ensemble des secteurs investis sur la Berwinne à l'exception de Dalhem (Nemeneyi test, p value < 0,001). De manière générale, bien que des différences entre secteurs aient été observées, ils s'avèrent que ces dernières ne sont pas flagrantes. La Berwinne semble donc tout aussi à même que l'Ourthe de produire en fin de saison des organismes de tailles et poids respectables tout en présentant un indice de condition proche de 1.

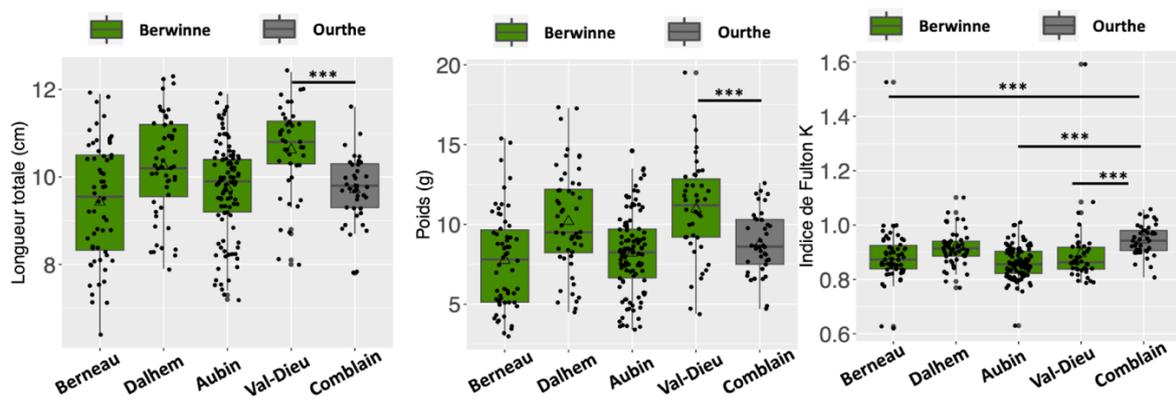


Figure 27 Longueur totale, poids et indice de condition (K) des jeunes tacons après 6 mois passés en 2023 sur les 4 secteurs de repeuplement de la Berwinne (Berneau, Dalhem, Aubin et Val-Dieu ; box plot vert) et un secteur de l'Ourthe (Comblain-la-Tour ; box plot gris) . Le triangle présente les moyennes. Les statistiques ont été réalisées afin d'évaluer les différences significatives entre les secteurs empoisonnés sur la Berwinne et Comblain-la-Tour. (Différences significatives : * = 0,05 ; ** = 0,01 ; ***=0,001).

4.3.3 Mobilité des saumons dans la Berwinne

4.3.3.1 Analyse des comportements de dévalaison au printemps 2023

Après un marquage dans le milieu naturel les 2 et 3 mars (respectivement à Berneau et Dalhem), les premiers smolts ont été détectés à Lixhe, les 7 et 8 mars 2023 lors d'un pic de débit (de 0,47m³/s à 13m³/s en moyenne journalière). Malheureusement, du 9 au 17 mars l'antenne était non fonctionnelle suite à cette augmentation du débit de la Berwinne supérieur à 20 m³/s (débit horaire), il n'y a donc pas eu de détections ces jours-là. Parmi les 20 smolts marqués, 13 ont été détectés à Lixhe, 6 en provenance du secteur 1 (Berneau : taux d'échappement de 55%) et 7 en provenance du secteur 2 (Dalhem : taux d'échappement de 78%).

Des smolts (N=200), issus d'Erezée ont été déversés le 7 avril 2023 sur chaque secteur (N=50 ind. / secteur), et les premières détections à l'antenne de Lixhe ont eu lieu le 8 avril. Ils ont donc dévalé directement après une légère période d'adaptation à leur nouvel environnement (Fig. 28). Parmi, ces 200 smolts déversés, 105 ont été détectés à Lixhe. Il y a donc un taux d'échappement de 52,5% pour l'ensemble des quatre secteurs. On constate que si l'on différencie chaque secteur, pour le secteur 1, 74% des smolts déversés ont été détectés à l'antenne de Lixhe ; pour le secteur 2, 54% ; pour le secteur 3, 58% ; et pour le secteur 4, 24%. Bien qu'il semble y avoir un effet de la distance de déversement (meilleur taux pour les poissons déversés le plus en aval), la comparaison du taux d'échappement entre les différents secteurs montre une différence significative (test de χ^2 , p-valeur < 0,05) uniquement pour le secteur 4 (Val-Dieu) par rapport aux 3 autres secteurs.

Les effectifs détectés, pour ceux marqués dans le milieu naturel étaient certainement plus importants, à la suite de l'impossibilité de détecter en sortie de Berwinne du 9 au 17 mars. Pour les smolts, directement déversés dans la Berwinne, il est possible également qu'un nombre plus important des smolts soient passés au travers sans être détecté (problème de collision de tag ou passage rapide). Néanmoins, il est clair que la dévalaison à partir de Val-Dieu est plus compliquée où le taux d'échappement est deux fois inférieur aux autres secteurs. Une possibilité à cette diminution du taux d'échappement est la présence d'un barrage créé par des embâcles juste en aval du secteur d'étude (Fig.29).

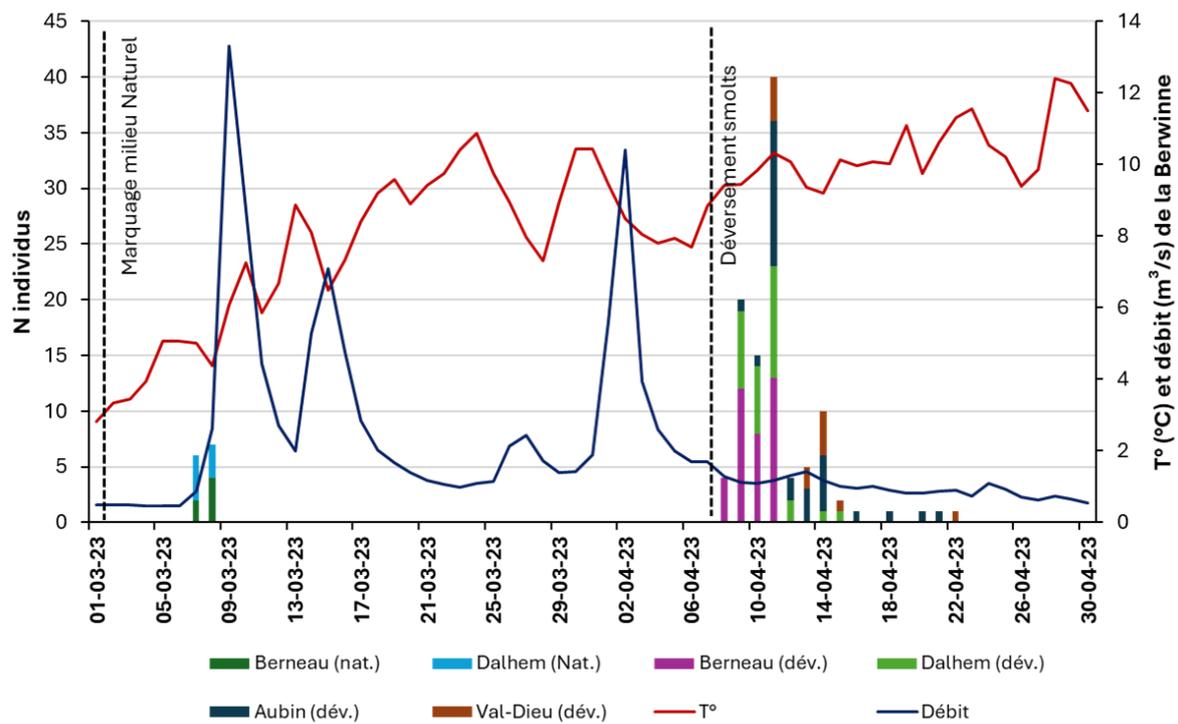


Figure 28 Date de détection des smolts à l'antenne de Lixhe selon l'évolution du débit et de la température de la Berwinne durant la période du 1 mars au 30 avril 2023.



Figure 29 Barrage naturel observé à Val-Dieu sur la partie aval du secteur d'étude.

4.3.3.2 Test du modèle de prédiction du pic de dévalaison des smolts sur la Berwinne

D'après les prédictions du modèle de dévalaison développé pour l'Ourthe (Teicher et al., 2020), selon les conditions initiales, le pic de dévalaison (= dévalaison de 10% à 90% des smolts) devrait avoir lieu entre le 22 mars et le 25 avril (Fig. 30). Cependant les données de détection montrent une dévalaison dès le début du mois de mars (dès le 7 mars) pour les smolts marqués dans le milieu naturel. D'après le modèle, le 7 mars 2023, seul 5% de la dévalaison aurait lieu. Les smolts déversés directement dans la Berwinne ont quant à eux dévalé dès leur déversement le 7 avril 2023, ce qui correspond aux prédictions du modèle. En revanche, si on modifie les conditions initiales du modèle en prenant en compte les éventuels pics de débit dès le 1er mars, le modèle correspond mieux à ce qui a été observé pour les individus issus du milieu naturel. Il est donc impératif d'acquérir d'autres données de timing de dévalaison afin d'adapter le modèle prédictif de dévalaison à différents milieux.

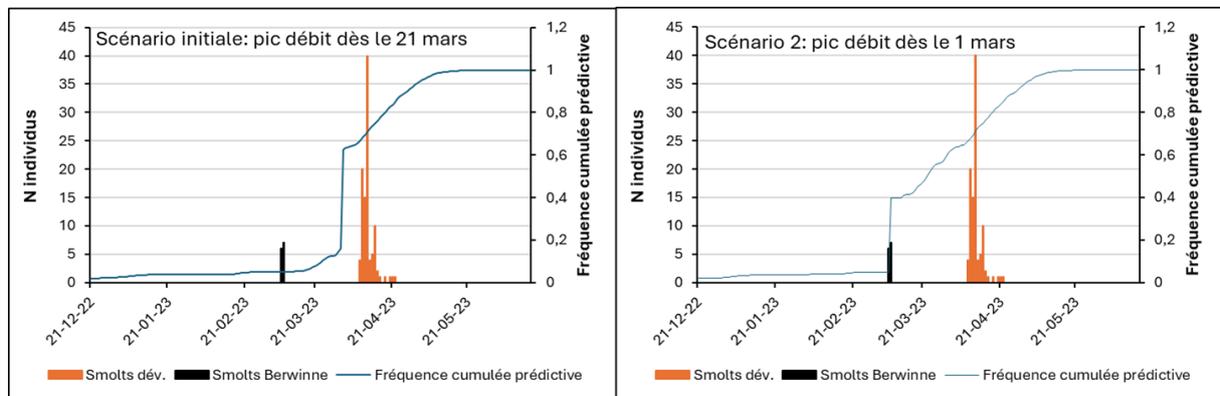


Figure 30 Comparaison du modèle de prédiction de la dévalaison des smolts établi pour l'Ourthe avec nos observations de la période de dévalaison dans la Berwinne pour le printemps 2023, selon les conditions initiales, avec la prise en compte des pics de débit dès le 21 mars (à gauche) et selon un scénario où les pics de débit sont pris en compte dès le 1er mars (à droite)

4.3.3.3 Analyse des comportements de mobilité des tacons marqués au printemps 2023

Au cours des 17 sessions de pistages RFID d'avril à juin 2023, 29 tacons sur 41 marqués à Berneau ont été localisés, ce qui représente un total de 70,73% des tacons retrouvés parmi les tacons qui ont été pêchés et marqués sur le secteur 1. Ils sont répartis de manière homogène sur tout le secteur 1 (Fig. 31). Au total, à la fin de la période de suivi, 5 tacons ont été identifiés comme morts ou ayant perdu leur pit-tag. La mobilité individuelle des tacons, à partir du point zéro, c'est-à-dire le point où ils ont été pêchés et déversés après avoir été marqués, les tacons se sont déplacés de 0 à 457 mètres avec une distance médiane de 10,5m (Tab 3). Parmi les 24 tacons régulièrement pistés, 12 ont changé de radier par rapport au point zéro, c'est-à-dire le radier où ils ont été capturés et déversés après le marquage. Une fois installé sur un nouveau radier, le nombre moyen de détections par individu est de 15,7 avec un nombre de détections minimum de 4 et un maximum de 30. Les tacons se sont très peu

déplacés durant les deux mois de pistage manuel, ils ont réalisé des déplacements de quelques mètres au sein du radier même. Néanmoins, une variabilité entre les individus a été observée. Ils ont investi un domaine vital allant de 0 à 136m, avec une valeur médiane de 19,5m. La distance maximale parcourue entre deux détections consécutives varie de 0 à 78 m, avec une valeur médiane de 16 m. La distance totale parcourue évolue de 0 à 433 m, avec une valeur médiane de 71 m.



Figure 31 A. répartition globale des tacons à Berneau au cours des différentes sessions de pistages. B. Répartition des radiers 5 à 15 à Berneau avec présence de tacons.

Les tacons investissent préférentiellement les lieux de la rivière où la vitesse d'écoulement est élevée, nous les avons retrouvés presque exclusivement dans les trois faciès d'écoulements suivants : plat courant (43%), coulée (28%) et radier (28%) (Fig. 32). Au niveau de la profondeur, ils exploitent les milieux peu profonds, dès 10 cm de profondeur, jusqu'à une profondeur de 50 cm. Moins de 10% des

tacons ont été retrouvés à une profondeur supérieure à 50 cm et 50% des tacons ont été localisés dans un milieu dont la profondeur varie entre 21 et 40 cm.



Figure 32 Répartition des tacons dans le milieu selon la profondeur et le faciès d'écoulement

4.3.3.4 Analyse du comportement de dévalaison pour les individus déversés en 2023

Lors des pêches électriques sur les 4 secteurs à T6 mois en octobre 2023, N = 186 individus ont été capturés et marqués pour l'ensemble des 4 secteurs (secteur 1 à 4, respectivement, 34, 46, 71 et 35 individus). Parmi ces 186 individus marqués, 13 individus ont été détectés à l'antenne en sortie système, ce qui représente 7% des individus marqués. Ces détections, donc ces déplacements de dévalaison, se sont déroulés entre le 11-11-23 et le 29-12-23, à chaque augmentation de débit (>2m³/s). En plus de ces individus qui ont grandi dans le milieu naturel, N = 52 individus issus d'Erezée ont été déversés à Berneau le 27 octobre 2023, afin d'augmenter les effectifs. On observe de la même manière, des détections précoces à l'antenne en sortie de système entre le 8-11-23 et le 27-12-23 lors d'événement de pic de débit pour N= 7 individus (13% des individus déversés). Ces premiers résultats confirment ce qui a été observé lors des pêches de mars 2023, où une grande partie des saumons au stade pré-smolt quitte la Berwinne avant le printemps. Il est donc important de continuer les suivis de dévalaison sur la Berwinne afin de quantifier ces migrations précoces et de déterminer leur timing.

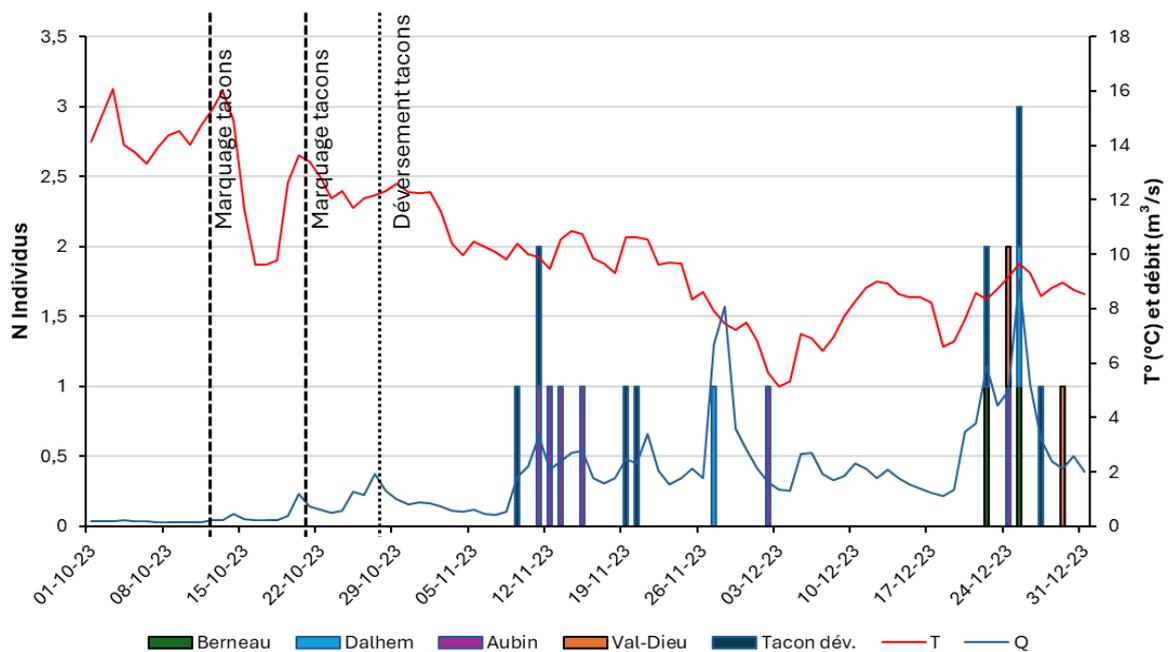


Figure 33 Date de détection des tacons marqués en octobre 2023, à l’antenne de Lixhe selon l’évolution du débit et de la température de la Berwinne durant la période du 1er octobre au 31 décembre 2023.

4.3.3.5 Analyse du comportement de déplacement pour d’autres espèces

L’antenne de détection en sortie de Berwinne nous permet également d’acquérir des données de détection d’autres espèces dont des données sur l’anguille. En effet, depuis 2017, une étude sur l’efficacité de repeuplement en civelles est en cours sur la Berwinne avec un effectif marqué >300 individus. On constate donc, des migrations de dévalaison d’anguille argentée au sein de la Berwinne. En 2023, N=18 individus ont été détectés entre le 12 janvier 2023 et le 27 novembre 2023 (détection à 95% durant la nuit). Lorsqu’on se focalise sur la période automnale (Fig. 34), N=13 individus ont été détectés, généralement lors de pic de débit >2 m³/s. En plus des anguilles, deux individus, un chevaîne et un gardon, ont été détectés dans la Berwinne à la suite d’un comportement de montaison. En effet, ces deux individus proviennent d’un marquage réalisé à Borgharen sur un bras annexe de la Meuse (Fig. 35) le 5 octobre 2023, en collaboration avec les hollandais (111 individus marqués de 15 espèces différentes). L’ensemble des poissons marqués ont été remis juste en amont du barrage de Borgharen. Le chevaîne et le gardon ont été détectés dans la Berwinne après respectivement 56 jours et 64 jours post marquage (distance Lixhe - Borgharen = 13,6km). Ces résultats indiquent que l’antenne présente dans la Berwinne proche de la confluence, permet d’acquérir des informations sur l’écologie et les comportements de déplacements d’autres espèces.

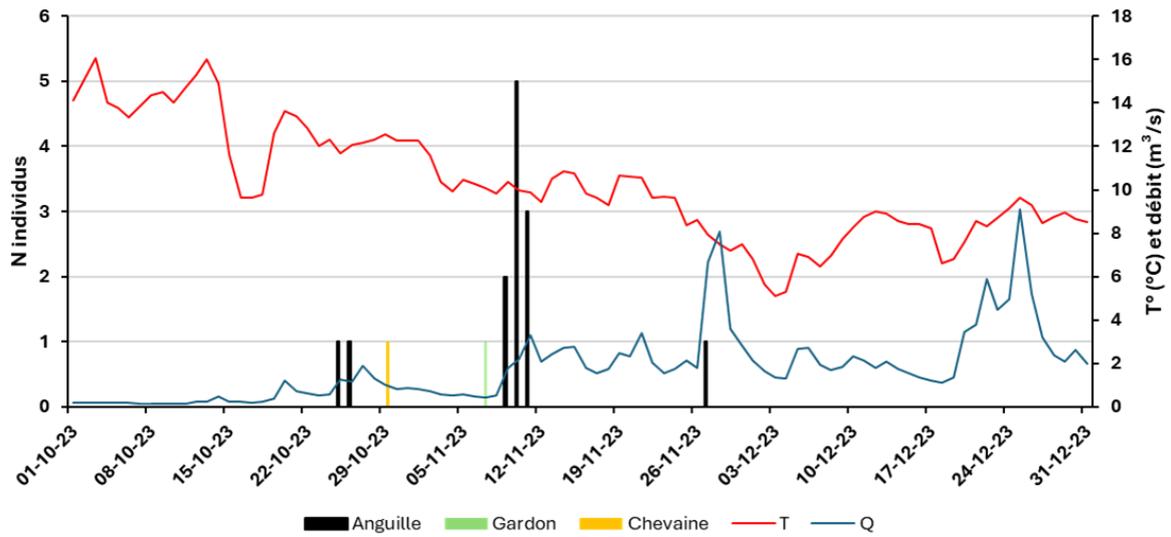


Figure 34 Date de détection d'autres espèces, à l'antenne de Lixhe selon l'évolution du débit et de la température de la Berwinne durant la période du 1er octobre au 31 décembre 2023.



Figure 35 Lieu de pêche sur la Meuse à Borgharen le 5 octobre 2023 (à gauche) et marquage par l'équipe en charge de l'étude (à droite).

4.4 Conclusion

Le potentiel de la Berwinne en tant que rivière de déversement est avant tout défini par la dynamique écologique qu'offre ce milieu pour la survie, la croissance et l'état physiologique des jeunes saumons. Cette dynamique écosystémique se caractérise par un habitat bien adapté, une richesse trophique suffisante, disponible et accessible. Or les résultats de cette étude permettent d'appuyer, pour une seconde année consécutive, la présence de ressources trophiques conséquentes et totalement en adéquation avec le régime alimentaire des saumons (Simuliidae, Baetidae, Chironomidae, Rhyacophilidae). De même, les prélèvements de macroinvertébrés ayant été réalisés sur deux périodes distinctes (i.e. mars et mai), ces résultats permettent également d'indiquer que les ressources en nourriture sont disponibles sur le long terme et non uniquement pendant la période d'éclosion. Les recensements effectués par pêches électriques au mois de mars indiquent qu'une proportion non négligeable des organismes déversés durant la convention 2022 / 2023 sont encore présents et en bon état physiologique. Ces derniers représentent des organismes mâles spermants. Or, la maturation sexuelle de ces organismes représente un point essentiel dans une stratégie de réhabilitation de l'espèce. En effet, dans une optique d'un jour voir revenir des organismes anadromes dans cette rivière et laisser ces organismes se reproduire naturellement sans l'appui humain, les mâles matures précoces permettront d'appuyer les reproductions et d'augmenter la diversité génétique de la population. Les recensements effectués aux mois de juillet et d'octobre 2023 sur la cohorte 2023 ont permis de capturer un nombre important d'organismes indiquant clairement les bonnes conditions de vie de cette rivière en tant que zone de repeuplement. Les taux de croissance et les indices de condition de Fulton en 2023 viennent également appuyer ce constat. Cela est d'autant plus vrai que les résultats sur ces deux paramètres ont été quasiment identiques d'une année à l'autre (2022 et 2023) ce qui semble très intéressant dans le cadre d'un plan de repeuplement durable sur cette rivière. Historiquement, les rempoissonnements du projet Saumon sont basés exclusivement sur le bassin de l'Ourthe, il semblait donc important et intéressant de comparer le potentiel de croissance entre la Berwinne et l'Ourthe. Malheureusement, les repeuplements et les inventaires n'ont pas été effectués aux mêmes périodes rendant cette comparaison difficilement réalisable. Toutefois, la comparaison effectuée dans cette étude entre les secteurs investis sur la Berwinne et le secteur de Comblain-la-Tour permet d'indiquer clairement que les performances de croissance et l'état physiologique des alevins à la fin de leur première année dans le milieu naturel sont quasiment identiques entre ces deux rivières. Une étude comparative pourra néanmoins être menée entre les secteurs de la Berwinne et différents secteurs repeuplés chaque année sur le bassin de l'Ourthe durant la convention 2024 / 2025 afin de compléter les observations de cette année.

D'un point de vue mobilité, les données acquises au printemps 2023 sur les tacons qui ont grandi dans le milieu naturel (cohorte 2022) sont faibles mais tendent à montrer une migration plus précoce qu'observée sur l'Ourthe. Un effort de marquage anticipé pour la cohorte 2023 dès octobre démontre cette tendance avec des détections de tacon/pré-smolt dès le mois de novembre lors de pic de débit. Il semble donc impératif de continuer l'acquisition d'information sur les timings de migration afin de prédire la fenêtre de dévalaison, particulièrement en adaptant le modèle prédictif pour des milieux comme la Berwinne.

5 Références bibliographiques

- Descroix, A., Desvillettes, C., Martin, P., Anneville, O., Bec, A., Bourdier, G., 2009. Feeding, growth and nutritional status of restocked salmon parr along the longitudinal gradient of a large European river: the Allier. *Ecol. Freshw. Fish* 18, 282–296.
- Malavoi, J.R., Souchon, Y., 2002. Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables en rivière : clé de détermination qualitative et mesures physiques. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 357–372.
- Orlov, A.V., Gerasimov, Y.V., Lapshin, O.M., 2006. The feeding behaviour of cultured and wild Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in the Louvenga River, Kola Peninsula, Russia. *ICES J. Mar. Sci.* 63, 1297–1303.
- 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.
- Rodewald, P., Hyvärinen, P., Hirvonen, H., 2011. Wild origin and enriched environment promote foraging rate and learning to forage on natural prey of captive reared Atlantic salmon parr. *Ecol. Freshw. Fish* 20, 569–579.
- Teichert, N., Benitez, J. P., Dierckx, A., Tétard, S., de Oliveira, E., Trancart, T., Feunteun, E., & Ovidio, M. (2020). Development of an accurate model to predict the phenology of Atlantic salmon smolt spring migration. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 30(8), 1552-1565.
- Weber, N., Bouwes, N., Jordan, C.E., 2014. Estimation of salmonid habitat growth potential through measurements of invertebrate food abundance and temperature. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 71, 1158–1170.