



RAPPORT FINAL

EVALUATION SCIENTIFIQUE DE L'EFFICACITE D'UN DISPOSITIF DE MONITORING DE LA DEVALAISON DES POISSONS SUR UN SITE HYDROELECTRIQUE DE LA ZONE A OMBRE DE L'AMBLEVE.

BENITEZ J.P.,

**DIERCKX A., NZAU MATONDO B., BUNEL S., SPRONCK C.,
& OVIDIO M.**

**UNIVERSITE DE LIEGE
FACULTE DES SCIENCES**

Département de Biologie, Ecologie, Evolution
Unité de Biologie du Comportement

Centre de recherche en Ichtyologie Fondamentale et Appliquée (AFFISH-RC)
Laboratoire de Démographie des Poissons et d'Hydroécologie (LDPH)



Université
de Liège



Service public de Wallonie



Avec le soutien du « Fonds européen pour la pêche », 'investissons dans une pêche durable'.

Projet financé par le Fonds européen pour la Pêche et la Direction des Cours d'eau Non Navigables, Service Public de Wallonie.

Code projet: 32-1202-006

OCTOBRE 2015

Quai E. Van Beneden, 22
4020 Liège

e-mail :

jpbenitez@ulg.ac.be

M.Ovidio@ulg.ac.be

Table des matières

I. INTRODUCTION GENERALE	1
II. PRESENTATION GENERALE DE L'AMBLEVE	4
1. Géomorphologie du cours et lithologie-géologie	4
2. Zonation piscicole théorique.....	5
3. Régime des débits	6
4. Régime des températures	8
5. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau	8
5.1. Composition naturelle de l'eau	8
5.2. Pollution de l'eau.....	9
III. PRESENTATION GENERALE DU SITE D'ÉTUDE : LE COMPLEXE HYDROÉLECTRIQUE DE LORCÉ – HEID DE GOREUX	10
1. Le barrage de Lorcé	10
1.1. Echelle à poissons : montaison.....	12
1.2. Exutoire de dévalaison	14
2. Centrale hydroélectrique de Heid de Goreux	16
IV. PIEGEAGE DE POISSONS EN MIGRATION DE DEVALAISON DANS LE PIEGE DE L'EXUTOIRE DU BARRAGE DE LORCE	20
1. Introduction.....	20
2. Matériels et méthode	22
2.1. Piège de capture.....	22
2.2. Monitoring.....	24
2.3. Enregistrement des facteurs environnementaux.....	27
3. Résultats.....	28
3.1. Données globales de capture	28
3.2. Analyse comparée entre les données de dévalaison et les données existantes pour la partie amont.....	30
3.3. Variations annuelles des captures.....	32
3.4. Analyses des classes de taille des poissons capturés	33
3.5. Périodicité de capture	37
3.6. Influence des variables environnementales.....	41
4. Discussion.....	48
V. ANALYSE SIMULTANEE DES PIEGEAGES DE POISSONS AU NIVEAU DU BARRAGE DE LORCE : COMPARAISON ECHELLE A POISSONS – EXUTOIRE DE DEVALAISON	54
1. Introduction.....	54
2. Méthodes	55

2.1.	Contrôle du piège de l'échelle à poissons du barrage de Lorcé.....	55
2.2.	Marquage-recapture-détection RFID.....	56
2.3.	Données environnementales.....	58
3.	Résultats.....	59
3.1.	Diversité des captures (octobre 2013-août 2015).....	59
3.2.	Vidange et pêche électrique dans l'échelle à poissons.....	60
3.3.	Variations annuelles des captures.....	61
3.4.	Abondance des captures et biodiversité en montaison et en dévalaison.....	63
3.5.	Capture-Marquage-Recapture.....	64
3.6.	Périodicité des patrons de mobilité en montaison-dévalaison.....	66
4.	Discussion.....	69
VI. CALCUL D'UN TAUX D'UTILISATION DE L'EXUTOIRE À L'AIDE DE LA TECHNOLOGIE RFID ET QUANTIFICATION DES VOIES DE PASSAGE		73
1.	Introduction.....	73
2.	Matériels et méthodes.....	74
2.1.	Fonctionnement du complexe de détection RFID transpondeur-antenne-station.....	74
2.2.	Marquage des poissons.....	75
2.3.	Stations d'enregistrement et antennes RFID.....	75
2.4.	Systèmes de capture en dévalaison.....	80
2.5.	Campagnes de suivis comportementaux.....	81
2.6.	Obtention des données environnementales et de turbinage.....	86
3.	Résultats.....	88
3.1.	Conditions expérimentales.....	88
3.2.	Mesure de l'attractivité de l'exutoire de dévalaison.....	90
3.3.	Mesure de l'efficacité réelle de l'exutoire de dévalaison de Lorcé.....	93
3.4.	Temps de présence devant l'exutoire.....	94
3.5.	Capture d'individus marqués dans le piège de Méry (Ourthe).....	97
3.6.	Analyse quantitative des voies de passage utilisées par les smolts (uniquement campagne 2015).....	97
3.7.	Incidence de différents facteurs sur l'utilisation des voies de passage par les smolts ...	103
3.8.	Temps de parcours et vitesses de migration.....	106
4.	Discussion.....	110
4.1.	Etude de l'efficacité de l'exutoire à travers nos modèles biologiques.....	110
4.2.	Quantification des voies de passage.....	113
4.3.	Influence des différents facteurs sur l'utilisation des voies de passage.....	114
4.4.	Déclenchement de la migration chez les smolts de saumon et de truite.....	115

4.5.	Période d'activité à l'échelle du cycle nycthéral	116
4.6.	Importance de la voie de passage sur la vitesse et la survie des individus.....	117
VII.	CONCLUSIONS GENERALES ET RECOMMANDATIONS	122
1.	Conclusions générales.....	122
2.	Recommandations pour améliorer les conditions de dévalaison	124
VIII.	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	130
IX.	ANNEXES	135
1.	Participation à des conférences scientifiques.....	135
2.	Articles scientifiques acceptés	136
3.	Articles en cours de finalisation	136
4.	Tableau des indicateurs.....	137

Citation recommandée du rapport :

BENITEZ J.P., DIERCKX A., NZAU MATONDO B., BUNEL S., SPRONCK C., & OVIDIO M (2015). Evaluation scientifique de l'efficacité d'un dispositif de monitoring de la dévalaison des poissons sur un site hydroélectrique de la zone à ombre de l'Amblève. Rapport final du projet financé par le Fonds européen pour la Pêche (*Code projet: 32-1202-006*) et la Direction des Cours d'eau Non Navigables, Service Public de Wallonie. Laboratoire de Démographie des Poissons et d'Hydroécologie de l'Université de Liège, 137 pages.

I. INTRODUCTION GENERALE

Ce rapport final présente les résultats des recherches menées par le Laboratoire de Démographie des Poissons et d'Hydroécologie (Unité de Biologie du Comportement de l'Université de Liège) dans le cadre d'un projet co-financé par le Fonds Européen pour la Pêche (FEP) et la Direction des Cours d'Eau non navigables, Service Public de Wallonie (*Code projet: 32-1202-006*) intitulé « Évaluation scientifique de l'efficacité d'un dispositif de monitoring de la dévalaison des poissons sur un site hydroélectrique de la zone à ombre de l'Amblève. »

Le sous-bassin de l'Amblève est particulièrement fragmenté par des obstacles physiques et de nombreux ouvrages hydroélectriques qui constituent des entraves aux phénomènes de montaison et de dévalaison de la faune piscicole. Dans le cadre du programme de priorisation du rétablissement de la libre circulation des poissons dans les cours d'eau non navigables de Wallonie en application de la Décision Benelux de 2009, un site hydroélectrique de l'Amblève, le barrage de prise d'eau de Lorcé alimentant la centrale hydroélectrique de Heid de Goreux, a été considéré comme prioritaire du point de vue du rétablissement de la libre circulation piscicole, dans le sens de la montaison et de la dévalaison. Le barrage de Lorcé est équipé d'une passe à montaison moderne depuis octobre 2007, dont la construction a été conjointement entreprise par la Direction des Cours d'Eau non navigables du Service Public de Wallonie, la Société Electrabel et avec le soutien financier de l'IFOP. Cette passe de montaison est scientifiquement contrôlée depuis 2007 par le LDPH, et a permis la réouverture d'un axe migratoire très important, notamment vers un affluent de haute qualité écologique, la Lienne. L'aménagement futur d'une passe migratoire sur le site de la cascade de Coo ouvrira l'accès à la Salm, la Warche et la haute Amblève. Malgré la réouverture de la migration vers l'amont, la dévalaison des poissons sur le site de Lorcé reste très problématique (Ovidio et al., 2011 ; Benitez et al., 2013). Dans le but de rendre possible la libre circulation dans les deux sens sur ce site stratégique, la Société Electrabel a équipé à la demande du gestionnaire du cours d'eau et suivant les obligations de son permis d'environnement, un exutoire de dévalaison des poissons dans une configuration préliminaire (très faible débit) mais situé à un endroit déterminé par des suivis télémétriques de smolts de saumons (Ovidio et al 2011). L'objectif principal de ce projet est de réaliser le monitoring de cet exutoire et d'apporter un appui

scientifique pour permettre son optimisation, après avoir vérifié son efficacité sur le modèle biologique, le saumon atlantique (*Salmo salar*). Une attention particulière a également été portée sur la quantification des autres voies de passage potentiellement utilisables par les poissons en phase de dévalaison. L'étude a été réalisée sur le complexe hydroélectrique de Lorcé - Heid de Goreux, situé sur l'Amblève via l'étude comportementale de poissons d'espèces cibles. L'étude a nécessité l'installation d'un système de piégeage permanent, qui a été conçu et installé par le LDPH de l'Université de Liège et l'installation d'un réseau de détection automatique (RFID).

Dans le but d'atteindre cet objectif, ce projet a été scindé en 3 actions principales :

- Action 1 : **Piégeage de poissons en migration de dévalaison dans le piège de l'exutoire du barrage de Lorcé.**

Afin de connaître la réelle utilisation de l'exutoire de dévalaison, un système de capture multi-spécifique a été aménagé à sa sortie. Ce piégeage permet de déterminer les espèces susceptibles d'utiliser le dispositif mais également d'améliorer nos connaissances sur les périodes de migration vers l'aval, en association avec les variables environnementales.

- Action 2 : **Analyse simultanée des piépages de poissons au niveau du barrage de Lorcé : comparaison échelle à poissons – exutoire de dévalaison.**

Cette action consiste en la poursuite du monitoring scientifique du piège de capture de l'échelle à poissons du barrage de Lorcé, depuis son installation en automne 2007. En plus de permettre la poursuite du suivi multi-annuel de l'échelle à poissons, le piégeage facilite la capture d'individus d'espèces cibles, afin de les marquer et de vérifier s'il y a existence de flux amont/aval à l'échelle individuelle.

- Action 3 : **Calcul d'un taux d'utilisation de l'exutoire à l'aide de la technologie RFID et quantification des voies de passage.**

Conjointement au monitoring de l'exutoire de dévalaison du barrage Lorcé, la technologie RFID (marquage individuel) a été utilisée afin de définir un taux d'attractivité de l'exutoire de Lorcé, un taux d'efficacité réelle et un taux d'efficacité corrigé via l'utilisation de smolts de saumon atlantique en 2014. De plus, afin de

quantifier avec plus de précision les voies de passage (exutoire – turbines – vannes mobiles) empruntées par des smolts de salmonidés au niveau du complexe hydroélectrique de Lorcé-Heid de Goreux, un réseau d’antennes RFID a été installé sur le site de Heid de Goreux en 2015.

Les recherches ont été réalisées par Jean-Philippe Benitez, Biologiste, doctorant - attaché de recherche, avec l’expertise technique d’Arnaud Dierckx, Bachelier en agronomie et avec l’appui scientifique du Dr. Billy Nzau matondo, Ingénieur de recherche. Deux étudiants de l’ULg ont réalisé leur mémoire de fin d’étude en lien direct avec ce projet, Sarah Bunel (Biologiste) et Christelle Spronck (Biologiste). La supervision scientifique du projet et des mémoires a été assurée par le Dr. Michaël Ovidio, Biologiste, expert scientifique ULg et responsable du LDPH. Nous tenons à remercier les autres membres de l’équipe pour leur aide ponctuelle: Gilles Rimbaud, Ingénieur industriel au LDPH et le Dr. Jean-Claude Philippart, Chercheur qualifié honoraire. Un merci particulier à notre Secrétaire Exécutive, Françoise Bruls pour son travail administratif très apprécié.

Nous tenons également à remercier collectivement toutes les personnes et institutions qui ont accordé leur appui à la réalisation des études décrites dans ce rapport. Nous remercions spécialement Monsieur le Ministre C. Di Antonio (Ministère des Travaux publics, de l’Agriculture, de la Ruralité, de la Nature, de la Forêt et du Patrimoine de la Région Wallonne) qui a signé cette subvention de recherche pour l’ULg. Un remerciement particulier au service de la DCENN-SPW-DGARNE, via Ir. P. Orban et O. Detrait pour la confiance qu’ils nous témoignent, pour leur intérêt et leur collaboration. Merci au Directeur de la DCENN, Ir F. Lambot, qui nous a accordé ce financement. Nous exprimons nos plus vifs remerciements à la société Electrabel, représentée par MM. L. François et M. Locht pour leur collaboration durant toute la durée de l’étude et leur autorisation d’accès aux différents sites. Nous remercions aussi particulièrement l’équipe du Service de la Pêche de la DNF : représenté par son Directeur Dr. X. Rollin ainsi que ses agents de la pisciculture d’Erezée : Y. Neus et D. Gilson pour leur collaboration dans l’acquisition des smolts de salmonidés. Merci aussi aux membres du comité d’accompagnement (non encore cités) pour leur participation active aux réunions : P. Schmitt (CR Amblève), A. Gillet (DGO2), C. Keulen (DCENN) avec un merci particulier à C. Poncelet (CENN) et F. Fontaine (DPE) pour leur efficacité dans le suivi administratif du projet.

II. PRESENTATION GENERALE DE L'AMBLEVE

1. Géomorphologie du cours et lithologie-géologie

L'Amblève (figure 1) prend sa source à une altitude de 586m près d'Amel et se jette dans l'Ourthe à Comblain-au-Pont (alt. 102m) après un parcours de 88,4km à travers l'Ardenne et le Condroz en aval de Remouchamps. Avec un bassin versant de 1076,79km², l'Amblève est le plus important affluent de l'Ourthe, avant la Vesdre (702km²).

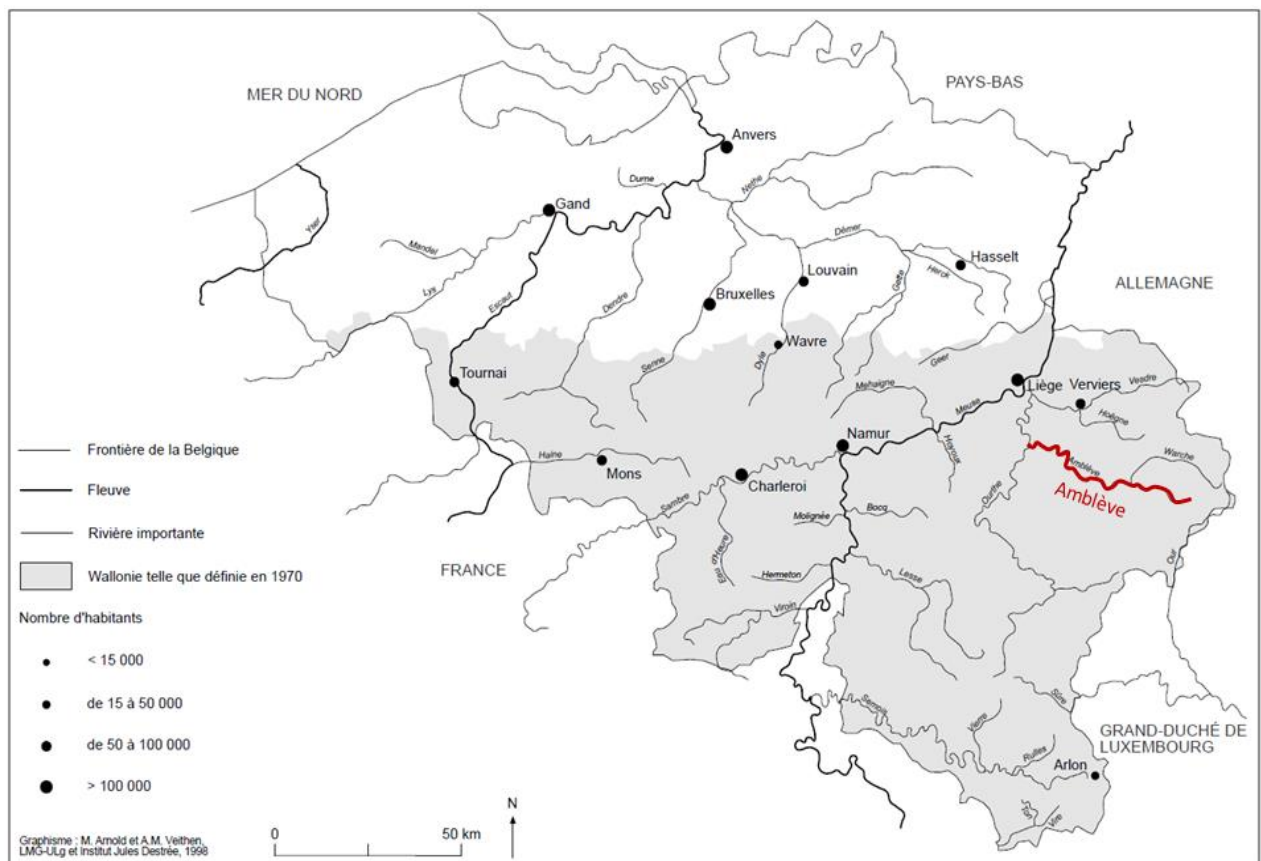


Figure 1 : Carte des principaux fleuves et rivières de Belgique. En rouge l'Amblève (sources LMG-ULg et institut Jules Destrée, 1998)

Les principaux affluents de l'Amblève (figure 2) sont, de l'amont vers l'aval, la Warche (bassin versant de 190km²) avec sa confluence à Malmédy, la Salm (243km²) à Trois-Ponts et la Lienne (149 km²) à Lorcé. Les affluents de moindre importance sont le Möderscheider Bach à Amel, l'Emmel à Monteneau, le ruisseau de Recht à Bellevaux-Ligneville, le Roannay à la Gleize et le Ruisseau du Fond d'Harzé à Aywaille.

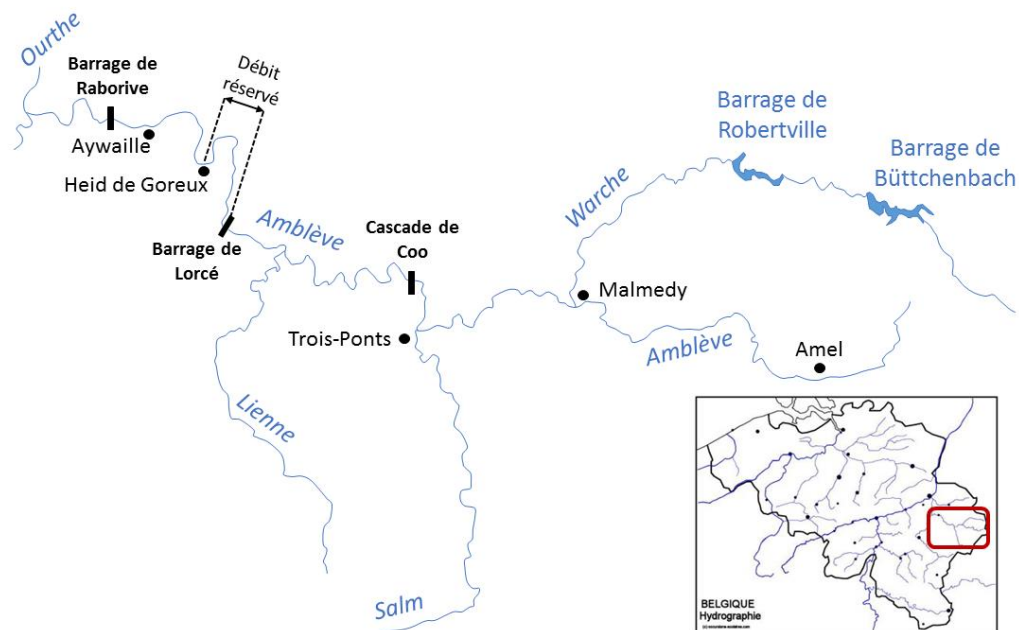


Figure 2 : Carte de l'Amblève depuis sa source près d'Amel jusqu'à son embouchure dans l'Ourthe à Comblain-au-Pont. La carte montre également les principaux obstacles à la libre circulation (barres noires), le débit réservé en aval de Lorcé ainsi que les principaux affluents de l'Amblève : la Warche, la Salm et la Lienne

La pente kilométrique moyenne naturelle de l'Amblève est de 5,48 p/1000 (484m/88,4km). Cependant, le profil en long originel de la rivière est modifié par la présence de plusieurs obstacles qui entraînent de fortes variations de niveaux d'eau (phénomènes d'hydropeaking) et entravent la libre circulation des poissons. Les trois principaux obstacles sont la cascade de Coo (chute de 11,8m de haut suite à un recoupement artificiel d'un méandre), le barrage hydroélectrique de Lorcé (prise d'eau pour la centrale hydroélectrique de Heid de Goreux situé 8km en aval, avec la présence d'un débit minimum de 3 m³/s sur ce tronçon, appelé débit réservé) et le barrage de Raborive appartenant à un complexe hydroélectrique.

2. Zonation piscicole théorique

Du point de vue de la zonation piscicole selon Huet (1949) (figure 3), l'Amblève correspond à une zone à truite théorique de sa source à la confluence avec la Warche, sauf dans le tronçon Deidenberg-Montenau qui présente une pente plus faible et correspond à une zone à ombre (figure 3). Tout le reste du cours, de la confluence de la Warche jusque l'Ourthe correspond à la zone à ombre sauf un court tronçon à très forte pente (12,5 p/1000), situé en aval de Lorcé, dans les Fonds de Quareux qui correspond à une zone à truite.

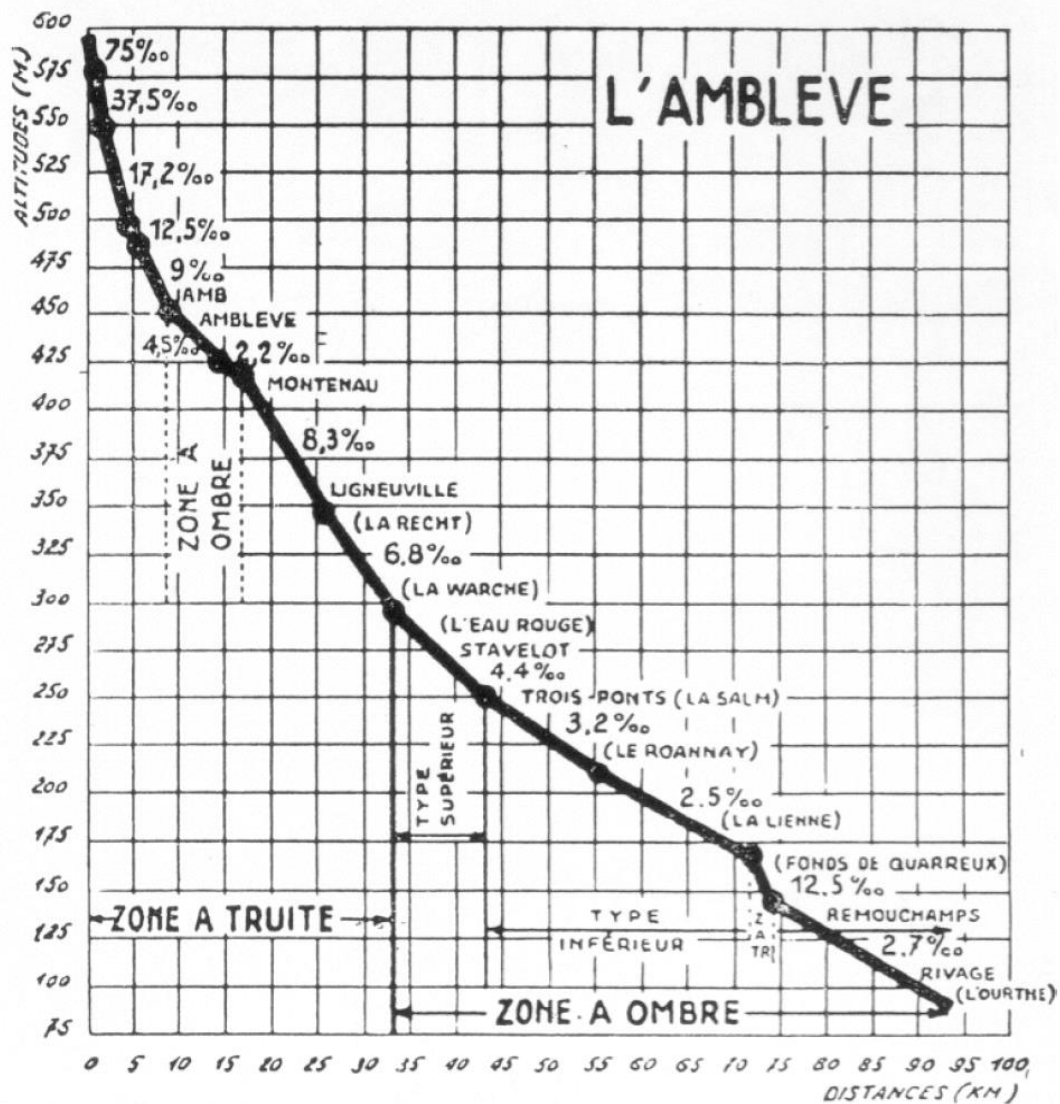


Figure 3 : Profil en long de l'Amblève indiquant l'extension des zones piscicoles théoriques selon Huet (extrait de Huet, 1950)

3. Régime des débits

Le régime hydrologique de l'Amblève est connu à la station limnimétrique de Martinrive située sur le cours aval, à quelques kilomètres de la confluence avec l'Ourthe. Pour la période de 2004 à 2014 (tableau 1), le débit interannuel moyen est de 18,1 m³/s avec un minimum de 15,4m³/s en 2011 et un maximum de 22,9m³/s en 2007. Le débit estival (juin-juillet-août) moyen est de 9,2m³/s avec un minimum de 4,2m³/s en 2011 et un maximum de 15,9m³/s en 2014.

Tableau 1 : Variations saisonnières du débit de l'Amblève à Martinrive d'après les valeurs moyennes des débits mensuels pour la période de 11 années 2004-2014 (source : SETHY-MET)

Mois	Débit moyen mensuel (m ³ /s)		
	Interannuel	Min	Max
Janvier	36,9	15,9	76,4
Février	30,5	21,7	45,4
Mars	27,4	10,9	58,8
Avril	15,5	5,2	32,9
Mai	11,5	3,4	21,5
Juin	7,7	3,7	14,4
Juillet	8,1	2,8	14,6
Août	10,5	3,9	19,3
Septembre	9,1	4,1	15,7
Octobre	10,7	5,7	20,1
Novembre	19,0	3,3	38,7
Décembre	30,9	16,3	54,0
Moyenne totale	18,1	8,1	34,3
Moyenne l'été (JJA)	9,2	4,2	15,9

Les débits moyens mensuels les plus bas sont observés majoritairement en période estivale, principalement entre les mois de juin et septembre mis à part une fois en mai (2007). Le débit journalier minimum observé est de 1,7m³/s, le 12 juillet 2011 et le débit journalier maximum est de 228m³/s le 9 janvier 2011.

Il faut rappeler que le débit de l'Amblève est partiellement régulé (écrêtage des crues + soutien d'étiage) par le fonctionnement des barrages de Bütgenbach et de Robertville sur la Warche (Petit *et al.*, 1999). De plus, le fonctionnement des centrales hydroélectriques (CHE) de ces barrages (Bütgenbach et Bévercé-Robertville) provoque des fluctuations du débit au cours de la journée (pour la Warche, voir Assani et Petit, 2003) qui se traduisent par des variations du niveau d'eau aux effets écologiques largement inconnus. Enfin, sur la Warche en aval de Malmédy et sur l'Amblève en aval de sa confluence avec la Warche, on trouve encore 5 autres centrales hydroélectriques : la CHE des Mayeres (Warche à Malmédy), la CHE de Bressaix (Amblève à Stavelot), la CHE de Coo-dérivation (Amblève à Coo), la CHE de Heid de Goreux (Amblève à Lorcé et Heid de Goreux) et la CHE de Raborive (Amblève à Aywaille). Cette succession de 7 centrales hydroélectriques sur l'axe Warche-Amblève engendre un débit saccadé fonctionnant par propagation d'ondes. Le débit enregistré à Martinrive est donc totalement irrégulier.

4. Régime des températures

Le régime thermique de l'Amblève (tableau 2) est connu grâce à des relevés en continu de la température de l'eau opérés à Lorcé pendant une période de 11 ans, de 2004 à 2014 réalisés par le LDPH-ULg. Les températures moyennes mensuelles toutes années confondues, les plus élevées apparaissent en juillet (19°C). Pour ce qui concerne la température moyenne par mois, un maximum absolu de 23,7°C a été enregistré en juillet 2006. Avec une moyenne de 18,6°C pour les 3 mois d'été, juin-juillet-août, 2006 est de loin l'année la plus chaude pendant l'été de toutes celles de la série observée avec plus d'un degré. La température moyenne annuelle est de 11,1°C avec un maximum de 13,3°C pour la période de 2004 à 2014.

Tableau 2 : Variations saisonnières de la température de l'eau de l'Amblève à Lorcé d'après les valeurs moyennes, minimales et maximales des températures mensuelles en 2004-2014 (source: LDPH-ULg)

Mois	Température moyenne mensuelle (°C)		
	Interannuelle	Min	Max
Janvier	4,6	1,8	6,8
Février	4,4	2,5	6,4
Mars	6,5	4,6	8,1
Avril	10,9	9,2	13,5
Mai	14,4	12,5	16,8
Juin	17,5	15,5	19,7
Juillet	19,0	15,4	23,7
Août	17,4	15,8	19,5
Septembre	14,5	13,2	16,5
Octobre	11,5	10,1	13,3
Novembre	8,0	7,3	9,1
Décembre	5,0	2,4	6,3
Moyenne totale	11,1	9,2	13,3
Moyenne l'été (JJA)	17,0	15,0	18,9

5. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau

5.1. Composition naturelle de l'eau

Selon Descy et al. (1981,1982), l'Amblève en amont de la confluence de la Warche appartient au type chimique ardennais pauvre et se caractérise par une assez faible minéralisation naturelle (91-130 uS/cm), une teneur en calcium de 5,9-12,1 mg/Ca et une alcalinité de 6-20 mg/l CaCO₃. En aval de la Warche, elle passe au type ardennais riche (21-50 mg/l CaCO₃) qui se maintient sur le reste de son cours jusqu'à la confluence avec l'Ourthe. Globalement,

l'Amblève et l'ensemble de son bassin se caractérisent par une eau faiblement minéralisée, peu alcaline (< 50 mg/l CaCO₃) et pauvre en calcium (< 30 mg/l Ca) à laquelle est associée une productivité biologique potentielle moyenne.

5.2. Pollution de l'eau

Les études de la qualité chimique de l'Amblève réalisées au milieu des années 1970 (Descy et al., 1981, 1982) avaient révélé un très important niveau de contamination par le chrome (jusqu'à 500 fois les valeurs extrêmes naturelles) de la Warche en aval de Malmédy (origine: tannerie industrielle) et de tout le cours de l'Amblève en aval, avec un prolongement de cet effet dans la basse Ourthe et même dans la Meuse. A cette pollution par le chrome s'ajoutait une pollution organique très grave (origine: nettoyage des peaux par la tannerie de Malmédy + effluents d'une papeterie dans la même localité) dans la basse Warche et dans l'Amblève entre le confluent de la Warche et le confluent de la Salm. Cette pollution organique se résorbait en aval de ce point mais il subsistait une légère anomalie sur le reste du cours ainsi qu'une forte eutrophisation (Marneffe et al., 1995). Après l'arrêt de l'activité de la tannerie de Malmédy au milieu des années 1990, la qualité physico-chimique de l'Amblève s'est nettement améliorée mais les sédiments ont probablement gardé la trace d'une intense contamination par des métaux lourds, spécialement le chrome. En effet, l'état environnemental de la masse d'eau (Amblève) en 2015 était de « bonne » qualité écologique, de « bonne » qualité physico-chimique, de « bonne » qualité hydromorphologique (SPW-AQUABIO). Ces résultats indiquent un bon état écologique de la masse d'eau. En revanche, l'état chimique de la masse d'eau n'est « pas bon » suite à la présence importante de substances persistantes, bio-accumulatives, toxiques et ubiquistes (données 2013, SPW).

III. PRESENTATION GENERALE DU SITE D'ÉTUDE : LE COMPLEXE HYDROÉLECTRIQUE DE LORCÉ – HEID DE GOREUX

Le complexe hydroélectrique de Lorcé - Heid de Goreux est situé sur l'Amblève entre Coo et Remouchamps. Ce complexe est constitué du barrage de prise d'eau de Lorcé et de la centrale hydroélectrique de Heid de Goreux (figure 1).

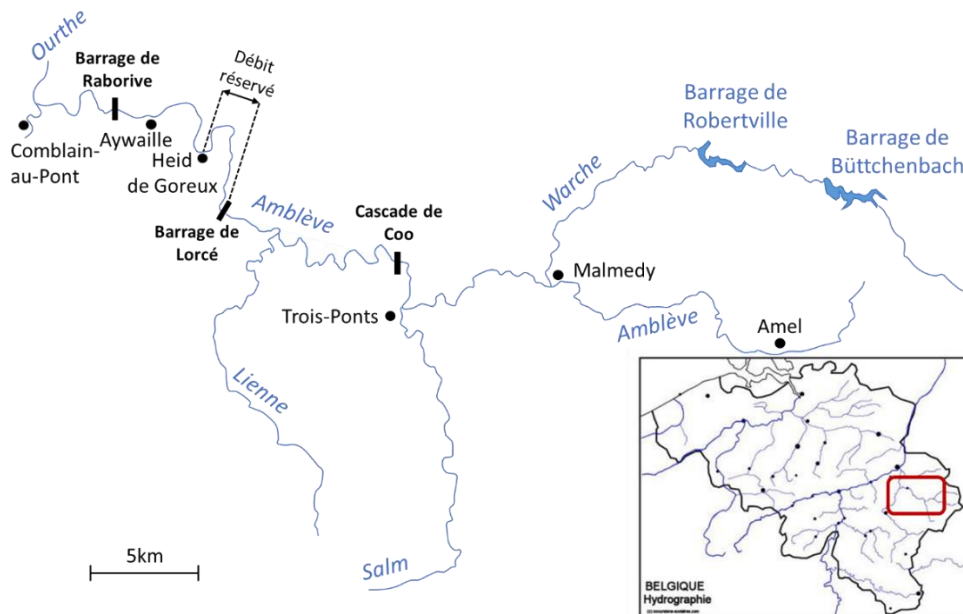


Figure 1 : Schéma de l'Amblève avec ses principaux affluents et obstacles incluant la localisation du barrage de Lorcé et de la centrale hydroélectrique de Heid de Goreux

1. Le barrage de Lorcé

Le barrage de Lorcé (figures 1 et 2), situé sur l'Amblève à 22,9 km de sa confluence avec l'Ourthe, crée une petite retenue de 50.000 m³, sans capacité d'accumulation, qui alimente une conduite forcée située en rive gauche aboutissant à la centrale hydroélectrique (CHE) de Heid de Goreux installée à 8km en aval du barrage et à 14,9 km en amont de la confluence avec l'Ourthe. Le barrage de Lorcé est un ouvrage constitué de deux vannes mobiles de 12 m de long chacune et créant une chute de $D_h = 3,3$ m (figure 2). À côté de ces vannes de régulation se trouve une vanne de vidange (la vanne secteur) de 3m de long, elle sert à vider complètement la retenue d'eau et à accroître l'écoulement des débits en cas de crues. La présence du barrage réduit le débit sur les 8 km aval entre le barrage de Lorcé et Heid de Goreux où un débit réservé de 3 m³/s est actuellement d'application (figure 1). La valeur de

ce débit réservé reste faible par rapport au module de la rivière, qui est de $19,3\text{m}^3/\text{s}$, et est insuffisant pour garantir l'intégrité biologique du tronçon concerné (Ovidio et al., 2007). Anciennement alimenté par la surverse de la vanne secteur, ce débit réservé est depuis 1993, turbiné par une microturbine de type Francis de $3\text{m}^3/\text{s}$ et de 51 kW avec une vitesse de rotation de 136 tours/minutes (figure 3). La hauteur de chute d'eau avant la turbine est de 3,5m et l'eau est rejetée dans l'Amblève en rive gauche juste en aval du barrage (0,2m plus bas que le niveau aval). La prise d'eau latérale (rive gauche) au niveau de la retenue d'eau de Lorcé, commune pour les deux installations de turbinage qui sont la CHE de Heid de Goreux et la microturbine de Lorcé, est constituée de deux grands bassins de décantation et est protégée par un plan de grille métallique constituée de barreaux espacés de 41mm (figure 4). Cependant l'espacement des barreaux est trop important pour empêcher les smolts ou les petits individus (i.e. juvéniles) de passer à travers les turbines (Larinier & Travade 1999). Cette grille est régulièrement nettoyée au moyen d'un dégrilleur automatique et les déchets récoltés sont restitués à la rivière en aval du barrage. Du côté des aménagements afin de rétablir la libre circulation des poissons, le barrage de Lorcé est équipé d'une échelle à poissons dans le sens de la montaison et d'un exutoire de dévalaison.



Figure 2 : Vue aval du barrage de Lorcé. En partant de la gauche, deux vannes mobiles de 12m de long et une vanne secteur de 3m de long



Figure 3 : Petite turbine Francis de Lorcé (microturbine) alimentant le débit réservé de 3m³/s : Photo de la prise d'eau à sec



Figure 4 : Vue amont du barrage de Lorcé avec son plan de grille. Gauche : plan d'eau rempli ; droite : plan d'eau vide lors de la maintenance des vannes mobiles (août 2015)

1.1. Echelle à poissons : montaison

Depuis sa construction en 1932, le barrage de Lorcé était équipé d'une échelle à poissons très peu fonctionnelle (figure 5) qui rendait cet obstacle pratiquement infranchissable en dehors des rares périodes où les vannes étaient abaissées (travaux de réfection, vidange des boues, crues exceptionnelles). Dans le cadre du programme de rétablissement de la libre circulation des poissons dans les cours d'eau de Wallonie en application de la Décision Benelux d'avril

1996 (Annexe 1 et Benelux, 1999) et dans l'optique de la préservation-restauration de la qualité hydromorphologique des eaux de surface au sens de la Directive Cadre sur l'Eau (CIM, 2001, 2002), la Société productrice d'électricité Electrabel-GDF-Suez, propriétaire des lieux, et la Direction des Cours d'Eau non navigables du Service Public de Wallonie ont entrepris conjointement en 2007, la construction d'une nouvelle échelle à poissons au barrage de Lorcé (figure 6). Il s'agit d'une échelle à bassins à fentes verticales, moderne, équipée d'un piège de capture protégé par un abri. Elle est située en rive gauche, mesure 67m de long et est constituée de 15 bassins séparés de 0,25m de haut. Le fond des bassins est recouvert d'un substrat (cailloux et branchage) provenant de l'Amblève qui permet de simuler un environnement propice aux petites espèces benthiques et ainsi augmenter le caractère multi-spécifique, même si depuis son installation, ce substrat s'est déplacé et ne joue plus son rôle de manière optimale.



Figure 5 : Vue aval de l'ancienne échelle à poissons du barrage de Lorcé (avant 2007)



Figure 6 : Echelle à poissons de Lorcé à sec (gauche) et en fonctionnement (droite)

1.2. Exutoire de dévalaison

Depuis 2012, le barrage de Lorcé est équipé d'un exutoire de dévalaison (figure 7). Il se situe sur la rive gauche entre le plan de grille de la prise d'eau du barrage et la vanne secteur. Sa localisation a été déterminée suite à un compromis entre des suivis comportementaux de poissons réalisés par radio-pistage (Ovidio et al., 2007 et 2009) et la structure du barrage en lui-même. Le complexe de l'exutoire est constitué d'une ouverture rectangulaire de 0,80 x 1,20 m de section dans la structure en béton existante avec un niveau d'eau entrant de 0,40m, d'un tunnel en béton de configuration hétérogène et long de plusieurs mètres (figure 8). La configuration interne de l'exutoire (figure 9) débute par un plat d'environ 1m de long puis est suivi de deux paliers d'escaliers séparés par un second plat d'un mètre de long. Enfin sa partie terminale est constituée d'un plat 3m de long auquel vient se raccorder un tuyau métallique de 0,9m de diamètre représentant la partie terminale de l'exutoire (partie aval) entraînant une zone de retrait. La hauteur de chute est de $D_h = 1,2 - 1,5\text{m}$ suivant le niveau aval. Une drome flottante a été installée en 2013 afin d'éviter le colmatage de l'exutoire par les débris. L'attractivité a été améliorée au printemps en période de migration des smolts, en plaçant une lampe à mercure au-dessus de l'entrée. Le débit dans l'exutoire est estimé à maximum

0,2m³/s, qui est largement en dessous du débit de 0,6m³/s préconisé par le LDPH. Un débit d'une telle importance est cependant impossible à mettre en œuvre dans la configuration actuelle du complexe exutoire-piège. Il faut noter également que le plan de grille en amont des turbines peut servir en partie de barrière physique permettant de diriger les smolts vers l'entrée de l'exutoire.



Figure 7 : Vue amont du barrage de Lorcé avec la présence de l'exutoire de dévalaison en rive gauche juste en aval du plan de grille



Figure 8 : Entrée de l'exutoire de dévalaison du barrage de Lorcé avec la drome



Figure 9 : Vues intérieures de l'exutoire de dévalaison : vue de l'amont (haut à gauche), vue du milieu (haut à droite), zone de retrait aval sortie (bas à gauche) et sortie de l'exutoire (bas à droite)

2. Centrale hydroélectrique de Heid de Goreux

Le site de Heid de Goreux est caractérisé par la présence d'une centrale hydroélectrique (figure 10), située en rive gauche. La production d'électricité à Heid de Goreux est assurée par deux turbines Francis de 12 et 14 m³/s (figure 11) soit une capacité maximale de turbinage de 26m³/s (minimum 3,5 m³/s) et une vitesse de rotation de 375 tours/minutes chacune. L'eau est acheminée aux turbines grâce à un tunnel d'amenée sous-terrain de 3460m de long en métal de 2m de diamètre entre Lorcé et Heid de Goreux (figure 12). Ce conduit se termine par une cheminée d'équilibre qui sert de réservoir et dont le niveau de l'eau est le même que le niveau amont du barrage de Lorcé. L'eau est ensuite amenée du réservoir aux turbines par une conduite forcée de 54,3m de long de 3m de diamètre. La hauteur de chute nette entre la prise d'eau à Lorcé et les turbines est de 39,4m et la puissance nominale totale de ces turbines est de 7000kW. L'eau turbinée est restituée dans l'Amblève via un canal de fuite de 11,8m de large. La fin du débit réservé, juste en amont du canal de fuite est constituée d'un seuil en enrochements percé d'une échancrure centrale de 9,4m. Il permet d'augmenter la vitesse du

courant à cet endroit pour attirer les poissons dans cette partie de la rivière et minimiser la formation d'obstacle hydraulique à l'endroit de la séparation débit naturel-débit réservé et favoriser l'attraction des poissons rhéophiles (Ovidio et al., 2007) (figure 13). En effet, en amont de l'échancrure, la largeur de la rivière est de 25m, ce qui, associé avec les 3m³/s de débit, n'encourage pas les migrants à utiliser cette voie de passage en montaison. Les études réalisées en 2005-2007 par radio pistage (Ovidio et al., 2007) avant la mise en place de ce cordon d'enrochement ont démontré que la transition débit naturel - débit réservé perturbe les espèces comme le barbeau et la truite lors de leur migration de reproduction, qui avaient alors tendance à chercher des frayères en aval de Heid de Goreux, plutôt que de poursuivre leur déplacement vers l'amont. Depuis l'installation des enrochements, plus aucun suivi n'a été réalisé et l'efficacité du dispositif est inconnue.



Figure 10 : Vue aval de la centrale hydroélectrique de Heid de Goreux avec la présence de l'enrochement et de son échancrure



Figure 11 : Turbines FRANCIS de la CHE de Heid de Goreux sur l'Amblève

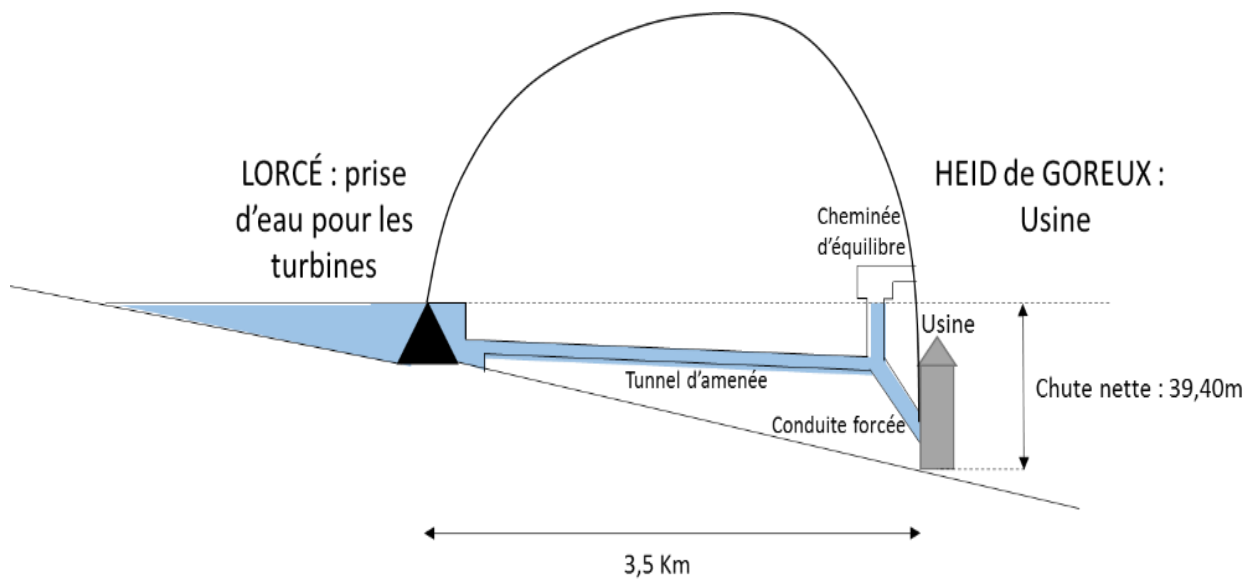


Figure 12 : Schéma représentant la disposition du complexe hydroélectrique de Lorcé-Heid de Goreux, avec les différentes caractéristiques structurales à partir du barrage de Lorcé jusqu'à l'usine de turbinage de Heid de Goreux



Figure 13 : Vue amont de l'engorgement à la fin du débit réservé (en haut) et vue aval du canal de fuite de la centrale hydroélectrique de Heid de Goreux (à l'arrêt)

IV. PIEGEAGE DE POISSONS EN MIGRATION DE DEVALAISON DANS LE PIEGE DE L'EXUTOIRE DU BARRAGE DE LORCE

1. Introduction

Le choix d'un habitat par les poissons est lié à ses dépenses bioénergétiques. Un habitat optimal doit donc permettre de répondre aux besoins biologiques des différentes espèces (efficacité maximale de capture des proies, risque de prédation minimal, faible dépense énergétique pour lutter contre le courant) (Philippart, 1989). Au cours de leur vie, les poissons effectuent donc des déplacements actifs et passifs, longitudinaux et latéraux pour rejoindre les habitats fonctionnels qui correspondent à leurs fonctions écologiques (Lucas et Baras, 2001; Muška et al., 2013). Ces besoins varient naturellement entre les espèces, mais aussi au sein d'une espèce en fonction du stade de développement et de la maturité sexuelle des individus (van Ginneken & Maes, 2005; Benitez et al., 2015). Il existe donc une multitude de déplacements passifs ou actifs qui sont réalisés dans le sens de la montaison et de la dévalaison (figure 1). Parmi ceux-ci, les déplacements dans le sens de la montaison sont les plus connus (i.e. migration de reproduction), notamment grâce aux études télémétriques et aux monitorings des passes migratoires (Baudoin et al., 2014 ; Benitez et al., 2015). Dans le sens de la dévalaison, les premiers stades de développement (embryons, larves, juvéniles) peuvent effectuer un « drift » (Pavlov, 1994). Il s'agit d'un déplacement passif des individus entraînés par le courant. Ce phénomène s'explique par les faibles capacités natatoires des jeunes, qui ne leur permettent pas de résister au courant, en effet le déplacement par drift est inversement corrélé à la taille des individus (Harvey, 1987). Il permet aussi de faciliter la dispersion et la répartition des individus, en compensant la migration vers l'amont des adultes, afin de permettre aux juvéniles d'établir leur territoire dans un habitat favorable (Reichard et al., 2002). Les épisodes de fortes crues, qui créent un débit auquel les poissons ne peuvent pas résister, peuvent provoquer un mouvement passif des adultes, souvent en périodes crépusculaire ou nocturne. Ce phénomène est souvent suivi par un déplacement actif des individus adultes qui tentent de rejoindre leur habitat d'origine (Baras & Cherry 1990). Des espèces amphihalines présentes dans nos cours d'eau développent une phase de migration vers l'aval (dévalaison). Comme en témoigne la migration printanière vers la mer des saumons atlantiques et des truites de mer sous leur forme smolt (McCormick et al., 1998 ;

Klemetsen et al., 2003) afin de rejoindre la mer et y grandir pour enfin revenir à taille adulte et se reproduire dans les rivières (espèces anadromes). L'anguille à l'inverse, recherche un habitat de croissance dans nos rivières pour ensuite dévaler jusqu'à la mer à l'âge adulte (été – automne) dans le but de s'y reproduire (espèce catadrome, Bureau du Colombier et al., 2007). Les espèces diadromes ne sont pas les seules à réaliser des déplacements cycliques (migration) vers l'aval. En effet certains individus d'espèces potamodromes holobiotiques comme le barbeau fluviatile (Lucas, 2000 ; Britton et al., 2011), la truite commune (Ovidio, 1999) ou encore le hotu (Ovidio et al., 2008), effectuent une migration post-reproduction vers la zone d'habitat d'origine.

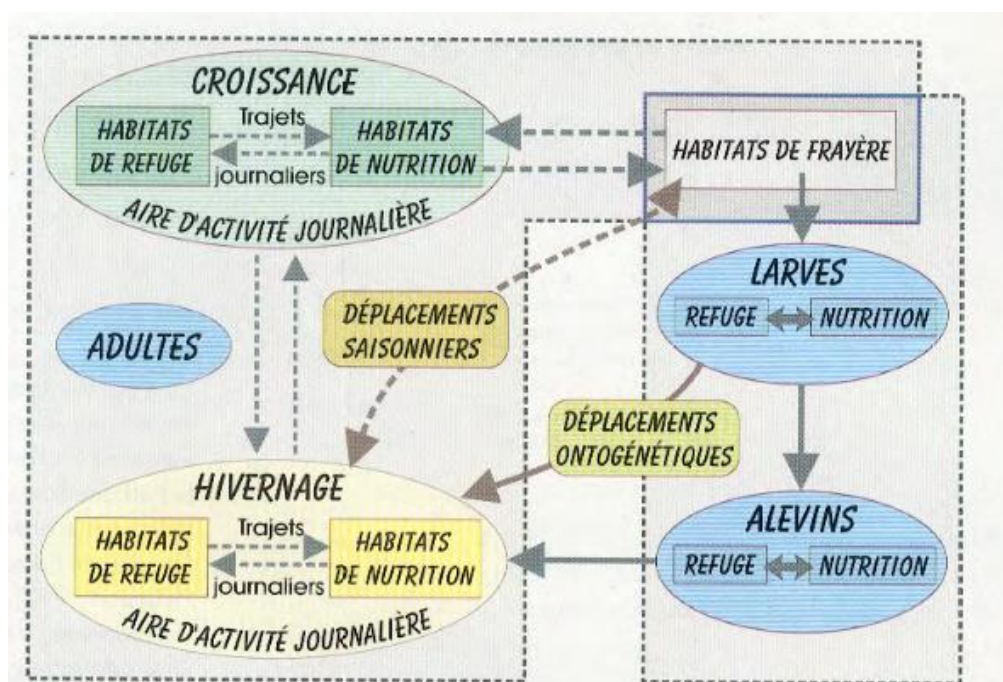


Figure 1 : Mouvements effectués par les poissons en fonction de l'âge des individus (Baras, 1992)

Afin de remédier au rétablissement de la libre circulation, de nombreux ouvrages de franchissement ont été aménagés sur différents obstacles mais principalement focalisés sur les mouvements vers l'amont durant le 20^{ème} siècle (Noonnan et al., 2012). Dans l'optique de rendre cette libre circulation possible à la fois dans le sens de la montaison et dans le sens de la dévalaison au niveau du barrage de Lorcé (Amblève), un exutoire de dévalaison a été aménagé en 2012 afin d'être complémentaire à l'échelle à poissons multi-espèces qui équipe ce barrage depuis 2007 (Benitez et al., 2013 et 2015). Bien que durant le projet FEP Amblève (code: 32-1002-004) l'efficacité de cet exutoire a été partiellement évaluée via le marquage

RFID de smolts saumon et d'anguilles argentées, il est intéressant de connaître en complément, l'utilisation de l'exutoire par les autres espèces de poissons de l'Amblève.

L'objectif principal de cette action consiste donc à étudier l'utilisation de l'exutoire de dévalaison mis en place sur le barrage de Lorcé d'un point de vue multi-spécifique via la capture en continu de tous les individus empruntant l'exutoire. Un second objectif, plus fondamental, consiste à améliorer nos connaissances sur la dynamique de mouvements de dévalaison chez les poissons de rivières de taille moyenne comme l'Amblève. La périodicité des mouvements des différentes espèces et des différents stades de développement ainsi que les déterminants environnementaux associés ont particulièrement été étudiés.

2. Matériels et méthode

2.1. Piège de capture

Afin de répondre aux objectifs de l'étude, un piège de dévalaison a été installé à la sortie de l'exutoire durant les mois d'octobre et novembre 2013 (figure 2). La sortie de l'exutoire a été prolongée par huit goulottes en bois marin rectangulaires de 0,6 x 1,2m soit 8,4 m de long, qui mène les poissons vers un piège de capture flottant. Afin de diminuer le débit qui arrive dans le piège (pour minimiser les blessures et épuisement des poissons et les contraintes sur le piège), 4 grilles de 60cm de long aux barreaux espacés de 0,9cm ont été placées dans le fond des goulottes 4 et 5 (en partant de l'amont) et le plancher des goulottes 6 et 7 est entièrement composé d'une grille de 1m de long aux mailles de 8mm. L'extrémité de la dernière goulotte a également été prolongée par une plaque en inox de 0,4m de long afin d'éviter au maximum que les poissons ne se désolidarisent de la lame d'eau en tombant dans le piège. Une plaque de bois de 0,5 x 2,5m a été placée au-dessus des premières goulottes pour éviter que des déchets qui proviennent du dégrilleur automatique ne tombent dans le conduit et ne le colmatent. Le piège en lui-même est constitué d'un filet aux mailles de 8mm de 2,40m de long sur 1,20m de large et sur 2,5m de profondeur (dont 1,5m immergés) qui est placé sur un support métallique rectangulaire (figures 2 et 3). Ce piège de capture situé sur la rivière juste en aval du barrage, est installé sur un système de pontons flottants assemblés les uns aux autres. L'accès au piège flottant a été rendu possible via une plateforme sécurisée composée d'un premier escalier, d'un palier intermédiaire et d'un second escalier suspendu (figure 3).



Figure 2 : Mise en place du système de capture au niveau de l'exutoire de dévalaison du barrage de Lorcé



Figure 3 : Vue globale du piège de capture à la dévalaison au niveau du barrage de Lorcé

2.2. Monitoring

Le piège de capture a été contrôlé de 2 à 5 fois par semaine de décembre 2013 à août 2015. A chaque contrôle, le filet est remonté et les poissons capturés sont transférés dans une manne et anesthésiés à l'aide d'une solution d'Eugénol ($0,1\text{ml.l}^{-1}$) (figure 4). L'espèce est ensuite déterminée, puis chaque individu est pesé (au gramme près) et mesuré à la fourche de sa nageoire caudale (en mm). Chaque individu est également scanné par le lecteur portable RFID afin de vérifier s'il y a recapture (résultats discutés au point V). Dans le cas des smolts de saumon atlantique, seul un échantillon de 50 individus par jour de capture est mesuré lorsqu'il y a >50 individus. Dans ce cas, le nombre d'individus capturés, et la biomasse totale sont pris en compte. Certains individus ont été munis d'un transpondeur RFID pour faire un lien avec une détection à Heid de Goreux ou une recapture à Méry sur l'Ourthe, mais ces résultats seront discutés au point VI.



Figure 4 : Dispositif de mesures biométriques des poissons capturés

Suite à des augmentations de débit ($>30\text{m}^3/\text{s}$, limite fixée en accord avec le comité d'accompagnement du projet), le piège de dévalaison a dû être retiré (figure 5) à plusieurs reprises pour éviter qu'il ne se fasse emporter vers l'aval. De plus, le système de piégeage n'est plus efficace lors d'un abaissement des vannes mobiles du barrage de Lorcé, suite à une augmentation du niveau d'eau en aval du barrage (figure 6) :

- Du 25 décembre 2013 au 6 janvier 2014
- Du 9 au 11 juillet 2014
- Du 26 au 28 août 2014
- Du 12 décembre 2014 au 20 février 2015
- Du 27 février 2015 au 5 mars 2015
- Du 3 au 7 avril 2015
- Du 28 août au 31 août.



Figure 5 : Retrait du piège de dévalaison lors de pics de débit ($>30\text{m}^3/\text{s}$)

Lors de ces phases de crues, le système de goulottes et d'accès au piège a subi de nombreux dommages suite aux embâcles charriés par la rivière (figure 7). Ces dégâts ont nécessité des réparations multiples et ont parfois ralenti la remise en place du piège de dévalaison.



Figure 6 : Piège de dévalaison inefficace lors d'une augmentation de débit de l'Amblève (>30m³/s)



Figure 7 : Dégâts observés au niveau des goulottes et du système d'accès lors de phase de crue de l'Amblève

2.3. Enregistrement des facteurs environnementaux

L'enregistrement des facteurs environnementaux durant le suivi du piège de capture permet d'étudier l'influence de ces variables sur les déplacements des poissons. La température est enregistrée à l'aide d'un enregistreur automatique de température (Onset TidBit) placé au niveau du barrage de Lorcé. Le débit est téléchargé à partir du site Aqualim (SPW-DCENN) au niveau des stations de La Gleize pour l'Amblève et de Lorcé pour la Lienne, l'addition de ces deux débits donnant le débit de l'Amblève au niveau du barrage de Lorcé.

3. Résultats

3.1. Données globales de capture

Du 2 décembre 2013 au 28 août 2015 (tableau 1), nous avons réalisé 188 contrôles du piège de capture de l'exutoire de dévalaison du barrage de Lorcé. Sur cette période, 1931 individus appartenant à 24 espèces différentes ont été capturés dans le piège de dévalaison pour une biomasse totale de 211,9kg (figure 8).

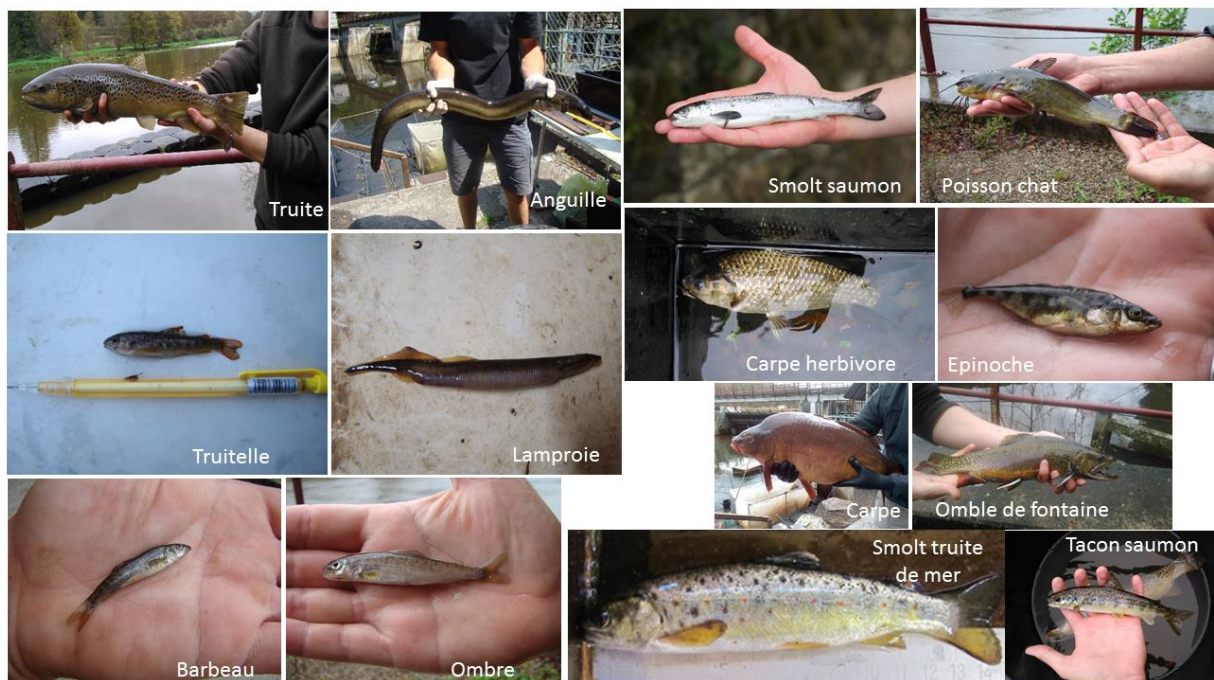


Figure 8 : Echantillon de la diversité des espèces capturées dans le piège de dévalaison du barrage de Lorcé

Les salmonidés représentent près de 90% des captures. En nombre d'individus, le saumon atlantique sous sa forme smolt domine avec 1123 individus (+ 46 sous forme de tacon), suivi de la truite commune avec 295 individus ainsi que 169 individus sous la forme smolt (présence des deux écotypes de la truite commune : la truite de rivière et la truite de mer) et de la truite arc-en-ciel avec 37 individus. On notera parmi les salmonidés la présence de 5 ombles de fontaine, une espèce non-indigène comme la truite arc-en-ciel qui constituent donc des espèces dépendantes de repeuplements réalisés principalement pour la pêche de loisirs. Enfin, l'ombre commun, avec un total de 9 individus est également présent dans ce piège de dévalaison.

Parmi les autres espèces, la vandoise (cyprinidé, n=33) et l'anguille (anguillidé, n=32) sont bien représentés (3%). L'épinoche (n=18), la lamproie de Planer (n=17), le barbeau fluviatile (n=15),

l'ablette spirilin (n=15), le gardon (n=14) et le chevaine (n=13) sont également présents avec près de 5% des captures. D'un point de vue de la biomasse, c'est la truite commune qui domine avec 48kg. On trouve ensuite le saumon atlantique (stade smolt) avec 42kg, l'anguille (41kg), la truite arc-en-ciel (21kg) et la carpe herbivore (12kg). Les individus de cette dernière espèce, bien que peu présents, ont été capturés à l'âge adulte avec un poids moyen par individu de 1,4kg.

Tableau 1: Inventaire des captures dans le piège de dévalaison de Lorcé de décembre 2013 à août 2015 avec le nombre d'individus (Nb), la biomasse (g), la taille minimum et maximum en mm de chaque espèce et le pourcentage d'individus morts. AEC : arc-en-ciel

Espèces		Nb	Biomass (g)	Taille min. (mm)	Taille max. (mm)	Pourcentage de mort
Nom latin	Nom vernaculaire					
Salmonidés						
<i>Salmo trutta</i>	Truite commune	295	48458	56	600	7%
<i>Salmo trutta</i>	Smolt truite de mer	169	9455	105	274	7%
<i>Thymallus thymallus</i>	Ombre commun	9	2996	82	376	67%
<i>Salmo salar</i>	Smolt de saumon atlantique*	1176	42220	96	247	10%
<i>Salmo salar</i>	Tacon de saumon atlantique*	46	1500	43	190	2%
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite AEC**	37	21394	219	689	0%
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Smolt truite AEC**	1	297	336	336	13%
<i>Salvelinus fontinalis</i>	Ombre de fontaine**	5	2487	320	373	20%
Cyprinidés						
<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile	15	1377	35	514	0%
<i>Leuciscus cephalus</i>	Chevaine	13	9515	51	480	92%
<i>Leuciscus leuciscus</i>	Vandoise	33	3965	43	301	76%
<i>Leuciscus idus</i>	Ide mélanote	2	212	195	222	0%
<i>Rutilus rutilus</i>	Gardon	14	533	67	200	86%
<i>Abramis brama</i>	Brème commune	2	403	59	318	50%
<i>Tinca tinca</i>	Tanche	1	2909	530	530	100%
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe	2	10100	232	658	0%
<i>Ctenopharyngodon idella</i>	Carpe herbivore**	8	11646	420	550	12%
<i>Gobio gobio</i>	Goujon	3	59	105	139	67%
<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Ablette spirilin	15	72	29	109	7%
<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon	2	9	58	97	0%
Autres espèces						
<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille	32	41458	210	1050	9%
<i>Lamprota planerii</i>	Lamproie de planer	17	93	110	146	41%
<i>Perca fluviatilis</i>	Perche	4	412	30	284	50%
<i>Gymnocephalus cernuus</i>	Gremille	1	32	125	125	100%
<i>Ameiurus melas</i>	Poisson chat**	1	249	252	252	0%
<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche	10	46	66	99	40%
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	Epinoche	18	34	29	63	17%
Total		1931	211931	29	1050	12%

*Espèce en cours de réintroduction

** Espèces non-indigènes

On observe qu'il existe un nombre non négligeable d'individus morts lors de leur capture dans le piège de dévalaison. Ce pourcentage peut varier fortement d'une espèce à l'autre avec un haut taux pour la grémille (N=1, 100%), la tanche (N=1, 100%), le chevaine (N=13, 92%), le gardon (N=14, 86%) ou encore l'ombre (N=9, 67%) et la vandoise (N=33, 76%).

3.2. Analyse comparée entre les données de dévalaison et les données existantes pour la partie amont

Il apparaît clairement (tableau 2) que l'espèce numériquement la plus abondante dans le piège de l'échelle à poissons pour la période de 2007 à 2013 (Benitez et al, 2015), la truite commune, l'est aussi dans le piège de dévalaison du barrage de Lorcé. La truite commune est également une espèce dominante en aval de la cascade de Coo, campagne de pêches électriques réalisées dans le cadre du projet FEP Amblève (Benitez et al., 2013). Mais ce n'est pas le cas d'autres espèces comme le barbeau, le chevaine, l'ablette spirin, le vairon ou encore le goujon. Des cas de captures d'espèces (la lamproie de Planer et l'anguille) présentes dans le piège de dévalaison mais très peu présentes ou absentes du piège de montaison du barrage de Lorcé s'expliquent peut être par le système de capture mieux adapté. Ces espèces sont également présentes dans le tronçon amont de Lorcé. Certaines espèces comme l'omble de fontaine et le poisson chat ne sont présents que dans le piège de dévalaison. Enfin, bien que faiblement présent dans l'échelle à poissons et abondant en amont, aucun chabot n'a été capturé dans le piège de dévalaison.

Tableau 2 : Comparaison des captures de poissons entre le piège de dévalaison de Lorcé de décembre 2013 à août 2015 et des captures de poissons (données Benitez et al., 2015) dans l'échelle à poissons de Lorcé d'octobre 2007 à décembre 2013 ainsi que des données de capture lors de pêches électrique réalisées en aval de la cascade de Coo (Benitez et al., 2013)

Espèces		Exutoire (2013*-2015*)		Echelle à poissons (2007*-2013)		Cascade de Coo (2011)	
Nom latin	Nom vernaculaire	Nb	g	Nb	g	Nb	g
Salmonidés							
<i>Salmo trutta</i>	Truite commune	295	48458	566	104709	149	17960
<i>Salmo trutta</i>	Smolt truite de mer	169	9455	-	-	-	-
<i>Thymallus thymallus</i>	Ombre	9	2996	78	15283	110	10533
<i>Salmo salar</i>	Smolt de saumon atlantique*	1176	42220	-	-	-	-
<i>Salmo salar</i>	Tacon de saumon atlantique*	46	1500	33	1500	6	83
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite AEC**	37	21394	82	37010	-	-
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Smolt truite AEC**	1	297	-	-	-	-
<i>Salvelinus fontinalis</i>	Ombles de fontaine**	5	2487	-	-	-	-
Cyprinidés							
<i>Barbus barbus</i>	Barbeau	15	1377	132	190885	73	93743
<i>Leuciscus cephalus</i>	Chevaine	13	9515	78	28729	203	28490
<i>Chondrostoma nasus</i>	Hotu	-	-	4	3309	-	-
<i>Leuciscus leuciscus</i>	Vandoise	33	3965	52	849	745	24284
<i>Leuciscus idus</i>	Ide mélanote	2	212	-	-	-	-
<i>Rutilus rutilus</i>	Gardon	14	533	6	184	313	9044
<i>Abramis brama</i>	Brème	2	403	2	1534	-	-
<i>Blicca bjoerkna</i>	Brème bordelière	-	-	1	58	-	-
<i>Tinca tinca</i>	Tanche	1	2909	-	-	-	-
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe	2	10100	2	7978	-	-
<i>Ctenopharyngodon idella</i>	Carpe herbivore**	8	11646	-	-	-	-
<i>Gobio gobio</i>	Goujon	3	59	211	3844	210	3146
<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette commune	-	-	2	15	-	-
<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Ablette spiralin	15	72	654	4588	217	1972
<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon	2	9	1790	4601	1157	3276
Autres espèces							
<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille	32	41458	1	143	4	3123
<i>Lamptera planerii</i>	Lamproie de planer	17	93	-	-	16	57
<i>Perca fluviatilis</i>	Perche	4	412	2	226	26	3695
<i>Gymnocephalus cernuus</i>	Gremille	1	32	-	-	1	31
<i>Esox lucius</i>	Brochet	-	-	1	2006	5	1755
<i>Ameiurus melas</i>	Poisson chat**	1	249	-	-	-	-
<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche	10	46	12	43	683	3444
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	Epinoche	18	34	3	4	92	122
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	Chabot	-	-	8	61	471	2275
Total		1931	211931	3720	407559	4481	207033

*Espèce en cours de réintroduction

** Espèces non-indigènes

3.3. Variations annuelles des captures

Tableau 3 : Evolution temporelle des captures dans le piège de dévalaison de Lorcé de décembre 2013 à août 2015

Espèces	2013*		2014		2015*	
	Nb	g	Nb	g	Nb	g
Truite commune	1	3	218	36028	76	12427
Smolt truite de mer	0	0	77	3716	92	5739
Ombre	0	0	4	1333	5	1663
Smolt de saumon atlantique	0	0	908	35392	215	6828
Tacon de saumon atlantique	3	155	40	1309	3	36
Truite AEC	0	0	15	14223	23	7468
Omble de fontaine	0	0	2	1064	3	1423
Barbeau	0	0	0	0	15	1377
Chevaine	0	0	11	9253	2	262
Vandoise	0	0	19	2228	14	1737
Ide mélanote	0	0	2	212	0	0
Gardon	0	0	8	367	6	166
Brème	0	0	1	3	1	400
Tanche	0	0	0	0	1	2909
Carpe	0	0	2	10100	0	0
Carpe herbivore	0	0	6	9096	2	2550
Goujon	0	0	2	27	1	32
Ablette spirilin	0	0	7	68	8	12
Vairon	0	0	1	7	1	2
Anguille	0	0	21	35764	11	5694
Lamproie de planer	0	0	12	70	5	23
Perche	0	0	2	6	2	406
Gremille	0	0	1	32	0	0
Poisson chat	0	0	1	249	0	0
Loche franche	0	0	1	6	9	40
Epinoche	0	0	16	32	2	2
Total	4	158	1377	160585	497	51196

*Années incomplètes

Seule l'année 2014 a été contrôlée en continu. Il faut donc prendre en compte que 2013 n'a été contrôlé qu'un mois (décembre) et 2015 durant 7 mois (février à août). Cependant une analyse interannuelle des captures permet de mettre en évidence une variation des captures à l'échelle globale mais également à l'échelle de l'individu (tableau 3). On observe une diminution du nombre de poissons capturés entre 2014 et 2015 (diminution de plus de 50%). Cette étude met en évidence la présence de variations du nombre de capture, à l'échelle multi-annuelle. Le saumon (sous forme de smolt dévalant) et la truite commune sont les deux

exemples les plus nets avec une diminution des captures de plus de 60% entre 2014 et 2015. Des espèces comme la truite arc-en-ciel ou le smolt de truite de mer sont plus abondantes en 2015. Enfin, la seconde année de monitoring a permis de capturer d'autres espèces non présentes en 2014, le barbeau et la tanche.

3.4. Analyses des classes de taille des poissons capturés

Le monitoring du piège de dévalaison de Lorcé, démontre qu'il est utilisé par une grande variété de classes de taille (médiane = 150mm, min = 46mm, max = 1050mm) (figure 9). On constate que des poissons de petites tailles (entre 50 et 100mm), petites espèces (exemple : épinouche, vairon, loche, ablette spirilin) ou juvéniles (truite commune, chevaine et barbeau) sont capables d'utiliser l'exutoire de dévalaison mais également des individus de grandes tailles (plus de 1000mm) tels que des anguilles argentées en phase de migration vers l'aval.

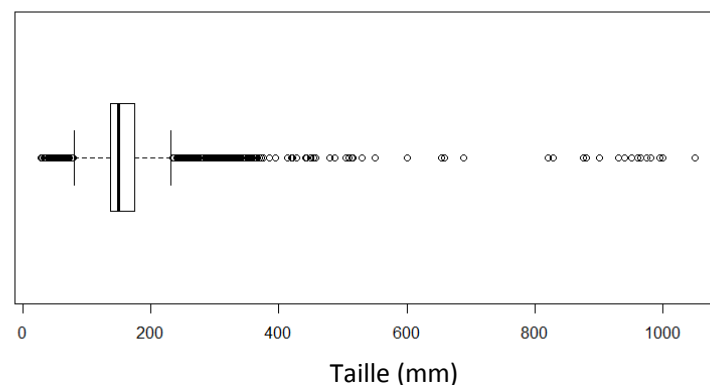


Figure 9 : Boîte de dispersion de la taille de tous les individus, toutes espèces confondues, capturés dans le piège de dévalaison de Lorcé de décembre 2013 à août 2015. Les limites du rectangle représentent les quantiles 25 et 75, la ligne noire représente le quantile 50, les limites des lignes en pointillées représentent les quantiles 5 et 95 et les ronds représentent les valeurs extrêmes

3.4.1. Analyse à l'échelle de l'espèce

a. *Les salmonidés*

Dominants d'un point de vue nombre mais également d'un point de vue biomasse, les salmonidés sont présents dans le piège à la fois sous forme juvéniles mais également sous forme adulte (figure 10). La taille des **truites communes** capturées dans le piège de dévalaison

varie de 56 à 600mm. Un pourcentage de 40% de ces individus correspondent à des individus immatures de moins de 2 ans (<15cm). Les individus adultes (>150mm, 60% au total) présentent une dominance des classes de taille comprises entre 250 et 350mm (73% des adultes). Signalons que ces classes de taille correspondent aussi à celles des truites de repeuplement. De plus dans le piège de dévalaison, 40% des truites adultes capturées possèdent des caractéristiques morphologiques de truites de repeuplement (nageoires pectorales atrophiées et nageoire dorsale déformée). En effet, selon les données de déversement fournies par le SPW pour la durée du contrôle du piège de dévalaison (2014-2015) (Service de la Pêche (DNF - DGO3 - SPW), septembre 2015), au total, 2267kg de truites adultes (entre 200 et 350mm) ont été déversés dans l'Amblève sur le tronçon de 17km entre Lorcé et Coe dont 326kg à Lorcé. De plus 284kg de truites ont été déversés dans la Lienne, dont la confluence avec l'Amblève se situe à 3,7km en amont du barrage de Lorcé. Concernant la gamme de taille **des smolts de truite**, écotype migrateur de la truite commune, elle correspond aux données existantes en Wallonie (Ovidio et al., 2015), c'est-à-dire une gamme de taille comprise entre 100 et 250mm et une valeur médiane de 162mm. Chez l'**ombre**, la taille des individus capturés varie de 82mm à 376mm. Les classes de taille 250-300mm (poissons de deux à trois étés) sont les plus représentées et elles représentent certainement des individus en post-reproduction souvent morts ou moribonds lors de leur capture. Le **saumon atlantique** est présent à la fois sous sa forme dévalante avec une taille médiane de 147mm (90% des individus ont une taille de 133 à 167mm) et sous sa forme juvénile (tacon) avec une taille médiane de 152mm (90% des individus ont une taille de 57 à 163mm). Les individus capturés proviennent tous de repeuplements en tacons effectués juin (<50mm) par la Région Wallonne dans le cadre de la réintroduction du saumon (Ovidio et al., 2015) et qui dévalent vers la mer le printemps suivant. La **truite arc-en-ciel**, espèce non-indigène, est uniquement capturée sous forme adulte avec une taille médiane de 330mm. Certains individus sont de taille > 680mm. Enfin, les **ombles de fontaines** (n=5) également une espèce non-indigène, sont présents uniquement à taille adulte >300mm.

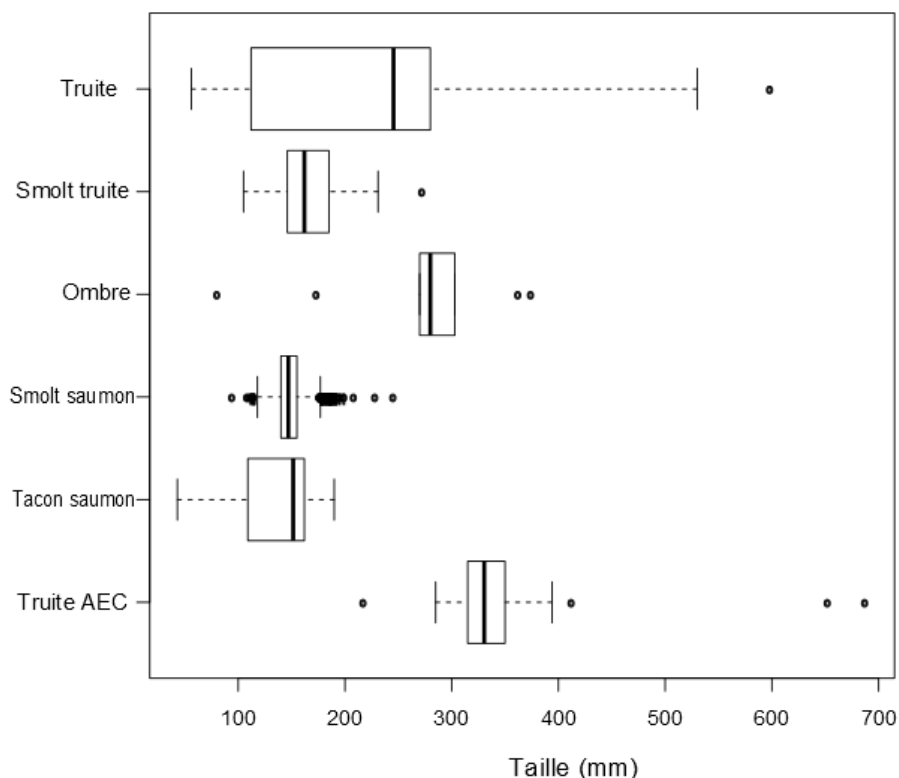


Figure 10 : Boite de dispersion de la taille des salmonidés capturés dans le piège de dévalaison de Lorcé de décembre 2013 à août 2015. Les limites du rectangle représentent les quantiles 25 et 75, la ligne noire représente le quantile 50, les limites des lignes en pointillées représentent les quantiles 5 et 95 et les ronds représentent les valeurs extrêmes

b. Cyprinidés

Avec 15 individus au total, le **barbeau fluviatile** présente la particularité d’avoir été capturé à presque 100% sous forme de juvénile de l’année (0+) avec une taille médiane de 42mm. Seul un individu adulte a utilisé l’exutoire de dévalaison de Lorcé et mesure 514mm (figure 11). La situation est inverse pour le **chevaine** avec la capture uniquement d’individus adultes (médiane=380mm ; âgés de 3 à 10 ans) mis à part un juvénile de l’année (0+) de 51mm. Sur les 33 **vandoises** capturées dans le piège, 11 individus (33%) sont des juvéniles (<160mm) et les individus adultes possèdent une taille médiane de 216mm. Cette gamme de taille représente des individus adultes âgés de 2 à 5 ans. Pour le **gardon**, 5 juvéniles (<100mm) (36% des captures) ont été capturés contre 9 individus adultes avec une taille médiane de 125m (individus de 1 à 2ans). La totalité des **ablettes spirilin** étaient des individus adultes avec une taille médiane de 65mm. Les autres espèces de cyprinidés capturés sont principalement des

individus adultes avec un effectif faible comme la **carpe herbivore** (n=8 ; médiane=464mm), le **goujon** (n=3 ; 105-105-132mm), la **carpe** (n=2 ; 232 et 658mm), l'**ide** (n=2 ; 195 et 222mm), le **vairon** (n=2 ; 58 et 97mm) et la **tanche** (n=1 ; 530mm). Pour la **brème commune** nous avons capturé deux individus, 1 juvénile (=59mm) et un adulte (=318mm).

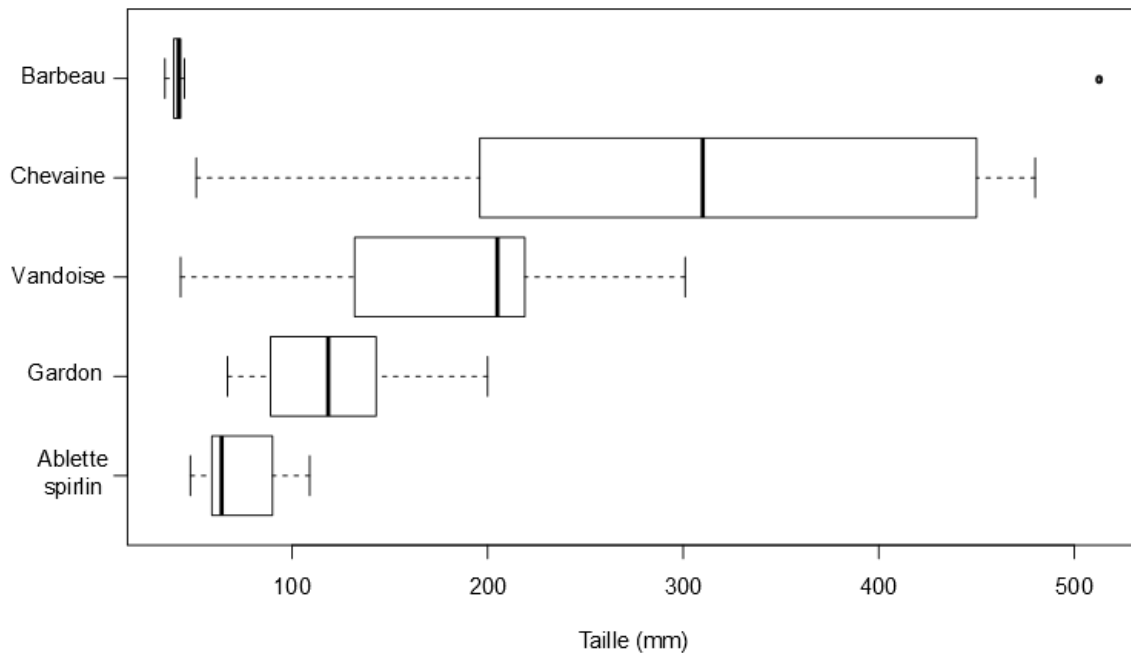


Figure 11 : Boîte de dispersion de la taille des cyprinidés capturés dans le piège de dévalaison de Lorcé de décembre 2013 à août 2015. Les limites du rectangle représentent les quantiles 25 et 75, la ligne noire représente le quantile 50, les limites des lignes en pointillées représentent les quantiles 5 et 95 et les ronds représentent les valeurs extrêmes

c. Autres espèces

Parmi les autres espèces présentes (figure 12), l'**anguille** est capturée à deux stades différents de son cycle de vie. A son stade anguille jaune, stade de maturation en rivière, 8 individus soit 25% des anguilles, ont été capturés dans le piège avec une taille médiane de 319mm. Les autres individus ont été capturés au stade argenté, stade de migration de reproduction de dévalaison, avec une taille médiane de 960mm. Nous avons également capturé des **lamproies de Planer** adultes, avec une taille médiane de 131mm. La loche est représentée par 8 individus avec une taille moyenne de 87mm. N=4 individus de **perches** ont été recensés, dont 3 juvéniles

(30-67-68mm) et un adulte (284mm). Enfin les deux dernières espèces sont le poisson chat (n=1 ; 252mm) et la grémille (n=1 ; 125mm).

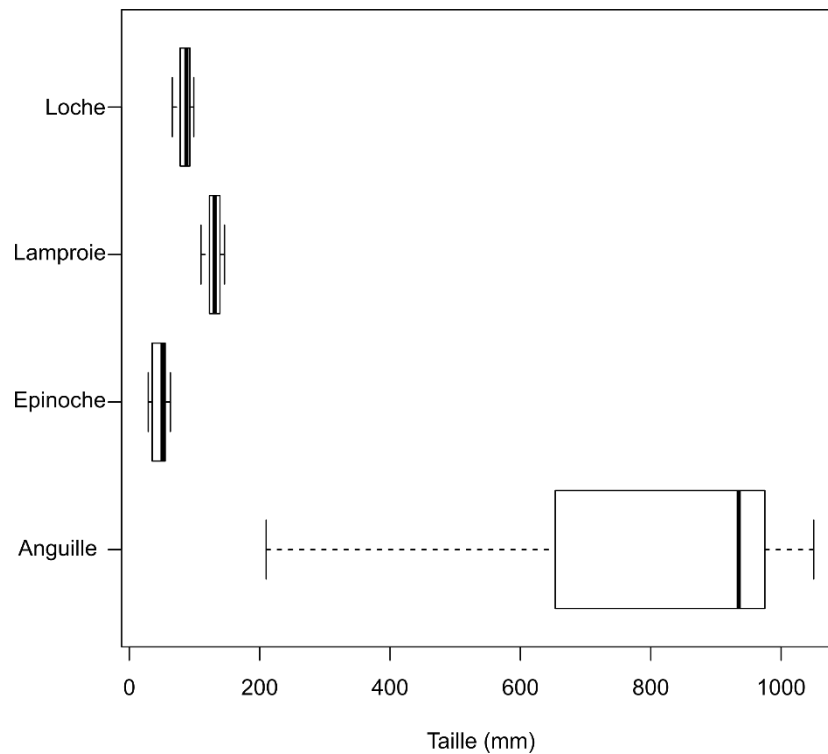


Figure 12 : Boite de dispersion de la taille des autres espèces capturées dans le piège de dévalaison de Lorcé de décembre 2013 à août 2015. Les limites du rectangle représentent les quantiles 25 et 75, la ligne noire représente le quantile 50, les limites des lignes en pointillées représentent les quantiles 5 et 95 et les ronds représentent les valeurs extrêmes

3.5. Périodicité de capture

Lorsque nous analysons la répartition saisonnière de toutes les captures de décembre 2013 à août 2015, il apparait que l'exutoire est utilisé à toutes les saisons avec une intensité de capture plus importante aux mois d'avril et de mai (figure 13). Bien entendu ce pic de capture (87%) durant le printemps est principalement associé à la capture de nombreux individus de salmonidés en phase de dévalaison vers la mer (smolt de saumon atlantique et de truite de mer).

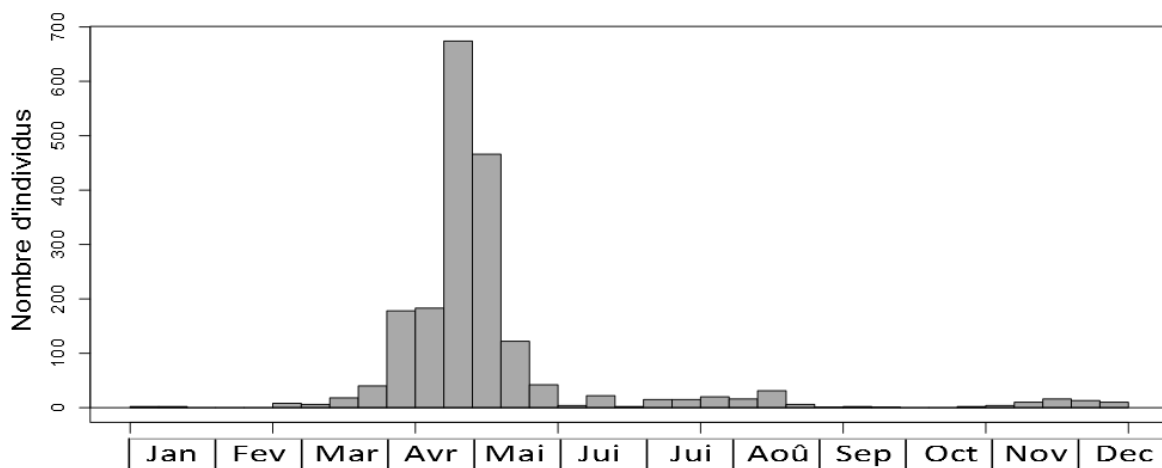


Figure 13 : Répartition saisonnières des captures (toutes espèces confondues) dans le piège de dévalaison de Lorcé de décembre 2013 à août 2015

3.5.1. Cas des salmonidés

Présentes dans le piège de dévalaison de Lorcé à toutes les saisons de l'année (figure 14), les déplacements de truite commune vers l'aval sont marqués par un pic de présence printanier (84% des captures) et deux autres épisodes de déplacements : un en été (7% des captures) et un en automne (7% des captures). La capture d'individus adultes au printemps (en dehors de la période de reproduction) est un phénomène connu en montaison observé à la fois à Lorcé et sur la Berwinne à Mortroux et Berneau (Ovidio et al., 2007 ; Benitez et al., 2015) et peut s'expliquer en partie par les repeuplements d'individus pour la pêche de loisir effectués en amont de Lorcé. Lorsque l'on compare la périodicité de capture entre les individus juvéniles et adultes de la truite commune, on n'observe pas de différence significative (Mann-Whitney : $p=0,39$). L'ombre, présent en faible nombre, n'a été capturé dans le piège qu'au printemps de mars à mai (100%). On a constaté la capture d'un juvénile mi-juin après la période de reproduction (mars-avril). Cet individu peut être considéré comme un juvénile de l'année en phase de dispersion. L'écotype migrateur de la truite commune (smolt de truite de mer) a été capturé dans le piège de dévalaison de mi-mars à mi-juin (dont 78% en mai), période correspondant à sa fenêtre écologique de migration pour atteindre la mer afin d'accomplir son cycle vital. Le saumon atlantique dont la présence ne dépend que de repeuplements en juvéniles (tacons) réalisés par le SPW dans le cadre de sa réintroduction, a été capturé sous sa

forme migratrice dévalante (smolt) en plus grand nombre que le smolt de truite, également durant le printemps de mars à mai. Nous avons observé un pic de présence la dernière quinzaine d'avril avec près de 56% des captures. Notons que la capture de saumon sous forme tacon n'a été observé qu'en automne lors de phénomènes de dispersion à la recherche d'habitats fonctionnels tels que habitats de refuge ou d'alimentation. Enfin la truite arc-en-ciel, espèce non-indigène, est présente en plus grand nombre (84%) dans le piège au printemps. De la même manière qu'une grande proportion des truites adultes, ces individus réalisent certainement des déplacements qui peuvent être qualifiés de dispersion suite à des repeuplements par les différentes sociétés de pêche.

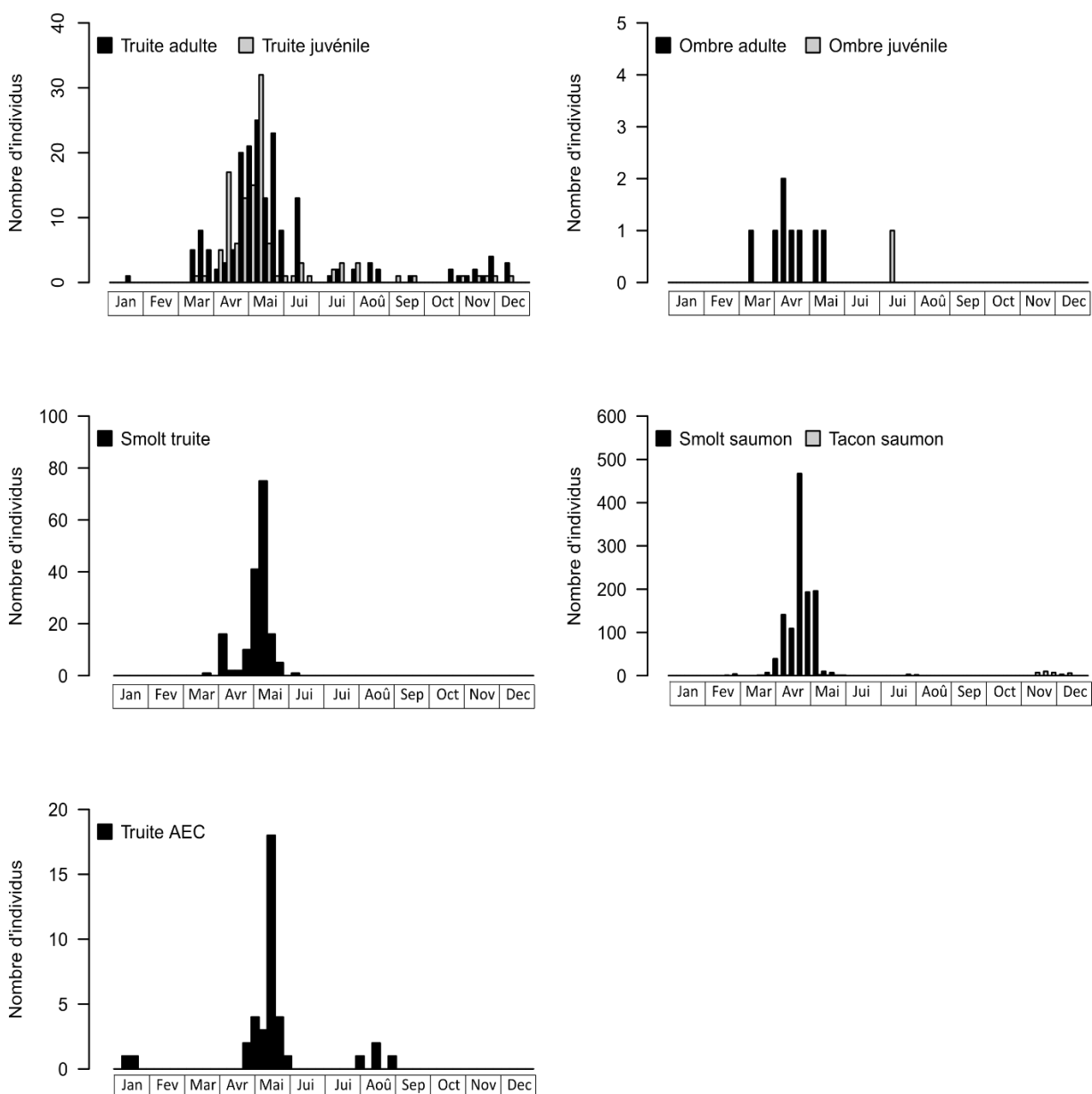


Figure 14 : Répartition saisonnière des captures de salmonidés dans le piège de dévalaison de Lorcé de décembre 2013 à août 2015

3.5.2. Cyprinidés

Aucune capture de barbeau n'a été recensée jusqu'à l'été 2015 malgré son abondance dans ce tronçon de rivière (figure 15). Lors du mois d'août 2015, 14 juvéniles de barbeau ont été capturés la même semaine, ainsi qu'un individu adulte. Le chevaine est uniquement capturé en dévalaison durant le printemps de mars à mai. L'unique individu sous forme juvénile a été capturé en août. La vandoise sous forme juvénile (45%) et adulte (55%) est présente dans le piège de début avril à mi-juin et 5 juvéniles ont été capturés en été (mi-juillet à mi-août) ainsi qu'un individu adulte. Mis à part un adulte capturé fin février, les gardons adultes et juvéniles recensés dans le piège, l'ont été durant le printemps d'avril à mai. Durant le printemps, plus particulièrement en avril et mai, 40% des ablettes spiralin ont été capturées puis 60% en été (juillet à début août).

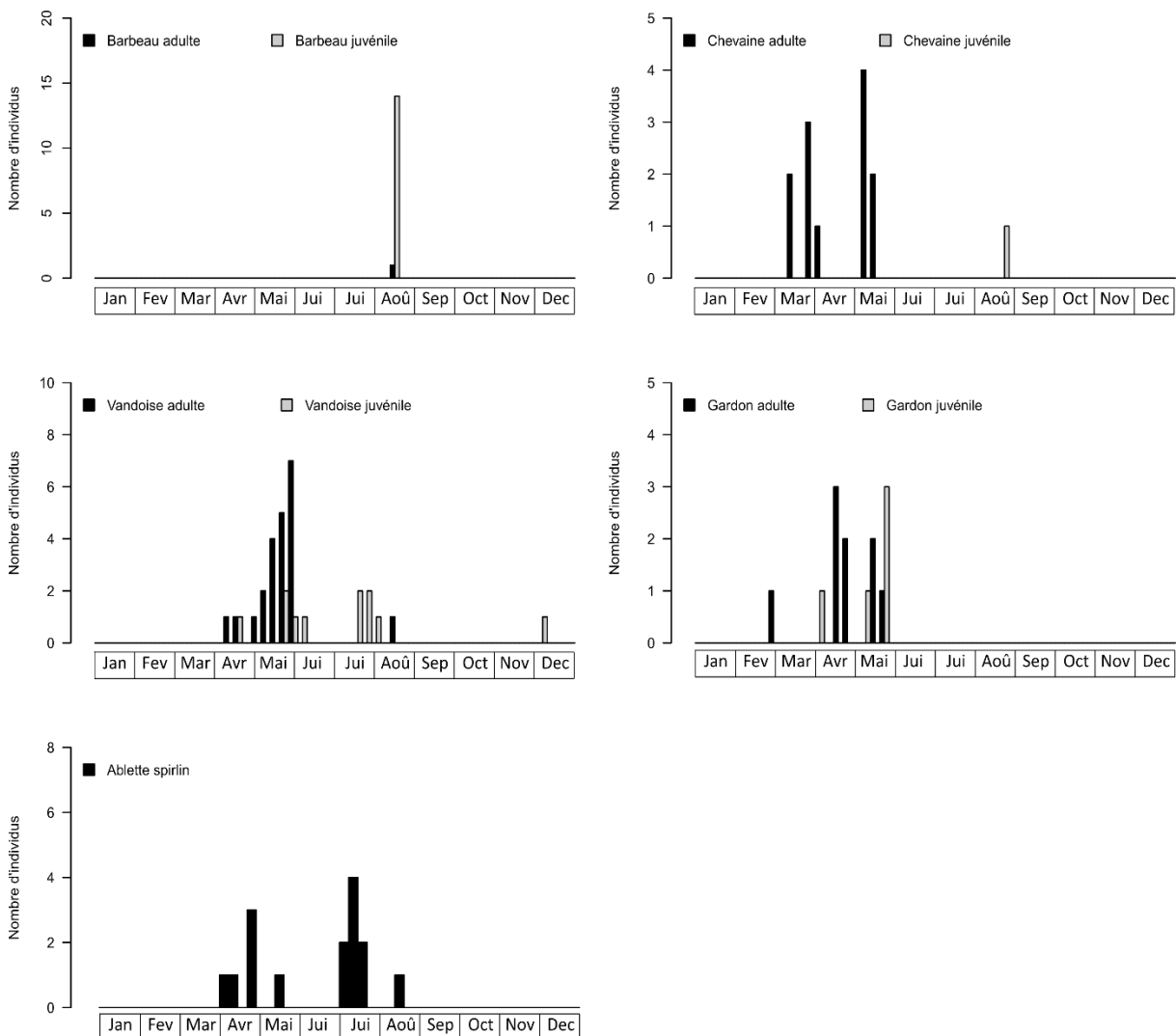


Figure 15 : Répartition saisonnière des captures de cyprinidés dans le piège de dévalaison de Lorcé de décembre 2013 à août 2015

3.5.3. Autres espèces

L'anguille européenne est présente dans le piège de dévalaison à deux stades de vie différents (figure 16). On a observé la capture d'anguille argentée (phase migratrice vers la mer) de juin à septembre, mis à part un individu capturé en janvier. L'anguille jaune quant à elle, était présente dans le piège en été (juillet et août) sauf un individu capturé en mai. La lamproie de Planer et la loche franche ont été toutes les deux capturées uniquement de mars à fin mai. Enfin l'épinoche présente deux pics de capture, un au printemps d'avril à mai et un en été de fin juin à mi-août.

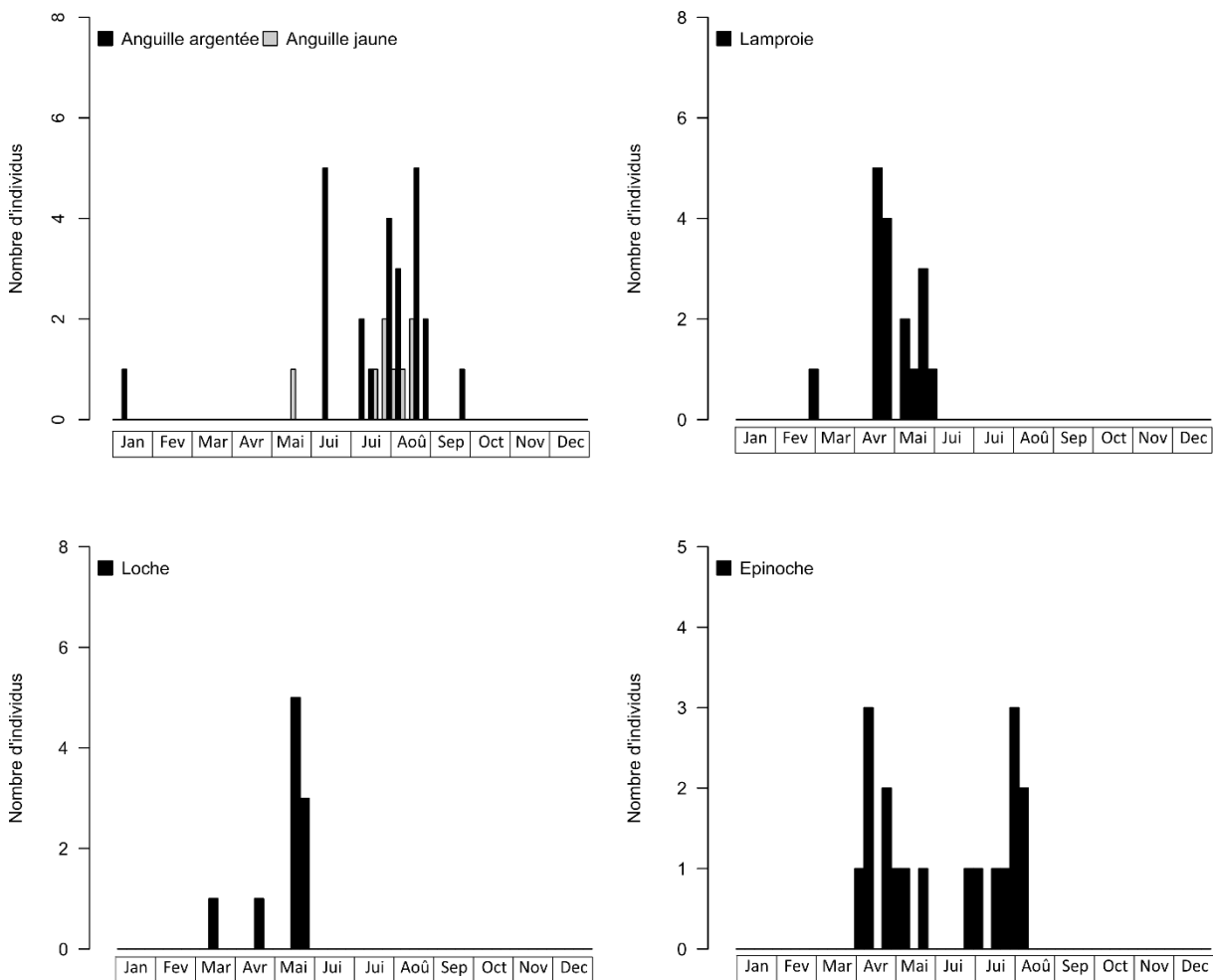


Figure 16 : Répartition saisonnière des captures des autres espèces dans le piège de dévalaison de Lorcé de décembre 2013 à août 2015

3.6. Influence des variables environnementales

Les levelplots (= graphiques de densité de capture) présentés ci-dessous permettent, à l'aide d'un gradient de couleur, de mettre en évidence la densité d'individus capturés en fonction

des catégories de température et de débit de la rivière pour les espèces présentant un minimum de 8 individus. A chaque individu capturé, est associé la température maximale (T°) et le débit moyen (Q) du jour précédent sa capture afin d'étudier le rôle des facteurs environnementaux sur les taux de capture de l'exutoire de dévalaison de Lorcé et donc sur les déplacements de poissons observés. Les températures ont été catégorisées par degré Celsius alors que les débits ont été catégorisés en 5 classes (Water flow : WF) numérotées de 1 à 5 en fonction des quantiles du débit de l'Amblève sur une période de 10ans (Benitez et al., 2015). Les quantiles de l'Amblève ont été calculés sur les données journalières du débit de l'Amblève ($WF1 < 5,4m^3/s$; $5,4m^3/s < WF2 < 9,43m^3/s$; $9,43m^3/s < WF3 < 16,76m^3/s$; $16,7m^3/s < WF4 < 28,8m^3/s$ et $28,8m^3/s < WF5$). Le niveau WF1 signifie que le débit du jour précédent la capture est qualifié de très faible, WF2 de faible, WF3 de moyen, WF4 de fort et WF5 de très fort.

3.6.1. Salmonidés

En dévalaison, les truites communes adultes ne semblent pas présenter de patron de migration précis (figure 17). En effet, les individus sont capturés dans une gamme de température étendue (de $5^{\circ}C$ à $20^{\circ}C$) et à tous les niveaux de débit. On observe néanmoins une présence plus importante, lorsque la température est comprise entre $11^{\circ}C$ et $14^{\circ}C$ et que le débit est situé entre WF1 et WF2 (60% des captures). En ce qui concerne les juvéniles de truites, la stimulation à se déplacer vers l'aval se déroule dans des conditions de débit et de température identiques aux individus adultes (entre 11 et $14^{\circ}C$ à des débits faibles, WF1 à WF2). Les deux stades de vie du saumon atlantique présentent des stimulations environnementales différentes (Kolmogorov-Smirnov, $p < 0,001$). Avec plus de 88% des smolts de saumon capturés entre $10^{\circ}C$ et $14^{\circ}C$ à des débits faibles (WF1 à WF2), les conditions environnementales correspondent aux données existantes de dévalaison des smolts de saumon dans l'Ourthe à Méry (Ovidio et al., 2015). Moins connus d'un point de vue comportement de déplacement, les tacons se dispersent majoritairement (70%) lorsque la température se situe entre $6^{\circ}C$ et $9^{\circ}C$ et que le débit est entre WF2 et WF3. Les smolts de truite migrent dans une fenêtre écologique ciblée dans le temps, semblable au smolt de saumon. On observe en effet qu'une grande proportion (72%) des individus de smolts truite ont été capturés dans les mêmes conditions de température que les smolts saumon c'est-à-

dire entre 10°C et 14°C. Par contre les smolts de truite migrent vers l'aval lors de débits plus importants que le saumon. Les ombres ont été capturés à des températures situées entre 7°C et 15°C et des niveaux de débit de WF1 à WF5. Enfin les truites arc-en-ciel sont présentes dans une gamme de température située entre 10 et 15°C, principalement lors de faibles débits (WF1 à WF2).

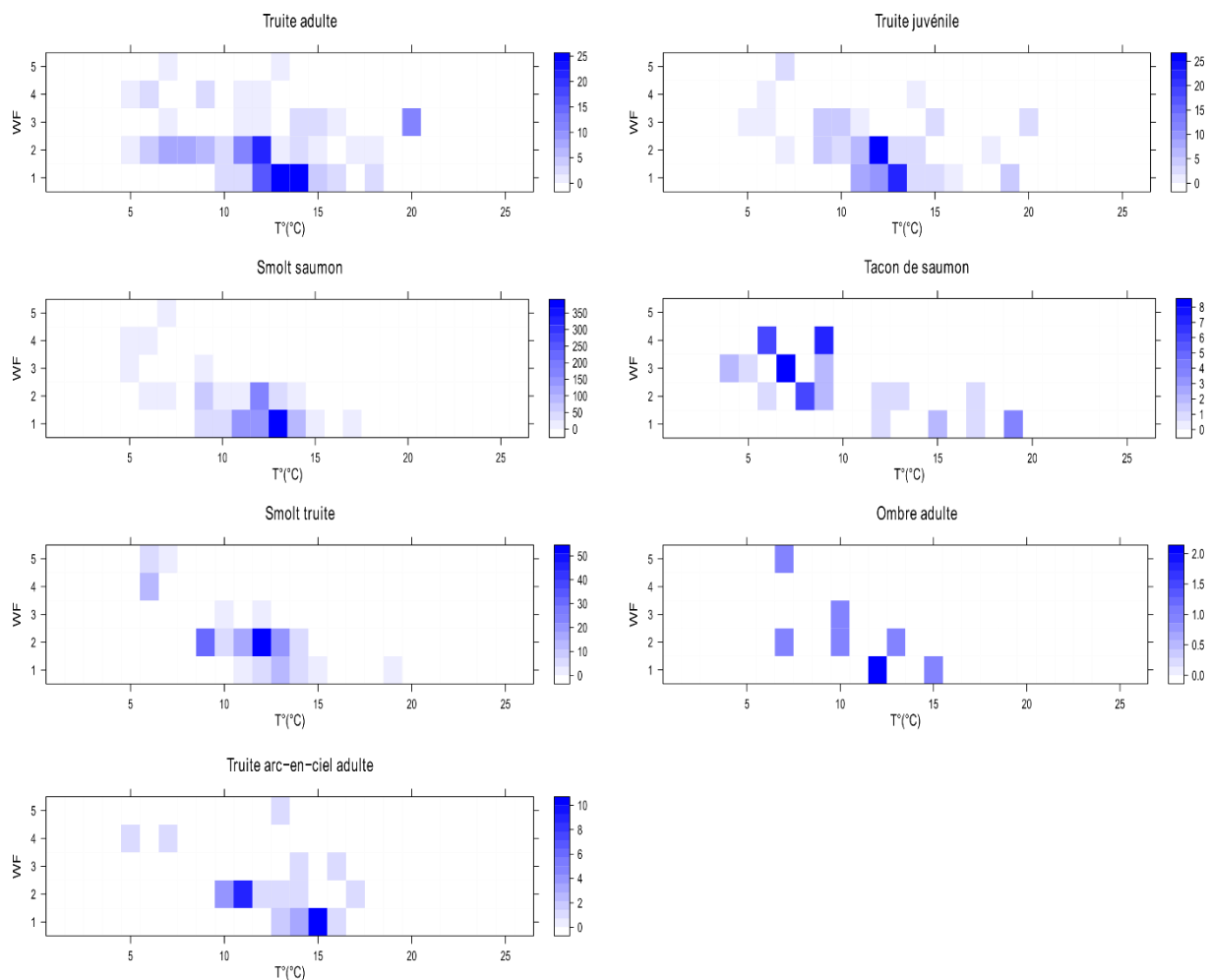


Figure 17 : Levelplots des densités de capture (en nombre d'individus) des différentes espèces de salmonidés capturées dans le piège de dévalaison selon la température (par °C) et le débit (1 : <5,4 m³/s ; 2 : 5,4 - 9,4 m³/s ; 3 : 9,4 - 16,8m³/s ; 4 : 16,8 - 28,8m³ /s ; 5 : >28,8 m³/s)

3.6.2. Cyprinidés

Principalement présents sous leur forme juvénile (mis à part un individu adulte), les barbeaux ont été capturés à des températures comprises entre 20 et 22°C et à débit très faible (figure 18). Le chevaine, au stade adulte, est présent dans le piège lorsque la température est

comprise entre 6°C et 14°C et que le débit est faible (WF1 et WF2). La vandoise, présente à la fois sous forme juvénile et sous forme adulte, montre un décalage de stimulation environnementale entre ces deux stades de maturité. Les adultes sont présents à 89% entre 11°C et 16°C alors que les juvéniles sont présents à 64% entre 17°C et 20°C. Enfin les deux dernières espèces de cyprinidés, sont le gardon au stade adulte et l'ablette spirilin avec respectivement une stimulation de déplacement vers l'aval à faible débit (WF1-WF2) lorsque la température est de 11°C à 15°C (78%) et de 11°C à 24°C (gamme plus étendue).

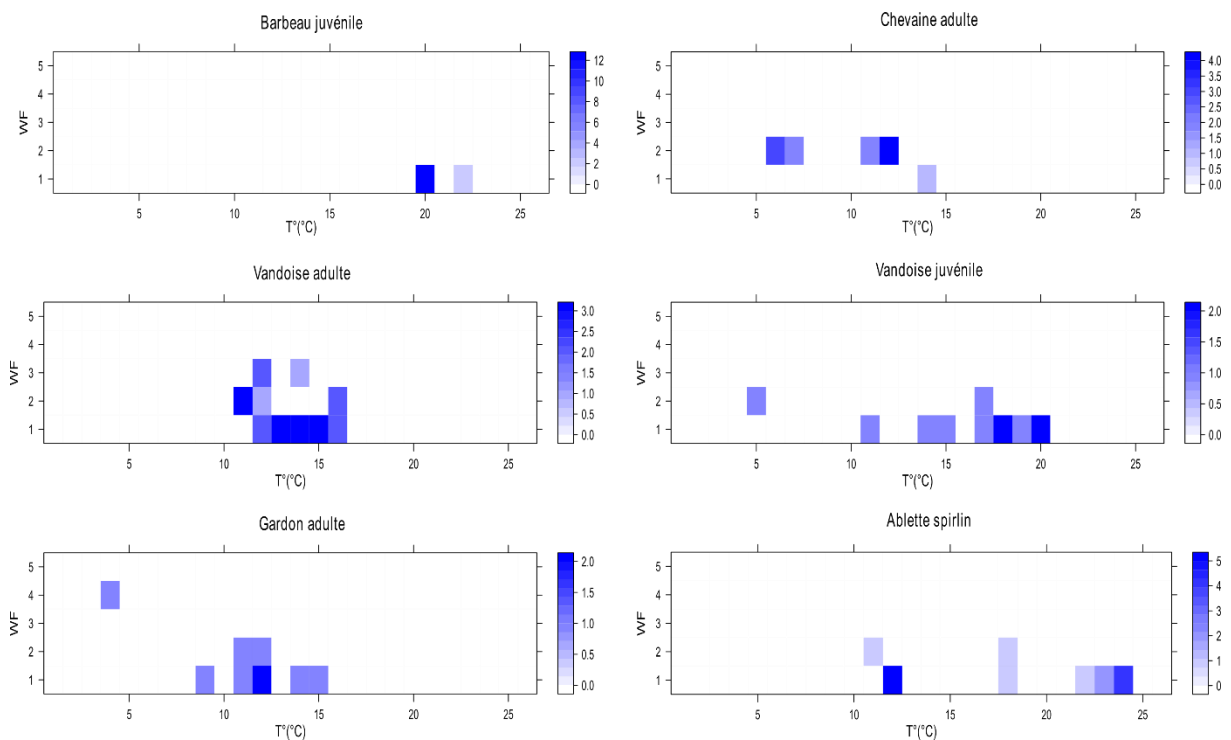


Figure 18 : Levelplots des densités de capture (en nombre d'individus) des différentes espèces de cyprinidés capturées dans le piège de dévalaison selon la température (par °C) et le débit (1 : <5,4 m³/s ; 2 : 5,4 - 9,4 m³/s ; 3 : 9,4 – 16,8m³/s ; 4 : 16,8 – 28,8m³ /s ; 5 : >28,8 m³/s)

3.6.3. Autres espèces

L'anguille a été capturée en dévalaison dans le piège de Lorcé à deux stades distincts de son cycle vital (figure 19). La phase migratrice (anguille argentée) présente une stimulation (83%) à dévaler vers la mer lorsque la température est comprise entre 13°C et 19°C et que le débit est très faible à très fort. L'anguille jaune est stimulée (87%) à réaliser des déplacements vers l'aval lorsque la température varie de 15°C à 22°C et que le débit est très faible. Les lamproies de Planer sont capturées de 5 à 16°C avec un pic d'abondance (76%) de 11°C à 14°C lorsque

le débit est faible (WF1-WF2). Présentes respectivement de 5°C à 16°C et de 11°C à 19°C, la loche et l'épinoche ont été capturées à faible débit (WF1-WF2).

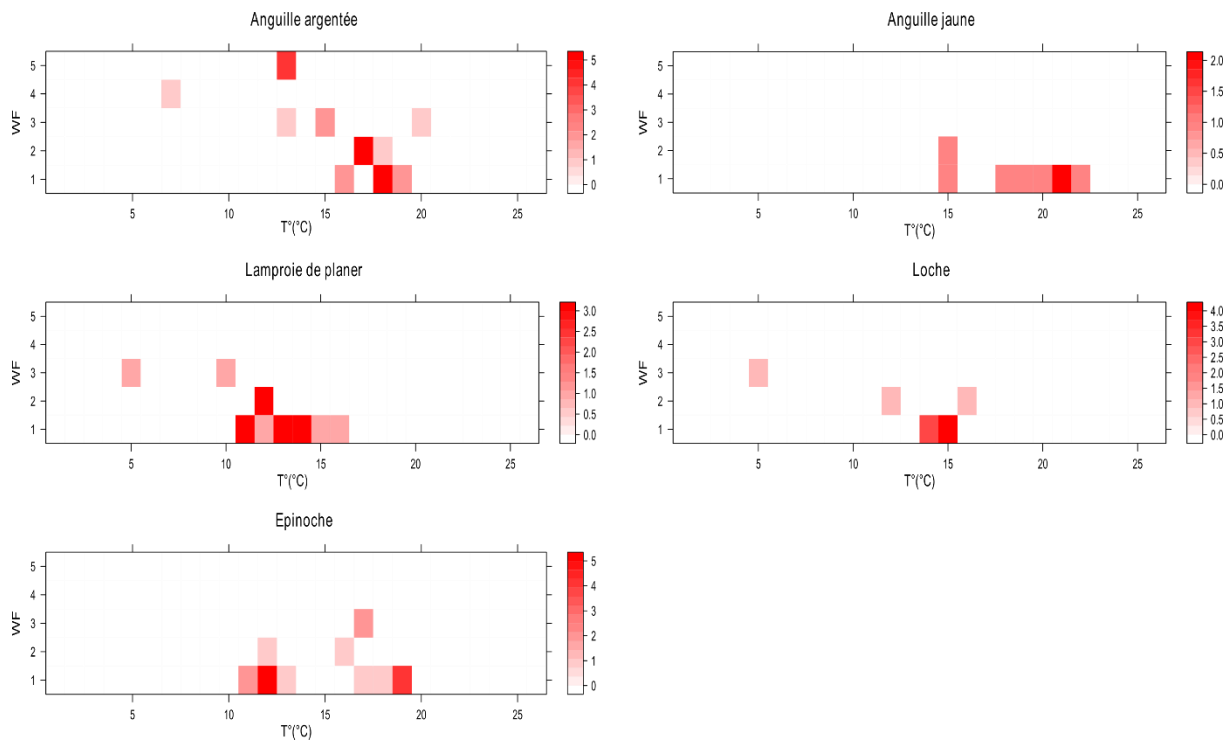


Figure 19 : Levelplots des densités de capture (en nombre d'individus) des différentes des autres espèces capturées dans le piège de dévalaison selon la température (par °C) et le débit (1 : <5,4 m³/s ; 2 : 5,4 - 9,4 m³/s; 3 : 9,4 – 16,8m³/s; 4 : 16,8 – 28,8m³ /s ; 5 : >28,8 m³/s)

3.6.4. Analyse de l'influence des variations de température et de débit

Le comportement de déplacement des poissons peut être influencé par la température de l'eau ou le débit à des seuils donnés mais il peut être également influencé par la variation des variables environnementales. Les levelplots, présentés dans la figure 20, permettent de mettre en évidence la densité de capture par espèce en fonction des variations de température et de débit. Ces variations sont mesurées entre la date du contrôle qui a permis la capture de l'individu dans le piège et la date du contrôle précédent. Ces variations sont catégorisées en 5 classes, en °C pour la température et en m³/s pour le débit :

- Classe 1 : variations inférieures à -2 (°C et m³/s)
- Classe 2 : variations comprises entre -2<X<-1 (°C et m³/s)
- Classe 3 : variations comprises entre -1<X<+1 (°C et m³/s)
- Classe 4 : variations comprises entre +1<X<+2 (°C et m³/s)
- Classe 5 : variations supérieures à +2 (°C et m³/s)

Une grande majorité des salmonidés (truite adulte et juvénile ; ombre adulte et smolt saumon) ne montre pas d'influence de capture suite aux variations de température et de débit (figure 20). En effet le pic de présence pour ces espèces se situe en classe 3 pour les deux variables environnementales. En revanche, les smolts truites (contrairement aux smolts saumon), sont capturés suite à une augmentation de débit (classe 5) et une légère diminution de la température (classe 2). Le tacon de saumon majoritairement capturé en automne développe un comportement à se déplacer vers l'aval suite à des pics de débit en phase de diminution, pic de présence en classe 1 de débit. Les truites arc-en-ciel dévalent lors d'augmentations de la température de la rivière, avec peu de variations de débit (pic de présence en classe 5 de température et classe 3 de débit). De la même manière que les salmonidés, les cyprinidés présentent peu d'influence des variations de débit et de température (vandoise juvénile et adulte ; gardon adulte et ablette spirilin) mis à part le barbeau juvénile (pic en classe 4 de température) et le chevaine adulte (pic de capture en classe 5 de débit et classes 1 et 2 de température). Pour le chevaine, couplé à l'information du nombre d'individus mort (>90%), ces données corroborent à la présence d'individus en dévalaison passive (mort ou mauvais état sanitaire avant de rentrer dans l'exutoire). Pour les autres espèces notons simplement la différence d'influence entre l'anguille argentée, celle-ci profite de grosses variations de débit (augmentation et diminution), contrairement à l'anguille jaune qui semble dévaler sans influence de variation de ses deux variables.

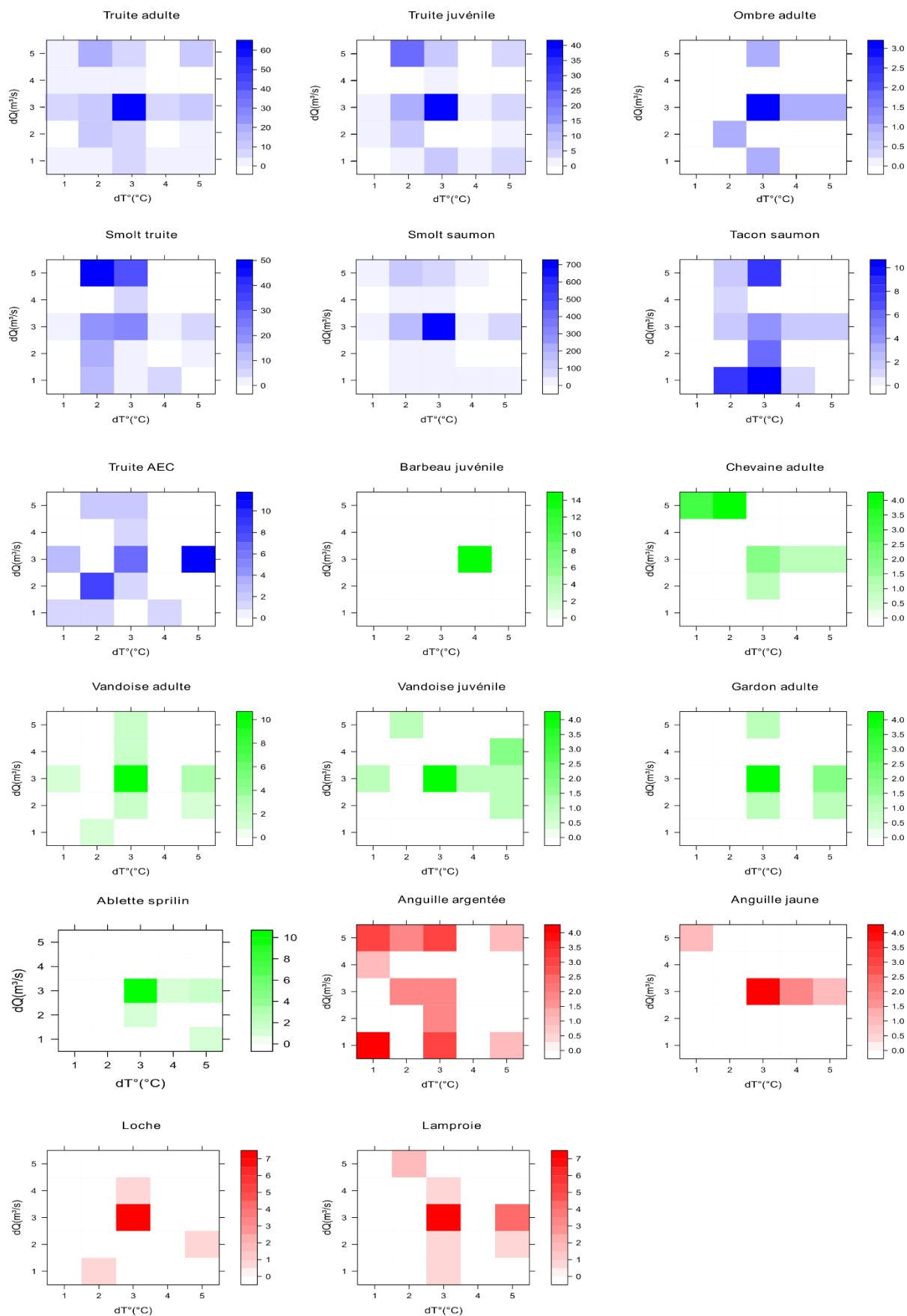


Figure 20 : Levelplots des densités de capture (en nombre d'individus) de toutes les espèces capturées dans le piège de dévalaison (min. 8 individus) selon la variation de température, dT (en $^{\circ}C$) (1 : $<-2^{\circ}C$; 2 : $-2 - -1^{\circ}C$; 3 : $-1 - 1^{\circ}C$; 4 : $1 - 2^{\circ}C$; 5 : $>2^{\circ}C$) et la variation de débit, dQ (1 : $<-2m^3/s$; 2 : $-2 - -1 m^3/s$; 3 : $-1 - 1m^3/s$; 4 : $1-2m^3 /s$; 5 : $>2m^3/s$)

4. Discussion

Cette action s'intègre dans la continuité du projet FEP Amblève, et d'autres études réalisées depuis plusieurs années, par le Laboratoire de Démographie des Poissons et d'Hydroécologie (LDPH) (Ovidio et al., 2007, 2009, 2012 ; Benitez et al., 2013). Le monitoring des migrations sur le site de Lorcé a débuté en 2007 avec l'installation d'un piège de capture en montaison à la sortie d'une échelle moderne multi-spécifique. Le suivi de ce piège sur le long terme a permis de mettre en évidence l'existence d'une grande variabilité inter-annuelle dans les effectifs de poissons capturés et dans la périodicité des patrons de mobilité (Benitez et al., 2015). Le suivi multi-annuel permet de déterminer avec plus de précision la périodicité de ces mouvements de montaison, ainsi que les facteurs qui peuvent les initier ou les inhiber. Suite à l'installation en 2012 d'un exutoire de dévalaison sur ce même barrage, dans une configuration test, le barrage est théoriquement franchissable dans les deux sens quelles que soient les conditions de débit. Cet exutoire a déjà fait l'objet d'une étude d'attractivité (Benitez et al., 2013) et a été complétée par une étude plus complète (cf. point VI) mais seulement pour deux espèces migratrices. Afin de connaître l'efficacité réelle et de connaître l'utilisation de l'exutoire d'un point de vue multi-spécifique, un piège de capture à la dévalaison a été installé fin 2013 au début de ce projet. Ce monitoring continu permet également d'obtenir une base d'informations sur la diversité d'espèces qui empruntent l'exutoire, ainsi que les périodes de déplacements, afin d'améliorer la performance du dispositif dans les prochaines années. En effet, les connaissances sur la dévalaison des poissons portent essentiellement sur le smolt de saumon atlantique, durant leur dévalaison vers la mer ou sur l'anguille argentée (Croze et al., 1999; Travade et al., 1999; Roscoe & Hinch 2010) bien que de nombreux déplacements vers l'aval existent pour des espèces holobiotiques potamodromes.

La richesse spécifique de l'Amblève dans le tronçon amont est connue grâce aux campagnes de pêches électriques menées par le LDPH et les gestionnaires des cours d'eau depuis de nombreuses années, notamment en amont au niveau de la cascade de Coo (Ovidio & Philippart 2007; Philippart et al., 2011, Benitez et al., 2013). On observe une diversité importante d'espèces au sein de l'Amblève, avec la présence de salmonidés (truite commune, ombre), de cyprinidés rhéophiles (barbeau, chevaine, vandoise, hotu), d'une espèce d'accompagnement (gardon), de prédateurs (perche, anguille, brochet), ainsi que d'espèces

de petites tailles présentes dans les eaux de bonne qualité (lamproie de Planer, chabot, ablette spirilin) et dans les eaux de moyennes qualités (vairon, loche franche, goujon, grémille, épinoche), soit un total de 19 espèces en aval de la cascade de Coo. Le monitoring du piège de capture au niveau de l'exutoire du barrage de Lorcé a permis la capture de 24 espèces de poissons différentes dont une espèce de cyclostome (la lamproie de Planer) pour un total de 1931 individus (211kg). La diversité d'espèce plus importante dans le piège de dévalaison par rapport à la diversité de la rivière s'explique par la présence d'espèces peu communes (carpe, brème, tanche) et non recensées à la cascade de Coo, comme la truite arc-en-ciel, le saumon de fontaine, la carpe herbivore ou encore le poisson chat. Cette présence est plus que probablement due à des repeuplements en poissons pour la pêche de loisirs ou à des échappements d'espèce d'ornement dans le tronçon amont. D'un point de vue catégories écologiques, le piège de dévalaison a permis la capture d'espèces benthiques, d'espèces pélagiques, d'espèces rhéophiles et d'espèces ubiquistes ainsi que d'espèces limnophiles. Enfin, trois espèces diadromes ont été capturées (le saumon atlantique, la truite de mer et l'anguille), tandis que les 21 autres espèces sont holobiotiques potamodromes. Notons que l'exutoire de dévalaison est un dispositif de surface, mais qu'un certain nombre d'anguilles (poissons qui se déplacent plutôt sur le fond) a utilisé cet exutoire. Le dispositif mis en place présente donc un caractère multi-spécifique, ce qui souligne l'importance des déplacements pour des espèces de nombreuses catégories écologiques différentes (Ovidio & Philippart 2002; Ovidio et al., 2004; Prchalová et al., 2011). De plus, ces résultats confirment l'importance de structures favorables à la migration des grands migrateurs, mais aussi adaptées aux déplacements des espèces potamodromes. Les espèces dominantes d'un point de vue biomasse sont dans l'ordre la truite commune, le smolt saumon et l'anguille. D'un point de vue nombre, on retrouve le saumon comme espèce dominante suivie de la truite commune et du smolt de truite de mer. Certaines espèces capturées dans l'Amblève près de la cascade n'ont pas été retrouvées ou sont peu représentées dans le piège de capture (chabot, brochet, gardon, loche, vairon, barbeau...). Comme certaines de ces espèces sont connues pour effectuer des déplacements vers l'aval à certains stades de leur vie (barbeau, hotu en phase de dévalaison post-reproduction) il est hautement probable que la configuration actuelle de l'exutoire soit inadaptée à ces espèces potamodromes. Ainsi, les cyprinidés rhéophiles, dont les populations sont importantes au niveau de la cascade de Coo sont peu représentés dans les pièges (barbeau fluviatile, chevaine). En effet, les populations de vairon, de loche franche

et de chabot sont importantes dans le tronçon amont de Lorcé (Benitez et al., 2013); pourtant seuls 2 vairons et 9 loches ont été capturés, et aucun chabot, dans les pièges du barrage de Lorcé sur près de deux ans de monitoring. La faible présence de juvénile en « drift » dans le piège de dévalaison peut s'expliquer par le maillage de 8mm du filet de capture, trop grand pour la taille des juvéniles. Il se peut également qu'un nombre important favorise le passage par d'autres voies de passage comme les turbines ou l'abaissement des vannes mobiles. Bien que les déplacements vers l'aval de ces espèces soient peu connus, il est possible que la zone amont du barrage présente pour ces espèces un attrait réduit du fait de la présence d'un plan d'eau avec peu de vitesse de courant. Le site de Lorcé constituerait donc un obstacle physique mais aussi un frein hydraulique. L'étude de la morphologie des truites communes adultes met en évidence l'aspect atrophié des nageoires dorsales et pectorales d'une bonne partie de la population, ce qui suggère la présence combinée d'individus sauvages et d'individus déversés. Cette hypothèse est étayée par les données du SPW (plus de 2 tonnes de truite commune déversées dans le tronçon Lorcé-Coo avec une taille de 200 à 350mm, Service de la Pêche (DNF - DGO3 - SPW), septembre 2015). Enfin, la présence du saumon atlantique est due à des déversements annuels au stade tacon afin de favoriser sa réintroduction dans le cadre du programme « saumon Meuse » (Ovidio et al., 2015) avec le déversement de plus de 60000 tacons aux printemps 2013 et 2014 (phénomène de migration réalisé le printemps de l'année suivante) en amont du barrage de Lorcé.

Rappelons que les difficultés techniques liées à l'installation d'un piège de capture en dévalaison durant toute l'année, limitent le nombre d'études sur une longue durée. Néanmoins, l'aspect multi-annuel de cette étude montre l'importance de définir une utilisation réelle d'un dispositif de franchissement sur plusieurs années en continu comme en témoignent les résultats de capture de smolt de saumon atlantique. Avec plus de 900 individus capturés en 2014 contre environ 200 individus en 2015, le smolt de saumon présente une grande variabilité interannuelle du nombre d'individus capturés. Cette variabilité s'explique probablement par la présence d'un coup d'eau en début de période de migration des smolts (début du printemps) en 2015 rendant également le piège de dévalaison non opérationnel. Comme constaté à Méry (quelques centaines cette année contre plusieurs milliers les années précédentes) pour le piège de dévalaison contrôlé dans le cadre du projet Saumon Meuse (Ovidio et al, 2015), un grand nombre de smolt a certainement profité du coup d'eau en début

de période de migration pour dévaler lorsque le courant était plus rapide et que la majorité des barrages présentaient une surverse ou un abaissement de vanne facilitant le passage vers l'aval. Cette hypothèse peut être appuyée par le dépassement du seuil thermique de 8°C (McCormick et al., 1998) depuis le 18 mars 2015. Ce constat démontre donc l'importance d'une étude multi-annuelle afin de ne pas se baser sur une année qui peut présenter des conditions hydrauliques particulières.

Les premiers résultats fournis par le piège de dévalaison, installé en 2013, ne semblent pas indiquer l'existence d'un effet d'ouverture comme observé à Lorcé ou encore sur la Berwinne à Berneau dans le sens de la montaison (Benitez et al., 2015). En effet, les effectifs de capture sont relativement faibles, à l'exception des smolts de saumon atlantique ou de truite commune. Cependant, une connectivité partielle a été maintenue par d'autres voies de passage tel que les vannes mobiles ou encore les turbines si le passage par le plan de grille amont (41mm d'espacement) est possible pour le poisson. L'existence de ces autres possibilités de passage indique qu'il est difficile de déterminer l'importance des populations de poissons dévalant uniquement à l'aide du piège de capture en dévalaison, dans sa configuration actuelle. Cette installation permet tout de même d'évaluer de manière qualitative les espèces qui effectuent des déplacements vers l'aval. Avant l'installation de l'exutoire, la dévalaison des poissons était possible uniquement lorsque des débits importants engendraient une surverse ou l'abaissement des vannes du barrage. Cette contrainte constituait un problème majeur à la fois pour les espèces diadromes comme le saumon atlantique, la truite de mer et l'anguille, qui doivent rejoindre la mer durant une période sensible (Bureau Du Colombier et al., 2007; Hansen et al., 1993), mais aussi pour les espèces holobiotiques, qui effectuent des déplacements entre différentes niches écologiques ou après la reproduction (Ovidio, 1999; Parkinson et al., 1999; Ovidio & Philippart 2002). Toutefois, notre étude démontre que pour ces espèces, l'attractivité de l'exutoire doit être impérativement améliorée bien que sa construction permet l'accès vers l'aval dans des conditions de faible débit et de rétablir l'équilibre des flux génétiques entre les populations situées en amont et en aval du barrage (Meldgaard et al., 2003; Yamamoto et al., 2004). De plus, l'attente devant le barrage augmente les risques de prédation du fait du regroupement des individus (Agostinho et al., 2012). Enfin, le passage par les vannes peut lui aussi entraîner la mort des poissons ; ce risque est variable et dépend de la hauteur de la structure

hydroélectrique (Larinier & Travade 1999). L'exutoire devrait donc permettre le maintien de la connectivité écologique entre l'amont et l'aval quelles que soient les conditions de débits.

L'association des périodicités de captures aux variables environnementales permet d'approfondir nos connaissances sur la mobilité des poissons dans le sens de la dévalaison à l'échelle spécifique et selon le stade de maturité. Un constat important est que la présence dans le piège de dévalaison de petites espèces ou de juvéniles ne semble pas liée à des coups d'eau mais plutôt à des déplacements actifs. Ces déplacements sont liés plus à des phénomènes de dispersion. La majorité des espèces présentes dans le piège se déplacent vers l'aval au printemps, lors des déplacements post-reproduction pour les cyprinidés adultes (vandoise, gardon, barbeau, chevaine) ou de l'ombre. Leur état sanitaire est souvent mauvais et un grand nombre d'individus ont été capturés morts dans le piège (épuisement suite à la période de reproduction). Il est important de préciser que le système de capture a certainement joué un rôle dans ce pourcentage de mortalité observé dans le piège suite au manque de zone calme. Pour la truite commune (période de migration de reproduction en automne) les déplacements printaniers sont liés à des phénomènes de dispersion mais dépendent également des repeuplements effectués en amont pour la pêche de loisirs. La truite de mer est un écotype de la truite de rivière (ou commune), les smolts capturés peuvent donc être issus de la reproduction des truites communes. Ils ont été capturés en dévalaison au stade smolt majoritairement durant la première semaine du mois de mai (d'avril à mai). La plage de migration de ces individus est très réduite car, comme chez le saumon, la smoltification s'accompagne de changements morphologiques et métaboliques qui rendent essentiel le passage dans le milieu marin (Solomon, 1978). Les smolts de truite ont migré juste après des phases de variations de débit; il semble donc que l'augmentation de débit agisse comme un stimulus déclencheur de la migration de dévalaison chez cette espèce (Baglinière, 1985) contrairement aux résultats de dévalaison des smolts de saumon atlantique. Chez cette dernière, l'existence d'un seuil de température entraînant la migration, situé entre 10 et 12°C, a été mis en évidence (Solomon 1978). En effet, la création d'un modèle réalisé par Jonsson & Ruud-Hansen (1985), montre que la température permet d'expliquer entre 89 et 95% des variations annuelles. De même, les observations réalisées par le LDPH, lors du suivi du piège de Mery indiquent l'existence d'un seuil thermique chez la truite (Philippart et al., 2014). Cependant l'année 2015 est particulière, car un pic de débit a été observé au début du

printemps permettant à une majorité des smolts de dévaler via les surverses et entraînant un faible nombre de captures dans le piège de dévalaison à Lorcé mais également à Méry sur l'Ourthe. Les anguilles réalisent leur phase de croissance dans les rivières avant de migrer à l'âge adulte vers la mer des Sargasse (Bureau Du Colombier et al., 2007). Les individus mâles demeurent près des estuaires tandis que les femelles s'installent plus en amont dans le cours d'eau (Geoffroy et al., 2015). Les anguilles capturées en dévalaison, essentiellement au mois de juin, sont de deux gammes de taille différentes représentant deux stades de vie différents (anguille jaune et anguille argentée). Pour les anguilles argentées, il s'agirait donc de femelles en cours de migration de dévalaison de reproduction, lors de fortes variations de débit en été de juin à septembre. Le suivi des pièges, ainsi que les pêches électriques effectuées ces dernières années révèlent l'absence de recrutement naturel en jeunes anguilles (Nzau Matondo et al., 2015). Les lamproies de Planer dont la biologie du comportement est peu connue, ont été capturées uniquement au printemps à faible débit proche des 15°C, ces déplacements semblent liés à sa période de reproduction printanière (Potter 1980, Sonny et al., 2006). Cependant, l'absence d'individu mature ne nous permet pas d'affirmer si ces déplacements se déroulent avant ou après la reproduction.

V. ANALYSE SIMULTANEE DES PIEGEAGES DE POISSONS AU NIVEAU DU BARRAGE DE LORCE : COMPARAISON ECHELLE A POISSONS – EXUTOIRE DE DEVALAISON

1. Introduction

Aménagée en 2007, l'échelle à poissons à fentes verticales du barrage de Lorcé (figure 1) a remplacé une ancienne échelle non fonctionnelle. Cette nouvelle échelle à poissons est contrôlée depuis sa mise en service par le LDPH-Ulg, via différents projets de recherche financés par le FEP et/ou le SPW-DCENN (Ovidio et al., 2007 et 2011 ; Benitez et al., 2013). Ces études ont permis de vérifier son utilisation d'un point de vue multi-spécifique et à une échelle multi-annuelle. Les analyses scientifiques des données de captures multi-annuelles ont déjà été présentées dans le rapport FEP Amblève (Benitez et al., 2013) et dans une publication scientifique, présentée en annexe (Benitez et al., 2015). Des suivis télémétriques (Ovidio et al., 2013) ont également démontré que la nouvelle échelle a permis la réouverture d'un axe migratoire important, notamment vers la Lienne (truite) et l'Amblève en amont de Lorcé (hotu, barbeau fluviatile, ombre commun). Ces études ont également mis en évidence un effet d'ouverture (intensité des captures plus importante la première année de monitoring) et ont démontré le bien fondé d'aménagements multi-spécifiques dans des rivières de taille moyenne, qui permettent le franchissement du barrage pour une multitude d'espèces (non uniquement les espèces amphihalines) à différents stades de leur vie. Au vu des études déjà réalisées précédemment, le travail effectué dans le cadre de cette action a pour objectif i) de poursuivre le monitoring de la passe de Lorcé et de compléter les données de remontées, depuis l'automne 2007 à maintenant et ii) d'analyser plus finement les flux migratoires amont-aval de certaines espèces cibles, via des marquages RFID et les contrôles simultanés de l'échelle à poissons et de l'exutoire de dévalaison, pour la période 2013-2015.



Figure 1 : Echelle à poissons moderne à bassins avec fentes verticales du barrage de Lorcé aménagée en 2007

2. Méthodes

2.1. Contrôle du piège de l'échelle à poissons du barrage de Lorcé

L'échelle à poissons de Lorcé est équipée d'une cage de capture dont l'espacement entre les barreaux est de 3cm (figure 2). Afin de capturer une plus grande variété d'espèces de tailles différentes (petites espèces benthiques mais aussi les juvéniles de salmonidés et cyprinidés par exemple) qui transitent par la passe à poissons, la cage a été recouverte d'un treillis avec une maille de 1 x 1cm. En règle générale, la cage de l'échelle de Lorcé a été relevée de 2 à 5 fois par semaine, à la même fréquence que le piège de dévalaison, pour la période d'octobre 2013 à août 2015. Toutefois, en périodes hivernale et estivale, le rythme de contrôle a été réduit à une fois par semaine lorsque les taux de capture étaient particulièrement faibles. Les poissons capturés ont été transférés dans des bassines, puis anesthésiés à l'Eugénol (0,2ml/l), identifiés à l'espèce, mesurés (longueur à la fourche, l_f) et pesés. Les individus les plus gros ou appartenant à une espèce d'intérêt écologique majeur (truite, ombre, barbeau, hotu, anguille) ont été marqués individuellement (transpondeur RFID) afin d'identifier leur approche à

l'entrée de l'exutoire ou leur éventuelle recapture dans les deux pièges de capture (montaison et dévalaison).



Figure 2 : Cage de capture placée au niveau du bassin le plus en amont de l'échelle à poissons du barrage de Lorcé

2.2. Marquage-recapture-détection RFID

Les poissons sont marqués à l'aide d'une marque de type RFID (Radio Frequency Identification ; Texas Instrument 23mm GLASS TRANSPONDER). Seuls les individus d'une taille supérieure à 120 mm sont marqués ; ainsi, l'émetteur représentera moins de 2% de la masse du poisson (figure 3). Ce seuil permet d'éliminer tout impact de la marque sur le comportement des poissons. L'utilisation de marques RFID permet une reconnaissance individuelle des poissons lorsqu'ils passent à proximité d'une antenne de détection automatique (stations fixes de marque CIPAM) ou via un lecteur manuel (PSION workabout 2mx). Une incision de maximum 5mm est effectuée à l'aide d'un scalpel, au niveau de la cavité abdominale, sur les poissons préalablement endormis pour permettre l'insertion de la marque. Les individus sont ensuite placés quelques minutes dans une bassine d'eau fraîche, afin de permettre leur récupération suite à l'anesthésie.

L'exutoire de dévalaison est équipé à son entrée d'une antenne de détection rectangulaire de 80x100cm qui permet la détection des poissons marqués avec des marques RFID dans un rayon de 30cm. Ce dispositif permet d'identifier chaque individu préalablement marqué

lorsqu'il s'approchera de l'exutoire, la date et l'heure de la détection sont enregistrées dans un coffret électronique (CIPAM) qui peut être branché à un ordinateur (figure 3). Ce dispositif, couplé au piège de capture permet d'étudier les flux amont-aval de poissons.



Figure 3 : Marquage d'un barbeau avec un transpondeur RFID de 23mm après une légère incision au niveau de la cavité péritonéale, station automatique de détection RFID (CIPAM) et antenne de détection RFID à l'entrée de l'exutoire de Lorcé.

Afin d'éviter en partie le colmatage de la cage de contrôle par les débris organiques, un ensemble de pontons flottants modulable a été installé le 29 octobre 2014 en amont de l'entrée hydraulique de l'échelle à poissons (figure 4). Ce ponton flottant sert de drome et dévie une partie des débris de surface vers les grilles de prise d'eau du barrage.



Figure 4 : Drome flottante située en amont de la prise d'eau de l'échelle à poissons du barrage de Lorcé : constituée d'un ensemble de pontons flottants

2.3. Données environnementales

L'enregistrement des facteurs environnementaux durant le suivi des pièges de capture permet d'étudier l'influence de ces variables sur les déplacements des poissons. La température est enregistrée à l'aide d'un enregistreur automatique de température (Onset TidBit) placé au niveau du barrage de Lorcé. Le débit est téléchargé à partir du site Aqualim (SPW-DCENN) au niveau des stations de La Gleize pour l'Amblève et de Lorcé pour la Lienne, l'addition de ces deux débits donnant le débit de l'Amblève au niveau du barrage de Lorcé.

3. Résultats

3.1. Diversité des captures (octobre 2013-août 2015)

D'octobre 2013 à août 2015, nous avons réalisé 232 contrôles du piège de capture de l'échelle à poissons de Lorcé. Sur cette période, 2452 individus appartenant à 17 espèces différentes ont été capturés pour une biomasse totale de 166kg (tableau 1). En nombre d'individus, c'est le vairon qui domine avec 1142 individus, suivi de l'ablette spirilin (N=777), de la truite commune (N=294), de la truite arc-en-ciel (N=66), de l'ombre (N=44) et du barbeau (N=40). D'un point de vue biomasse, c'est la truite commune qui domine avec une valeur spécifique de 57,4kg suivie de près par le barbeau (57,1kg). On trouve ensuite la truite arc-en-ciel (33kg), l'ombre (6,3kg), l'ablette spirilin (5kg) et le vairon (3kg).

Tableau 1 : Inventaire des captures dans le piège de l'échelle à poissons de Lorcé d'octobre 2013 à août 2015 avec le nombre d'individus (Nb), la biomasse (g), la taille minimum et maximum en mm de chaque espèce. AEC : arc-en-ciel

Espèces	Nb	Biomasse (g)	Taille min. (mm)	Taille max. (mm)
<i>Salmo trutta</i> Truite commune	296	57554	84	606
<i>Thymallus thymallus</i> Ombre	41	6331	110	375
<i>Salmo salar</i> Saumon atlantique*	7	354	111	191
<i>Oncorhynchus mykiss</i> Truite AEC**	66	33039	187	492
<i>Salvelinus fontinalis</i> Omble de fontaine**	3	1272	319	335
<i>Barbus barbus</i> Barbeau fluviatile	40	57168	52	640
<i>Leuciscus cephalus</i> Chevaine	4	288	119	220
<i>Leuciscus leuciscus</i> Vandoise	18	599	83	250
<i>Rutilus rutilus</i> Gardon	11	243	84	180
<i>Gobio gobio</i> Goujon	37	804	100	145
<i>Alburnoides bipunctatus</i> Ablette spirilin	777	4984	52	115
<i>Phoxinus phoxinus</i> Vairon	1142	3040	52	86
<i>Anguilla anguilla</i> Anguille	1	36	296	296
<i>Lamprota planerii</i> Lamproie de Planer	1	2	115	115
<i>Perca fluviatilis</i> Perche	3	301	158	216
<i>Cottus gobio</i> Chabot	1	19	106	106
<i>Barbatula barbatula</i> loche	4	30	89	105
Total	2452	166064		

3.2. Vidange et pêche électrique dans l'échelle à poissons

Lors d'une vidange de l'échelle à poissons réalisée le 4 juillet 2014 afin de dégager les échancrures, un grand nombre de poissons a été observé dans les différents bassins de l'échelle (tableau 2). Plus précisément, nous avons constaté la présence d'anguilles jaunes, de truites communes et de bancs de vairons et d'ablette spirilin (figure 5). Dans le but de confirmer ces observations, une pêche électrique a été effectuée le 17 juillet 2014 au niveau des différents bassins de l'échelle. Au total, 44 anguilles jaunes ont été capturées (+10 échappées) avec une taille moyenne de 267mm mais également 42 truites communes. On notera l'absence de barbeau, de vairon et d'ablette spirilin lors de la pêche électrique, date ultérieure à la date de la vidange. Ces 3 espèces n'ont pas été recensées dans le piège de capture en montaison entre le 4 juillet 2014 et le 17 juillet 2014. Pour le cas du vairon et de l'ablette spirilin, il est possible que les individus soient passés au travers du système de capture vu leur faible taille. En revanche, les barbeaux observés (grands individus à taille adulte) ont dû dévaler et retourner dans l'Amblève en aval du barrage de Lorcé.

Tableau 2 : Données récoltées (nombre d'individus par espèce) lors d'une vidange de l'échelle à poissons le 04 juillet 2014 (données « visuelles) et lors d'une pêche électrique le 17 juillet 2014.

	Vidange échelle	Pêche électrique
Date	04-07-14	17-07-14
Truite commune	"Plusieurs dizaines"	42
Barbeau fluviatile	4	0
Ablette spirilin	"Plusieurs centaines"	0
Vairon	"Plusieurs centaines"	0
Anguille	"Plusieurs dizaines"	44



Figure 5 : Individus observés dans l'échelle à poissons de Lorcé lors d'une vidange en juillet 2014

3.3. Variations annuelles des captures

Le monitoring du piège de capture de l'échelle à poissons de Lorcé est en cours depuis son installation en novembre 2007. A ce jour, on dénombre 6151 individus pour une biomasse totale de plus de 500 kg. Pour chaque année, le nombre d'individus et la biomasse par espèces ont été recensés (tableau 3). L'existence d'une variabilité interannuelle importante des captures à l'échelle de l'espèce a été mise en évidence (Benitez et al., 2013 et 2015) et celle-ci est confirmée avec les années 2014 et 2015. Le nombre d'individus par année varie de 118 à 1889 individus. De plus, un effet d'ouverture de l'axe Lorcé-Coo a été observé la première année de monitoring avec un pic de présence des espèces les plus abondantes (truite, ombre, barbeau). Bien que le nombre total d'individus et la biomasse totale par année étaient en déclin depuis cet effet d'ouverture, les deux dernières années (2014 et 2015) ont été marquées par un regain du nombre de capture pour ces espèces dominantes, truite, ombre et barbeau ainsi que pour la truite arc-en-ciel. Cette tendance s'observe pour la biomasse totale avec un pic de 93kg pour 2015 alors que seules les données de janvier à août sont présentées. La tendance à l'augmentation du nombre d'ablette spirin se confirme pour cette période de monitoring. Remarquons que pour cette période, et plus particulièrement en 2015, deux nouvelles espèces ont été capturées dans le piège de capture, la lamproie de Planer et l'omble de fontaine.

Tableau 3 : Inventaire des captures (individus et biomasse) dans le piège de montaison de Lorcé par année de novembre 2007 à août 2015 ainsi que le nombre total de captures par espèce depuis le début du monitoring.

Espèce	2007*		2008		2009		2010		2011		2012		2013		2014		2015*		Total	
	N	g	N	g	N	g	N	g	N	g	N	g	N	g	N	g	N	g	N	g
Truite commune	117	22890	131	21162	70	13111	85	15360	51	12144	48	10489	64	9053	167	34802	110	18944	843	157955
Ombre	1	781	25	4099	13	3987	8	945	10	1934	11	1107	10	2430	25	2991	16	3340	119	21614
Saumon	-	-	1	59	1	8	17	735	13	672	-	-	1	26	7	354	-	-	40	1854
Truite AEC	-	-	5	1645	13	4708	24	12380	22	11845	8	2812	10	2430	16	12688	50	20351	148	68859
Ombre de fontaine	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1272	3	1272
Barbeau	-	-	62	97910	6	9532	30	39345	23	27579	6	7885	5	8634	9	15036	31	42132	172	248053
Chevaine	-	-	12	6166	9	10572	7	1709	31	7140	8	166	11	2976	2	171	2	117	82	29017
Hotu	-	-	2	3269	-	-	-	-	1	13	-	-	1	27	-	-	-	-	4	3309
Vandoise	-	-	8	243	-	-	5	65	32	428	7	113	-	-	16	333	2	266	70	1448
Gardon	-	-	-	-	2	61	-	-	3	43	-	-	1	80	4	79	7	164	17	427
Brème	-	-	1	1528	-	-	1	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1534
Brème bordelière	-	-	-	-	1	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	58
Carpe	-	-	1	3828	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2	3828
Vairon	-	-	26	79	118	426	1121	2430	497	1585	-	-	28	81	-	-	1142	3040	2932	7641
Ablette commune	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	-	-	-	-	2	1
Ablette spirin	-	-	56	565	3	34	49	291	472	3137	52	432	22	129	267	2145	510	2839	1431	9572
Goujon	-	-	118	2175	23	561	12	271	34	390	8	171	16	276	23	516	14	288	248	4648
Anguille	-	-	1	143	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	36	-	-	2	179
Lamproie	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1
Brochet	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	1	1
Perche	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2006	3	301	-	-	4	2307
Epinoche	-	-	1	1	1	2	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	4
Loche	-	-	2	2	3	11	1	4	5	24	1	2	-	-	3	25	1	5	16	73
Chabot	-	-	2	11	2	8	-	-	3	31	1	11	-	-	-	-	-	-	8	61
Total	118	23671	454	142885	265	43079	1361	73542	1197	66965	151	23189	173	28149	543	69477	1889	92759	6151	563716

3.4. Abondance des captures et biodiversité en montaison et en dévalaison

Tableau 4 : Comparaison des inventaires de capture entre la montaison et la dévalaison au niveau du barrage de Lorcé pour la période octobre 2013-août 2015

Espèces	Montaison		Dévalaison	
	Nb	Biomasse (g)	Nb	Biomasse (g)
Truite	296	57554	295	48458
Smolt truite	-	-	169	9455
Tacon de saumon	7	354	46	1500
Smolt saumon	-	-	1176	42220
Ombre	41	6331	9	2996
Saumon de fontaine	3	1272	5	2487
Truite AEC	66	33039	37	21394
Smolt truite AEC	-	-	1	297
Barbeau	40	57168	15	1377
Chevaine	4	288	13	9515
Vandoise	18	599	33	3965
Ide mélanote	-	-	2	212
Gardon	11	243	14	533
Brème commune	-	-	2	403
Tanche	-	-	1	2909
Carpe commune	-	-	2	10100
Carpe herbivore	-	-	8	11646
Ablette spirilin	777	4984	15	72
Vairon	1142	3040	2	9
Goujon	37	804	3	59
Anguille	1	36	32	41458
Lamproie de Planer	1	2	17	93
Perche	3	301	4	412
Grémille	-	-	1	32
Poisson chat	-	-	1	249
Chabot	1	19	-	-
loche franche	4	30	10	46
Epinoche	-	-	18	34
Total	2452	166064	1931	211931

L'analyse combinée des captures sur une même période et un même site, dans le sens de la montaison et dans le sens de la dévalaison, est permise via le monitoring simultané des deux pièges de capture (tableau 4). D'un point de vue diversité, on observe un plus grand nombre d'espèces dans le piège de dévalaison avec n=24 espèces contre n=17 espèces en montaison. De plus, une biomasse plus importante a été capturée en dévalaison (211kg) bien que le nombre d'individus soit plus important en montaison (N=2452). Les espèces capturées uniquement en dévalaison sont des espèces peu représentatives de la zone piscicole (zone à ombre/barbeau selon Huet, 1949) telles que la brème, la tanche, la carpe et la carpe herbivore

ou encore la grémille et le poisson chat, comme en témoigne le nombre d'individus par espèce très faible (< 5 individus). La seule espèce observée en montaison et non en dévalaison est le chabot avec un seul individu en montaison malgré son abondance dans la rivière que cela soit en amont ou aval du barrage de Lorcé. On observe également la présence de smolts (saumon atlantique et truite de mer) uniquement dans le piège de dévalaison. D'un point de vue spécifique, le nombre et la biomasse de la truite commune sont similaires en montaison et en dévalaison comme pour le saumon de fontaine, le gardon et la perche. En revanche d'autres espèces sont bien plus présentes en montaison qu'en dévalaison comme l'ombre, la truite AEC, le barbeau fluviatile et des petites espèces de cyprinidés (ablette spirin, vairon et le goujon).

3.5. Capture-Marquage-Recapture

Au total, 262 poissons appartenant à sept espèces différentes, capturés en montaison dans l'échelle à poissons de Lorcé ont été munis d'un transpondeur RFID. Ce transpondeur permet de détecter le poisson lors de son approche de l'entrée de l'exutoire de dévalaison et d'identifier le passage par l'exutoire après recapture dans le piège de dévalaison. L'objectif est de vérifier si les poissons qui empruntent l'échelle de Lorcé en montaison, peuvent utiliser l'exutoire de dévalaison quelques temps après, notamment en dévalaison post-reproduction. Sur les 7 espèces de poissons marquées, 70% sont des truites communes, 14% des ombres et 12% des barbeaux. Les autres espèces sont la truite arc-en-ciel (N=10), le saumon (N=3), le chevaine (N=1) et l'anguille (N=1) (tableau 5).

Tableau 5 : Nombre d'individus marqués par espèce via un transpondeur RFID lors de leur capture dans l'échelle à poissons de Lorcé

Espèce	2013	2014	2015	Total
Truite	18	131	29	178
Smolt truite	0	1	0	1
Ombre	0	23	14	e
Saumon	0	3	0	3
Truite Aec	0	6	4	10
Barbeau	0	9	22	31
Chevaine	0	1	0	1
Anguille	0	1	0	1
Total	18	175	69	262

Tableau 6 : Données de capture-Marquage-Détection-Recapture des individus capturés à l'échelle à poissons de Lorcé d'octobre 2013 à août 2015 l'espèce, la taille en mm, la date de marquage, la (ou les) date(s) de détection, la date de capture dans l'exutoire et la date de capture dans les piège de montaison. AEC : arc-en-ciel

Espèce	Taille (mm)	Poids (g)	Date marquage	Dates détections entrée exutoire	Date capture exutoire	Date capture échelle à poissons
Truite	144	29	13-12-13	-	-	01-04-14
Truite	171	49	17-03-14	23.03-30.04.14	-	-
Truite	313	346	05-05-14	06.05.14	-	-
Truite Aec	307	564	06-06-14	10.06.14	-	-
Truite	606	1658	16-06-14	26.07.14	-	-
Truite	166	57	23-06-14	-	-	09-07-14
Barbeau	540	1786	27-06-14	12.07.14	-	-
Truite	408	740	11-07-14	15.07.14	-	-
Truite	440	552	11-07-14	15-16-17-30.08.14	-	-
Truite Aec	380	740	11-07-14	18.07-11.08.14	11.08.14 (morte)	-
Truite Aec	428	680	11-07-14	29-30.10-03-04.11.14	-	-
Truite	394	628	11-07-14	30.07.14	-	01-08-14
Truite	150	41	17-07-14	-	-	22-07-14
Truite	405	681	01-08-14	09.08.14	-	-
Truite	150	36	19-09-14	19-20.10-01-14.11.14	-	-
Truite	321	342	10-10-14	17.10.14	-	02-12-14
Truite	442	885	03-11-14	07.11.14	10.11.14	-
Truite	255	188	20-03-15	23.03.15	-	-
Ombre	241	135	26-03-15	04.04.15	-	-
Ombre	257	168	26-03-15	04.04.15	-	-
Ombre	318	308	26-03-15	09.04.15	-	-
Ombre	288	228	26-03-15	26.03.15	30.03.15	-
Truite aec	330	434	13-04-15	13-14.04.15	-	-
Truite aec	330	434	13-04-15	15-16.04.15	-	17-04-15
Truite	152	36	17-04-15	26.04.15	-	-
Truite	250	196	22-04-15	22.06.15	-	-

Sur les 262 individus marqués et relâchés en amont du barrage de Lorcé, 23 individus (9%) ont été détectés à l'entrée de l'exutoire (tableau 6) : 13 truites communes, 4 ombres, 5 truites arc-en-ciel et 1 barbeau. Uniquement 3 individus (1%) ont été recapturés dans le piège de dévalaison, 1 truite arc-en-ciel, 1 ombre et 1 truite commune. Notons aussi que trois truites capturées dans l'échelle ont été recapturées dans l'échelle sans être passées par l'exutoire ni détectées à l'entrée après 5, 16 et 109 jours. De la même manière, une truite arc-en-ciel et

deux truites communes ont utilisé une autre voie de passage que l'exutoire car elles ont été détectées à l'entrée de l'exutoire et recapturées dans l'échelle à poissons sans être capturées en dévalaison.

3.6. Périodicité des patrons de mobilité en montaison-dévalaison

Avec les quelques espèces de poissons capturées à la fois dans le piège de l'exutoire et de l'échelle à poissons, il est possible de faire une analyse comparée de la périodicité des mouvements, dans le sens de la montaison et de la dévalaison pour les espèces les plus représentées.

3.6.1. La truite commune

La truite commune se déplace toute l'année vers l'amont (figure 6) avec un pic estival (juin à juillet) et un second pic lors de la période automnale, à l'approche de la période de reproduction (octobre à décembre). La dévalaison des adultes est plutôt printanière (mars à mai). Les déplacements des juvéniles s'observent principalement au printemps en montaison et en dévalaison (mars à mi-juin) bien qu'on observe la présence de captures en montaison fin de l'hiver (février) et en dévalaison en automne (octobre à novembre).

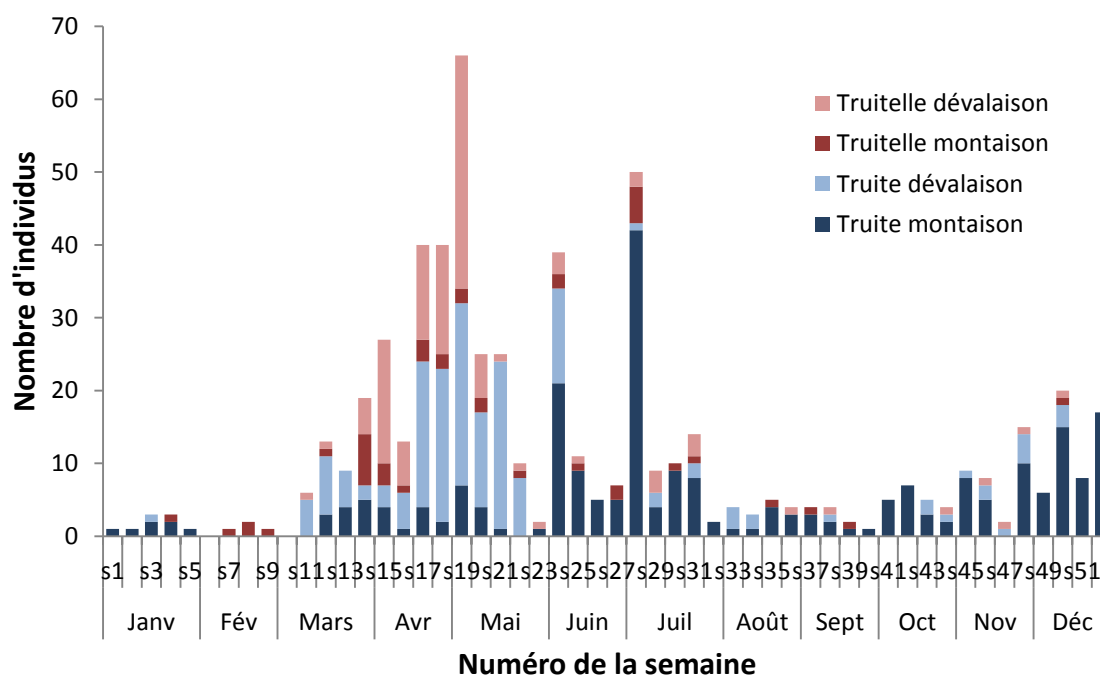


Figure 6 : Périodicité de capture des truites communes dans les pièges de montaison et de dévalaison du barrage de Lorcé pour la période automne 2013 à l'été 2015. Les juvéniles (truitelles) ont un indice de couleur rouge (clair : dévalaison et foncé : montaison) et les adultes de couleur bleu (clair : dévalaison et foncé : montaison)

3.6.2. L'ombre commun

L'ombre adulte est capturé dans les deux sens de déplacement au printemps de début mars à début juin (figure 7). Ces patrons de mobilité sont liés à la période de reproduction de l'ombre, fin mars début avril. Dans le sens de la montaison, ces déplacements représentent des migrations de reproduction. Certains individus recherchent à atteindre le secteur amont plus tard dans la saison, de mai à début juillet. Dans le sens de la dévalaison, les individus adultes dévalants ne sont observés que de mars à mi-mai qui sont probablement en partie des adultes en post-reproduction. Pour les juvéniles, un plus grand nombre est observé en montaison avec la même périodicité de capture que les adultes (mars à juin). L'unique juvénile en dévalaison a été capturé début juillet.

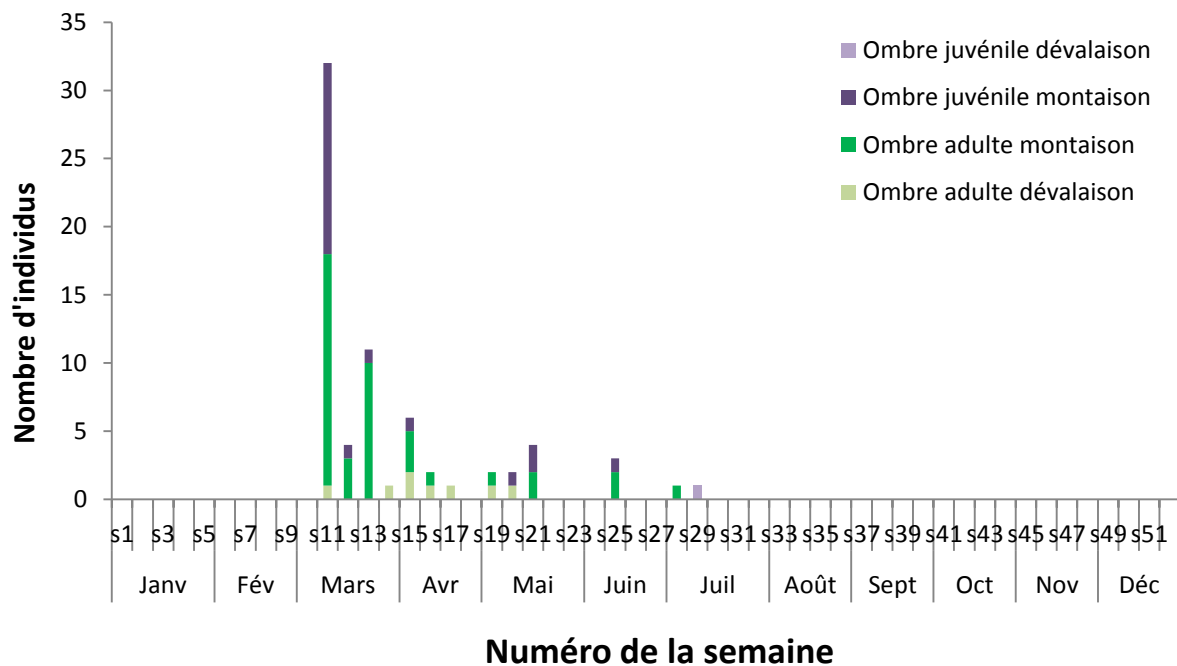


Figure 7 : Périodicité de capture des ombres adultes dans les pièges de montaison et de dévalaison du barrage de Lorcé pour la période de l'automne 2013 à l'été 2015 (clair : dévalaison et foncé : montaison)

3.6.3. Le barbeau fluviatile

Les barbeaux adultes utilisent l'échelle à poissons de Lorcé presque exclusivement au printemps lors de leur période de migration de reproduction de mai à juin (figure 8).

Néanmoins, un peu plus de 30% des individus adultes utilisent l'échelle à poissons début de l'été au mois de juillet. L'unique individu adulte capturé en dévalaison début août était probablement en migration de post-reproduction. Les déplacements de montaison et de dévalaison chez les juvéniles sont observés exclusivement en été (début août), et correspondent probablement à des phénomènes de dispersion.

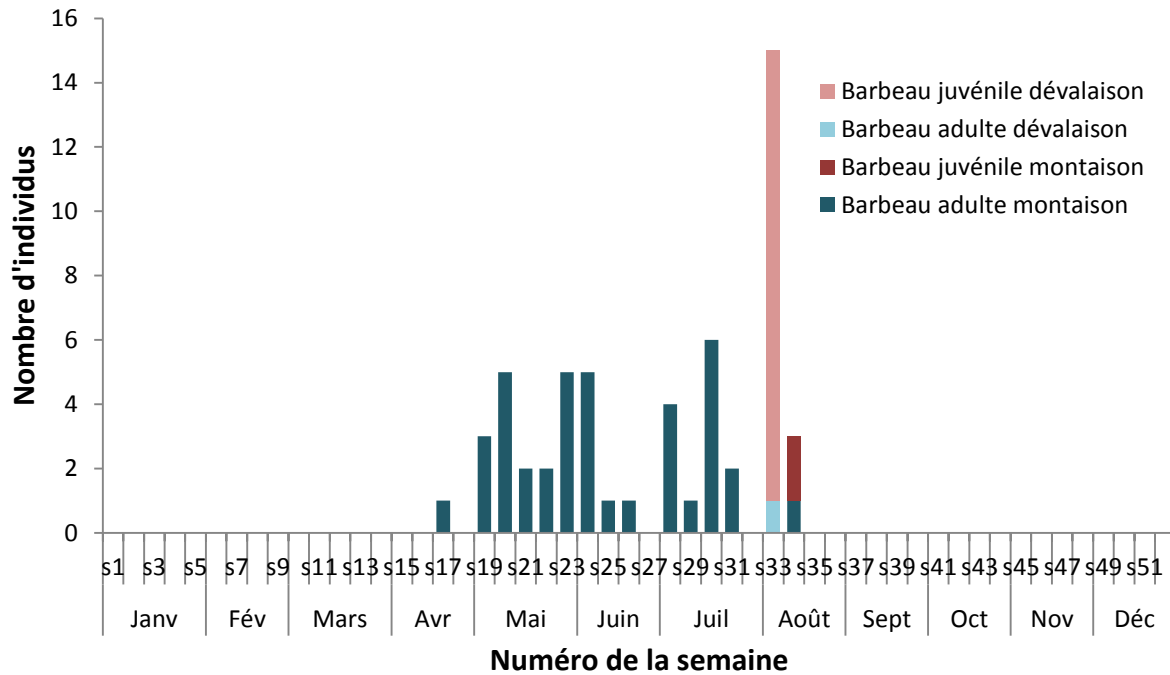


Figure 8 : Périodicité de capture des barbeaux dans les pièges de montaison et de dévalaison du barrage de Lorcé pour la période automne 2013 à l'été 2015. Les juvéniles ont un indice de couleur rouge (clair : dévalaison et foncé : montaison) et les adultes de couleur bleu (clair : dévalaison et foncé : montaison).

4. Discussion

Pour cette période de monitoring de l'échelle à poissons de Lorcé, les espèces dominantes d'un point de vue nombre (cyprinidés de petites tailles : vairon et ablette spiralin) et d'un point de vue biomasse (espèces rhéophiles caractéristiques d'une rivière moyenne : truite commune, ombre et barbeau), sont identiques aux recensements précédents (Benitez et al., 2015). Durant cette période deux nouvelles espèces non recensées auparavant, ont été observées dans la cage de montaison. Ces deux espèces sont la lamproie de Planer et l'omble de fontaine. Cette dernière est une espèce non-indigène qui provient probablement de repeuplement. En revanche la capture d'une lamproie de Planer est plus surprenante car le système de capture n'est pas adapté à ce type d'espèce (nombre de passages certainement plus important) et leurs déplacements sont très peu connus mais cela démontre l'amélioration de la qualité de l'eau (espèce Natura 2000). Lors d'une vidange de l'échelle à poissons de Lorcé et d'une pêche électrique réalisées en juillet 2014, un grand nombre d'anguilles jaunes a été observé démontrant que l'échelle à poissons de Lorcé peut être utilisée par cette espèce. Cependant le faible nombre d'anguilles capturées dans le piège de montaison prouve qu'elles sont capables de passer à travers le piège, non adapté à leur capture. Leur présence au sein du cours d'eau, quant à elle, serait due à des repeuplements en civelles réalisés par le SPW en 2011. Le suivi de repeuplements en civelles (jeunes anguilles) par le LDPH (Nzau Matondo et al., 2015 ; Ovidio et al., 2015) a démontré la capacité de ces juvéniles (civelles déversées devenues anguillettes) à survivre et à se déplacer au sein de ce type d'habitat, qui n'est normalement pas le leur à ce stade de maturité (dans les estuaires). De plus les taux de croissance observés lors de cette étude prouvent qu'il peut s'agir d'anguilles jaunes provenant de ces repeuplements en civelles sur la base des classes de tailles d'anguilles capturées à Lixhe et des taux de croissance observés dans des petits cours d'eau, dans le cadre d'un autre projet FEP (Nzau Matondo et al., 2015). La vidange de l'échelle couplée à une pêche électrique prouve également que certains individus entament le passage dans l'échelle à poissons, mais sans poursuivre la remontée jusque dans la cage, partie la plus en amont. Il existerait donc pour des individus de certaines espèces, une forme de comportement d'hésitation ou un manque d'attractivité pour continuer jusqu'en amont de l'échelle et de pénétrer dans la cage. Le nombre de poissons capturés dans la cage ne représenterait donc qu'une portion des

individus entrant dans l'échelle comme observé dans d'autres études d'évaluation de l'efficacité d'une passe à montaison (Bunt et al., 2012).

Cette période de monitoring de l'échelle à poissons de Lorcé s'inscrit dans la continuité de projets précédents (Ovidio et al., 2007 et 2011, Benitez et al., 2013) et d'une étude plus approfondie (Benitez et al., 2015). Le but premier de cette action n'était pas de mettre en évidence une nouvelle fois l'aspect multi-spécifique de l'utilisation de l'échelle à poissons ou de redéfinir les patrons de mobilité. En effet, parallèlement au piégeage de capture en dévalaison, le monitoring du piège de capture de l'échelle à poissons de Lorcé a permis de vérifier si les individus observés en montaison sont les mêmes que ceux observés en dévalaison. Néanmoins, la poursuite du piégeage lors de ces deux années (2014 et 2015) a démontré une nouvelle fois l'importante variabilité annuelle des captures à l'échelle globale et spécifique. En effet les deux dernières années de monitoring tendent vers une augmentation de la biomasse totale et du nombre d'individus capturés pour les espèces dominantes (la truite commune, l'ombre et le barbeau) alors que la tendance des captures était plutôt à la diminution après un effet d'ouverture de l'axe migratoire (Benitez et al., 2015). Les raisons de cette ré-augmentation des captures peuvent être liées à une variation naturelle en recrutement de ces espèces et/ou à des conditions environnementales particulièrement favorables (régimes hydrologiques et thermiques), voire suite à des modifications hydrologiques de l'entrée de l'exutoire. Pour cette dernière hypothèse, lors de l'aménagement du piège de dévalaison, un ensemble de goulottes a été installé juste au-dessus de l'entrée de l'échelle à poissons et une partie de celles-ci est munie de grilles afin d'évacuer partiellement l'eau. Cette eau crée donc des remous à l'entrée de l'échelle et augmente donc la turbulence permettant peut-être aux poissons plus rhéophiles de déceler plus facilement l'entrée de l'échelle à poissons (Larinier, 2008; Tarrade et al., 2008).

La biomasse totale (>150kg) et le nombre d'individus (>1500 individus) pour la période de monitoring des deux pièges de capture sont du même ordre de grandeur. En revanche, si on ne prend pas en compte les individus uniquement en phase de migration vers l'aval pour le piège de dévalaison, on constate qu'il existe un déséquilibre amont/aval avec un faible taux de dévalaison par l'exutoire, d'individus capturés en migration vers l'amont dans l'échelle à poissons. Grâce à la technique de capture-marquage-recapture (ou détection), nous avons pu vérifier les flux amont-aval du barrage de Lorcé à l'échelle de l'individu. Les résultats affichent

une faible utilisation de l'exutoire de dévalaison (1%) après l'utilisation de l'échelle à poissons. Les individus capturés en dévalaison sont donc différents de ceux capturés en montaison. Il n'est toutefois pas impossible que ces individus en cours de déplacement vers l'aval utilisent d'autres voies de passages (vannes mobiles du barrage lors de leur abaissement ou les turbines) comme en témoignent la capture et la recapture de 6 individus dans l'échelle à poissons de Lorcé sans utiliser l'exutoire de dévalaison (dont 3 ont approché l'exutoire). Une étude télémétrique réalisée dans le passé, avant la mise en place de l'exutoire (Ovidio et al., 2007) avait montré que les barbeaux et hotus en phase de dévalaison post-reproduction avaient tendance à attendre des conditions de débits forts pour migrer par les vannes ouvertes. Le marquage d'individus d'espèces cibles et l'antenne RFID installée à l'entrée de l'exutoire ont permis d'observer que seulement 9% de ces individus marqués ont tenté une approche de l'exutoire. Le taux d'efficacité corrigé de l'exutoire pour ces espèces potamodromes ($= \text{Nb poissons recapturés} / \text{Nb poissons détectés à l'entrée de l'exutoire}$) est de 11%. Même s'il faut être conscient qu'un risque de mortalité par prédation et par la pêche ou une probabilité importante de rester dans le secteur amont (absence de migration de post-reproduction) sont non-négligeables, ces données suggèrent que l'exutoire de dévalaison de Lorcé, n'est pas efficace pour attirer en forte quantité des espèces potamodromes en migration de dévalaison. Il est impératif donc de prendre en compte ces résultats lors d'aménagements futurs au niveau de l'exutoire afin d'augmenter son efficacité à l'échelle multi-spécifique, même si pour les espèces potamodromes un décalage des possibilités de dévalaison via les vannes est moins grave que pour les espèces diadromes.

L'étude comparative des patrons de mobilité met en évidence l'existence de déplacements amont et aval pour certaines espèces. Ces timings de déplacement peuvent se produire en même temps ou légèrement décalés. Les adultes de salmonidés et de cyprinidés présentent partiellement des migrations de post-reproduction dans le sens de la dévalaison. En ce qui concerne les déplacements amont, ils sont généralement liés à des migrations de reproduction. On observe également à la fois pour des adultes que pour des juvéniles des phénomènes de déplacement en dehors de cette période de circum-reproduction, liés à des phénomènes de dispersion lors de recherche d'habitats de refuge ou d'alimentation. Ces résultats démontrent que la présence de dispositifs de franchissement qui favorisent la dévalaison et la montaison toute l'année (indépendantes des conditions hydrologiques) sur

un même site est bénéfique et favorise les échanges de matériel génétique de nombreuses espèces, en amont et en aval de certains biefs anciennement isolés, même si les quantités capturées sont faibles pour certaines espèces.

VI.CALCUL D'UN TAUX D'UTILISATION DE L'EXUTOIRE À L'AIDE DE LA TECHNOLOGIE RFID ET QUANTIFICATION DES VOIES DE PASSAGE

1. Introduction

Dans sa configuration actuelle, en configuration test, le débit de fonctionnement de l'exutoire de dévalaison du barrage de Lorcé est d'environ 200 l/s, donc largement inférieur au débit préconisé par le LDPH (Ovidio et al., 2007 et 2009). Cette situation est acceptée comme situation transitoire en attente de suivis scientifiques sur l'efficacité du système. Lors du projet FEP Amblève (Benitez et al., 2013, projet code : 32-1002-004), le taux d'attractivité de l'exutoire de dévalaison a été mesuré suite à des suivis comportementaux de smolts de saumon atlantique par technologie RFID. Une courte expérience sur la mesure de l'efficacité réelle via la recapture ponctuelle des individus, avait également été réalisée (Benitez et al., 2013). Ces études ont montré que l'exutoire de dévalaison présente un taux d'attractivité de 32% et un taux d'efficacité réel de 23% (évalué sur un faible échantillon d'individus). Cependant, cette étude préliminaire, bien qu'informatrice, n'était pas suffisante pour appréhender de manière suffisante l'utilisation réelle de l'exutoire, ce qui nécessite l'utilisation d'un système combiné de détection/piégeage sur plusieurs saisons consécutives de dévalaison. De plus, il subsiste une inconnue importante qui concerne l'identification et les taux d'utilisation des différentes voies de passages potentielles par les smolts en dévalaison (turbines, exutoire, vannes, débit réservé turbiné). Une telle approche nécessite la mise en place d'un jeu d'antennes de détections en aval du rejet des turbines et dans le débit réservé de la rivière. Cette étude de terrain, novatrice au niveau régional, mais aussi international, est un défi que nous avons tenté de relever dans cette action.

Cette troisième action a pour objectifs principaux :

- 1) De définir un taux d'attractivité et d'efficacité de l'exutoire de dévalaison de Lorcé en utilisant des smolts de salmonidés (saumon atlantique et truite de mer) comme modèles biologiques, ainsi que d'étudier le taux d'utilisation de l'exutoire avec une différenciation entre la détection (approche) et la détection/recapture.

- 2) De contribuer à l'amélioration des connaissances sur la dynamique de migration et les timings de dévalaison de smolts de saumon atlantique et de truite de mer dans le bassin de l'Amblève.
- 3) D'identifier et de quantifier l'utilisation des différentes voies de passage au niveau du barrage de Lorcé, dans le but de mieux appréhender le comportement des smolts dans la complexité du site hydroélectrique de Lorcé.

Cette étude doit permettre de mieux appréhender le comportement des smolts de saumon atlantique et de truite de mer dans une portion de rivière fortement anthropisée, d'analyser les différents facteurs qui influencent sur la préférence d'une voie de passage par rapport à une autre et d'estimer les conséquences de l'utilisation des différentes voies de passage.

2. Matériels et méthodes

2.1. Fonctionnement du complexe de détection RFID transpondeur-antenne-station

Le système de détection RFID (Radio Frequency IDentification) se compose de transpondeurs, de stations d'enregistrement automatique et d'antennes de détection. Les transpondeurs (Texas Instrument 23mm et 32mm GLASS TRANSPONDER) sont des marques semi-passives car elles ne sont activées qu'en présence d'un champ magnétique à une fréquence donnée. Ces transpondeurs ne possèdent pas de batterie, ont une durée de vie théorique infinie et ils sont adaptés à marquer de petits individus vu leur plus faible taille. Les antennes sont des dispositifs actifs qui émettent un champ magnétique à une fréquence donnée. Elles activent les transpondeurs en leur fournissant l'énergie dont ils ont besoin pour transmettre l'information de code individuel, qui sera associé à la date et l'heure de passage au niveau de la station automatique d'enregistrement, elle-même raccordée à l'antenne. Les données sont téléchargées directement sur un ordinateur connecté ou déchargées sur une clé USB sous format txt. Ce système fonctionne particulièrement bien lorsqu'il est possible de concentrer les poissons vers une voie de passage munie d'une antenne, comme dans le cas de la dévalaison via un exutoire ou dans un cours d'eau peu large et peu profond, et que le système est adaptable dans différentes configurations étant donné que la taille des antennes de détection doit être adaptée à chaque site d'étude. La station de détection RFID permet également un suivi automatisé 24h/24 et 7j/7, quel que soit les conditions météorologiques.

2.2. Marquage des poissons

Une incision de maximum 5mm est effectuée à l'aide d'un scalpel, au niveau de la cavité abdominale, sur les poissons préalablement endormis à l'Eugénol (0,2ml/l) pour permettre l'insertion de la marque. Ce marquage ne nécessite pas de points de suture et permet de relâcher les individus directement après une phase de réveil dans un bassin. Les individus sont placés quelques minutes dans une bassine d'eau fraîche, afin de permettre la récupération à la suite de l'anesthésie. Seuls les poissons de plus de 120mm à la fourche ont été marqués afin que l'émetteur ne dépasse pas 2% de la masse du poisson. Au-dessus de cette limite, on peut observer un impact potentiel sur le comportement (Jepsen et al., 2002).

2.3. Stations d'enregistrement et antennes RFID

2.3.1. Lorcé

L'exutoire de dévalaison est équipé à son entrée d'une antenne de détection rectangulaire de 80x100cm qui permet la détection des poissons marqués avec des marques RFID dans un rayon de 30cm. Ce dispositif permet d'identifier chaque individu préalablement marqué



Figure 1 : Antenne de détection RFID à l'entrée de l'exutoire de Lorcé.

lorsqu'il s'approche de l'exutoire, la date et l'heure de la détection sont enregistrées dans un coffret électronique (CIPAM) qui peut être branché à un ordinateur (figure 1).

2.3.2. Heid de Goreux

Quatre antennes ont été placées sur le site de Heid de Goreux, deux à la sortie du débit réservé (8km en aval du barrage de Lorcé) au niveau de l'échancrure (9,8m de large) de l'enrochement et deux dans le du canal de fuite de la centrale hydroélectrique (11,8m de large). Le choix de placer 4 antennes (2 x 2) a été décidé pour optimiser les détections sur des largeurs de sites très importantes (tests réalisés dans l'air avant installation, figure 2).



Figure 2 : Antenne RFID (>10m) testé en milieu aérien (Liège)

Les deux antennes du débit réservé sont constituées de 3 planches en bois marin sur lesquelles est fixé un tuyau de Socarex de 16mm de section à l'intérieur duquel se trouve le câble de détection unibrin de 2,5mm² de section. Afin d'améliorer la détection, chaque antenne est constituée de 2 tours de câbles. Ces antennes forment une boucle de 6 x 0,4 m et sont prolongées par 4m de câble formant la partie terminale de l'antenne (= la queue). Elles sont placées horizontalement, plaquées le plus possible contre le fond de la rivière et sont toutes deux maintenues immobiles par 5 tiges filetées métalliques fixées chacune à un plot de béton

(40kg) (figure 3). Cette position permet de minimiser le piégeage des embâcles charriés par la rivière.



Figure 3 : Antennes RFID installées dans le débit réservé hors de l'eau (en haut) et lestées dans l'eau (en bas)

Les deux antennes du canal de fuite sont placées perpendiculairement au sens du courant et soutenues par une corde sur tout le pourtour (figure 4). Elles mesurent chacune 5 x 0,6 m et possèdent une queue de 4m de long. Les caractéristiques du câble-Socarex sont les mêmes que pour les antennes du débit réservé. Les antennes sont fixées à chaque rive par des pitons ancrés aux structures existantes.



Figure 4 : Antennes RFID installées dans le canal de fuite de la centrale hydroélectrique de Heid de Goreux

Chaque antenne via sa « queue » est reliée à un boîtier d'accord RFID de marque CIPAM. Ces boîtiers placés en hauteur, sont eux-mêmes reliés aux stations d'enregistrement RFID par un câble coaxial double brin blindé de 40m (3 antennes) et 50m (1 antenne) de long (figure 5). Chaque station a la capacité de faire fonctionner simultanément deux antennes. Les deux stations sont placées à côté de l'entrée de la centrale hydroélectrique de Heid de Goreux.

Les 4 antennes de Heid de Goreux ont été numérotées de la rive gauche à la rive droite de 1 à 4 afin de faciliter l'identification de chaque antenne. Les antennes du canal de fuite sont donc les antennes 1 et 2 et les antennes du débit réservé, représentent les antennes 3 et 4 (figure 6).

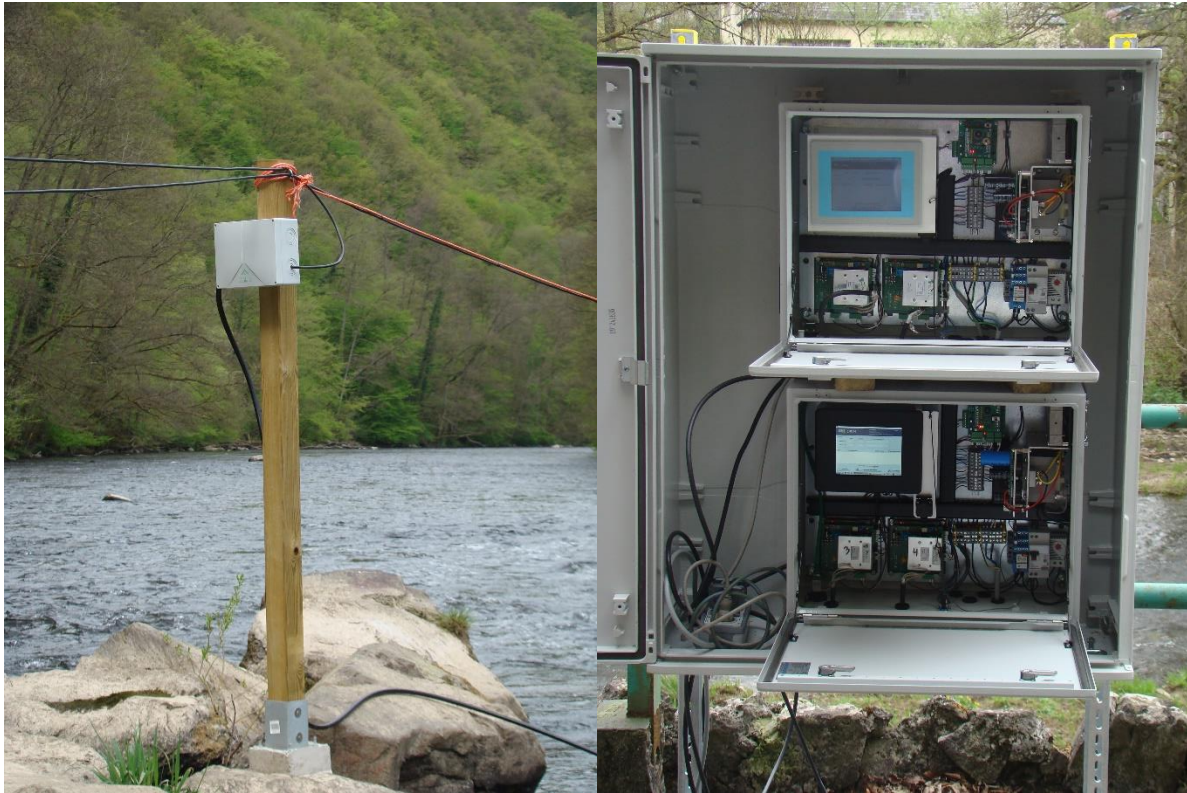


Figure 5 : Boitier d'accord (à gauche) reliant l'antenne RFID aux stations d'enregistrement automatique (à droite)



Figure 6 : Vue amont du dispositif de détection installé à Heid de Goreux avec les antennes 1 et 2 à gauche de l'image (canal de fuite) et les antennes 3 et 4 à droite (débit réservé au niveau de l'échancrure)

2.4. Systèmes de capture en dévalaison

2.4.1. Lorcé

Le piège de capture de dévalaison aménagé au barrage de Lorcé (figure 7) a été contrôlé de 2 à 5 fois par semaine durant la période d'étude. Les individus capturés sont endormis à l'Eugénol, identifiés, mesurés et pesés. Les marques individuelles sont scannées à l'aide d'un lecteur manuel (PSION workabout 2mx). Les données récoltées permettent d'étudier l'efficacité de l'exutoire en comparant le nombre d'individus capturés au nombre total d'individus déversés ou du nombre d'individus qui se sont approchés de l'entrée de l'exutoire. Certains individus « sauvages » en phase de dévalaison (saumon n=22, truite de mer n=4 et truite arc-en-ciel n=1) ont été capturés dans le piège de Lorcé, marqués et relâchés en aval du barrage afin d'augmenter les données permettant d'estimer le temps de parcours et le taux de survie du débit réservé. Les poissons ont été relâchés en aval du barrage dans le débit réservé en prenant soin de noter la date et l'heure de déversement.



Figure 7 : Piège de capture de dévalaison installé au niveau de l'exutoire de dévalaison du barrage de Lorcé

2.4.2. Méry

Un second piège de dévalaison, contrôlé dans le cadre du projet Saumon-Meuse (Ovidio et al., 2015) est présent sur le parcours de dévalaison des smolts. En effet, l'exutoire de dévalaison situé à Méry (figure 8), sur l'Ourthe, est muni d'un piège de capture. Ce site situé à 42km en aval de Lorcé et 34km de Heid de Goreux est caractérisé par la présence d'un barrage rampe et d'un canal d'amenée qui alimente une centrale hydroélectrique. Le passage vers l'aval est possible par le barrage même, les turbines et l'exutoire. Ce piège de capture permet d'obtenir des données sur les temps et vitesses de migration sur une portion de rivière moins fragmentée et sur le devenir des smolts déversés sur l'Amblève. Le mode opératoire pour le relevé des individus capturés est le même que pour Lorcé.



Figure 8 : Site de Méry (Ourthe) équipé d'un barrage rampe (à gauche) et d'un exutoire de dévalaison muni d'un piège de capture (à droite) au niveau de la centrale hydroélectrique de Méry

2.5. Campagnes de suivis comportementaux

Les suivis ont été réalisés durant deux saisons de migration. En 2014, avec une seule antenne RFID au niveau de l'entrée de l'exutoire et en 2015 avec le jeu d'antennes placé au niveau des différentes voies de passages.

2.5.1. Campagne 2014

Dans un premier temps, les smolts de saumon atlantique, provenant de la salmoniculture d'Erezée du SPW, ont été marqués individuellement à l'aide de marque RFID (HDX 23mm Texas Instrument®), le 12 mars 2014. Les smolts sont placés en stabulation au sein de la salmoniculture d'Erezée quelques semaines avant le déversement. Pour les suivis, les smolts ont été répartis en trois lots correspondant à trois sites de déversement (**A** : Stavelot en amont de la cascade ; **B** : Coo en aval de la cascade ; **C** : Lorcé au pont de Naze) (figure 9).

- **Site A** : 2,45 km en amont de la cascade de Coo et à 19,4km en amont du barrage de Lorcé.
- **Site B** : à 300 m en aval de la cascade de Coo et à 16,7km en amont du barrage de Lorcé au niveau du parking de Plopsa Coo.
- **Site C** : à 16,175 km aval de la cascade de Coo et à 1,075km en amont du barrage de Lorcé au lieu-dit « pont de Naze ».

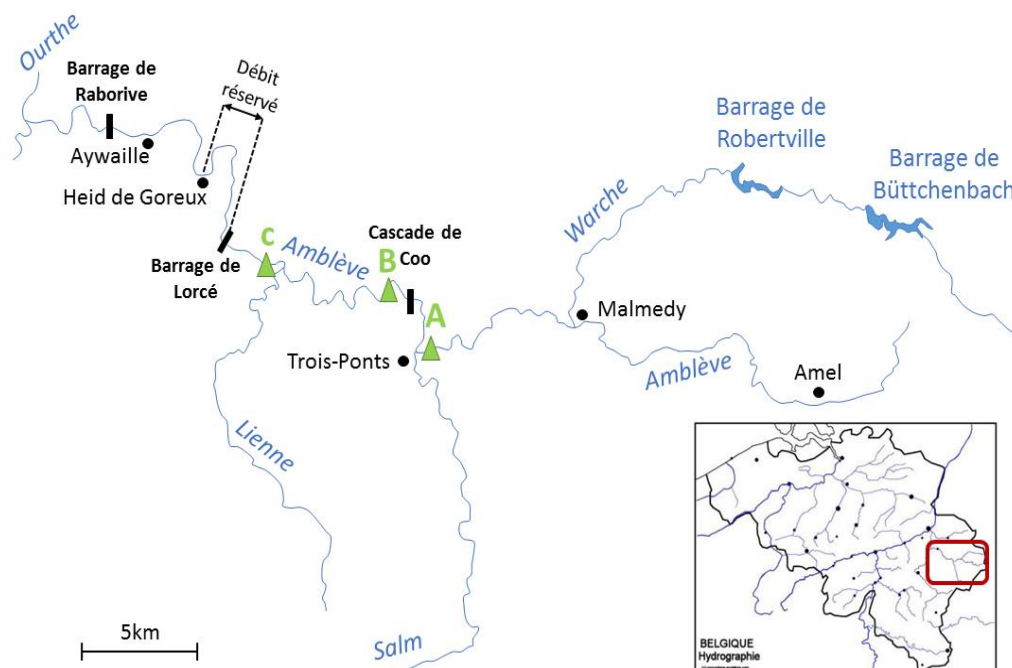


Figure 9 : Localisation géographique et tracé de l'Amblève incluant les principaux affluents, les principaux obstacles ainsi que les sites de déversement de la campagne 2014

A trois dates différentes, trois déversements de 50 individus sont réalisés sur chacun des sites, à l'exception du troisième déversement effectué sur les sites A et B avec respectivement 47 et 49 individus (N total=446 individus). En effet, 4 individus sont morts à la salmoniculture et n'ont pu être remplacés. La taille moyenne des smolts est de 136mm et ne varie pas significativement entre les lots (Test de Kruskal Wallis: $\chi^2_8 = 3,97$, $p = 0,860$). Le premier déversement de 3 lots s'est déroulé le 9 avril 2014, le deuxième le 15 avril 2014 et le troisième le 6 mai 2014 (tableau 1).

Tableau 1 : Dates de déversements des saumons atlantiques lors de la campagne 2014 ainsi que la température de l'eau, le débit et le nombre d'individus déversés

Date	T° (°C)	Q (m³/s)	Nb
09-04-14	10,7	5,6	150
15-04-14	8,8	4,9	150
06-05-14	13,3	4,8	146

2.5.2. Campagne 2015

Afin d'identifier les voies de passage au niveau du barrage de Lorcé, 300 smolts de saumon atlantique et 400 smolts de truite (2 déversements de 200 individus) (figure 10) en provenance de la pisciculture d'Erezée du SPW (smolts saumon) et de Chanxhe (smolts truite) ont été marqués à l'aide de transpondeurs de marque Texas Instruments® HDX de 32mm (figure 10). Le caractère non homogène des groupes est dû à la faible disponibilité en smolts de saumon et à leur état sanitaire (apparition de saprolégniose à la pisciculture d'Erezée du SPW et augmentation de la mortalité en stabulation). Le déversement des smolts de saumon en un seul groupe a donc été réalisé directement après le marquage afin d'éviter une mortalité supplémentaire. Pour compléter les lots, nous avons eu la possibilité d'utiliser des smolts de truites de mer. Les 400 smolts de truite ont pu être déversés en deux groupes séparés dans le temps. Cependant, il se peut qu'une partie des individus n'aient pas dévalé après le déversement car certains individus en phase de désmoltification ont été observés lors de la vidange des étangs de Chanxhe. Bien qu'une sélection au préalable ait été réalisée via des caractéristiques visuelles externes (perte de l'aspect argenté du poisson), la probabilité de la présence d'individus en phase de désmoltification au sein de nos 400 individus est réelle.

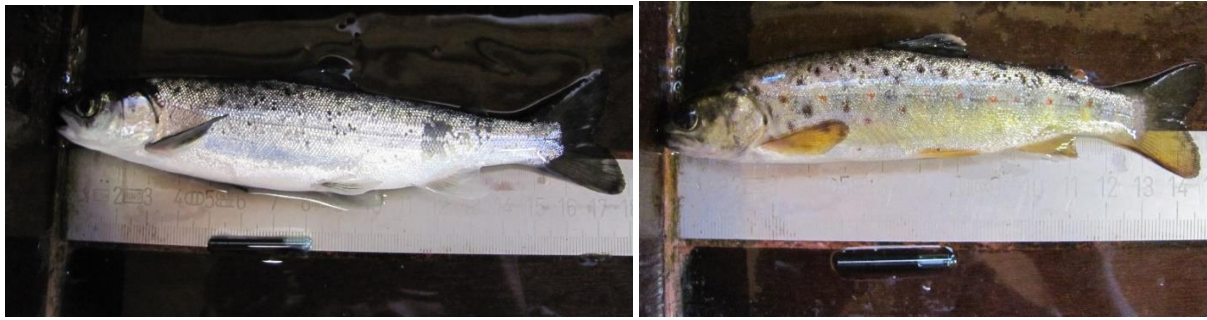


Figure 10 : Smolts de saumon atlantiques (à gauche) et de truite de mer (à droite) avec une marque RFID (32mm)

Les smolts ont été marqués le 21/04/2015 (saumon), le 28/04/2015 (truite lot n°1) et le 05/05/2015 (truite lot n°2). Ils ont tous été relâchés à Targnon à 3,75km en amont de Lorcé (figure 11) respectivement le 21/04/2015 à 16h, le 29/04/2015 à 12h et le 05/05/2015 à 13h (tableau 2). Le site de Targnon a été choisi comme site de déversement car il se situe suffisamment loin de la retenue d'eau de Lorcé, avec une vitesse de courant suffisante pour stimuler la migration et suffisamment près de Lorcé que pour éviter une trop grande perte d'individus par la distance entre le site de déversement et le site d'étude.

Tableau 2 : Dates de déversements des saumons atlantiques et truites de mer lors de la campagne 2015 ainsi que la température de l'eau, le débit et le nombre d'individus déversés

Date	T° (°C)	Q (m ³ /s)	Espèce	Nb
21-04-15	13,2	5,8	Saumon atlantique	300
29-04-15	9,8	5,4	Truite de mer	200
05-05-15	15,5	6,9	Truite de mer	200



Figure 11 : Déversement d'une partie des smolts de saumon (à gauche) et lieu du déversement, Targnon (à droite)

2.5.2.1. Détection des voies de passage

L'identification des voies de passage se fait via l'antenne de détection RFID de Lorcé et au piège de capture et via Heid de Goreux grâce aux 4 antennes de détection RFID. Plusieurs cas de figure sont possibles d'un point de vue détection et capture (figure 12) :

- un poisson peut être détecté à l'antenne de l'entrée de l'exutoire (n°9). Il peut ensuite être capturé dans le piège s'il a effectivement emprunté l'exutoire (n°11)
- un poisson peut être détecté aux antennes 1 ou 2 placées à la sortie du canal de fuite de Heid de Goreux (n°16), s'il emprunte le tunnel d'amenée à Lorcé et donc les turbines (n°6 et 14)
- un poisson peut être détecté aux antennes 3 ou 4 placées à la fin du débit réservé à Heid de Goreux (n°18), s'il a emprunté la microturbine de Lorcé (n°7), l'exutoire (n°11) ou les vannes mobiles du barrage de Lorcé (n°1).

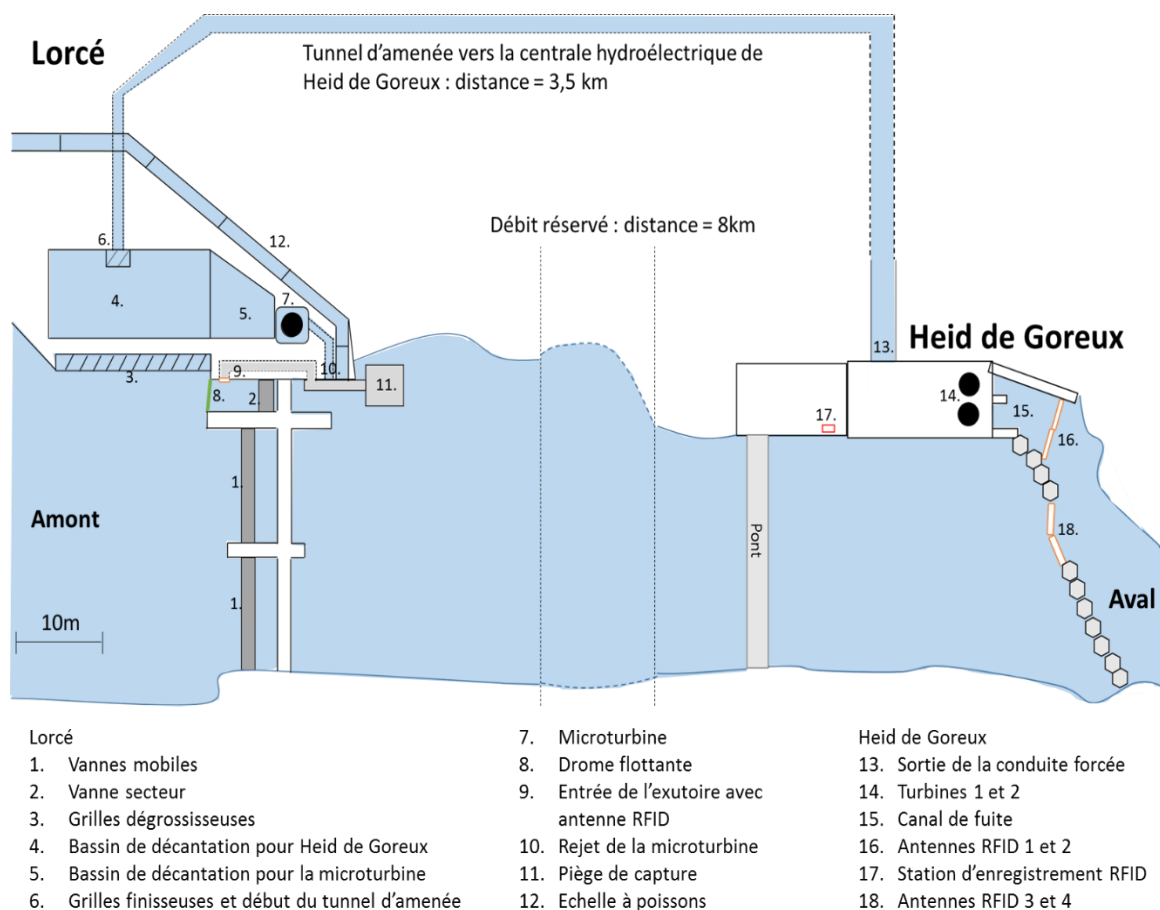


Figure 4 : Représentation schématique du complexe hydroélectrique de Lorcé-Heid de Goreux et des voies de passages potentielles pour les smolts : les vannes mobiles (1.), le tunnel d'amenée des turbines (6.) amenant à l'usine de turbinage de Heid de Goreux (13.), l'exutoire (9.) et la microturbine (7.). Les détections se font aux antennes de l'exutoire (9.), de la fin du débit réservé (18.) et du canal de fuite (16.).

2.5.2.2. Évènements perturbateurs

Bien que l'utilisation d'antennes de détection RFID soit une pratique courante dans l'étude du comportement des poissons, le matériel placé à Heid de Goreux est novateur par l'importance de la surface de détection couverte et par la localisation des antennes (notamment en aval des turbines). Peu d'études utilisent la technologie RFID pour étudier les voies de passages sur des sites de grande dimension, préférant souvent le radiopistage. Nous avons donc dû faire face à plusieurs problèmes techniques (tableau 3) et améliorer régulièrement le système afin d'augmenter le potentiel de détection des antennes. De plus à cause d'un débit trop important dû aux fortes pluies du mois de mars et début avril, l'installation des antennes de Heid de Goreux n'a débuté que le 13 avril 2015. Il n'a donc pas été possible au préalable de régler le matériel de manière optimale. L'installation et les réglages préliminaires se sont donc déroulés du 13 avril au 24 avril alors que les smolts de saumon avaient déjà été déversés.

Tableau 3 : Liste des différents problèmes pouvant perturber la fiabilité des résultats (avec date et lieu des événements)

Évènements	Date	Lieu
Antennes 3&4 non fonctionnelles	Du 21 avril (12h) au 22 avril (8h28)	Heid de Goreux
Antenne 1&2 non fonctionnelles	Du 22 avril (9h) au 23 avril (16h)	Heid de Goreux
Antenne 2 non fonctionnelle	Du 23 avril (12h) au 24 avril (15h59)	Heid de Goreux
Antenne 1&4 non fonctionnelles	Du 23 avril (16h) au 24 avril (14h24)	Heid de Goreux
Placement du câble Socarex sur les antennes 1&2	24 avril	Heid de Goreux
Antennes 1&4 non fonctionnelles	Du 25 avril (minuit) au 28 avril (15h58)	Heid de Goreux
Antennes 3&2 non fonctionnelles	Du 27 avril (15h07) au 28 avril (12h22)	Heid de Goreux
Vannes mobiles ouvertes	5 mai de 13h45 à 15h15	Lorcé
Dégrilleur non fonctionnel	Du 08 mai au 14 mai 2015	Lorcé
Fermeture inexplicquée de l'exutoire	Du 12 mai au 13 mai 2015	Lorcé
Vannes mobiles ouvertes	20 mai de 11h45 à 12h35	Lorcé

2.6. Obtention des données environnementales et de turbinage

Les données du débit pour le barrage de Lorcé ont été obtenues grâce au site Aqualim (SPW-DCENN). Nous avons additionné la moyenne journalière du débit de la station de La Gleize pour l'Amblève et celle de la station de Lorcé pour la Lienne afin de connaître le débit au barrage de Lorcé, situé en aval de ces deux stations. La température à Lorcé a été obtenue

grâce au relevé d'un enregistreur automatique de température (Onset TidBit) placé par le LDPH-ULg au niveau du barrage de Lorcé. Les données de turbinage (turbines principales et microturbine), de positionnement des vannes et des variations de la hauteur du plan d'eau de Lorcé ont été gracieusement mises à notre disposition par Electrabel-GDF-Suez propriétaire et exploitant du complexe Lorcé-Heid de Goreux.

3. Résultats

3.1. Conditions expérimentales

3.1.1. Température et débit

La température moyenne journalière de l'Amblève à Lorcé aux printemps 2014 et 2015 (figure 13) a augmenté continuellement dépassant le seuil de 8°C pour la première fois de l'année respectivement le 16 mars 2014 et le 19 mars 2015. Des variations parfois importantes se sont produites les deux printemps de l'ordre de plusieurs degrés aussi bien dans le sens positif que dans le sens négatif. Un maximum de 18,2°C a été observé le 22 mai 2014 contre 17,7°C le 13 mai 2015.

Le débit moyen journalier de l'Amblève (figure 13) présente un profil similaire les deux années de suivis avec une phase de diminution durant le mois de mars suivi d'une augmentation importante début mai en 2014 (+15m³/s) et fin mars à mi-avril en 2015 (+30m³/s).

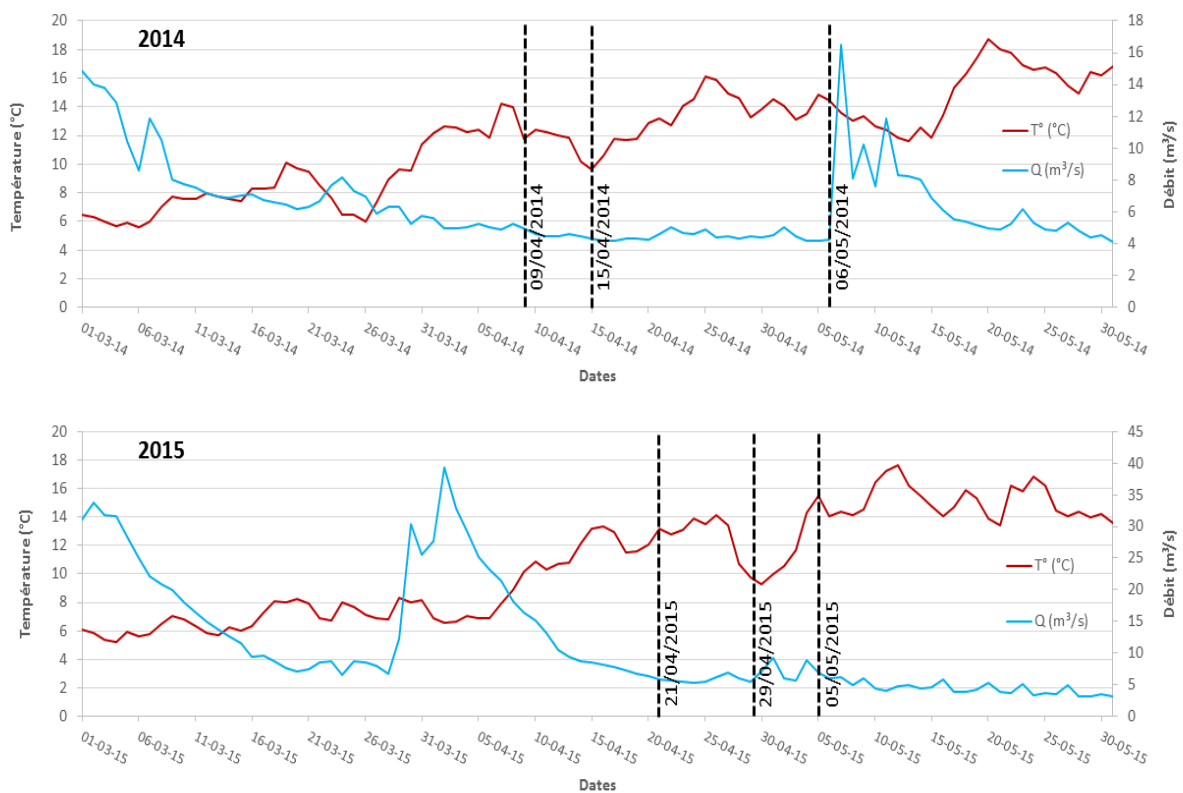


Figure 13 : Evolution de la température (°C) et du débit (m³/s) en 2014 (en haut) et en 2015 (en bas) au niveau du barrage de Lorcé (Amblève) durant les suivis comportementaux par technologie RFID printaniers. Les dates de déversements de smolts sont représentées par les lignes en pointillées

3.1.2. Abaissement des vannes mobiles du barrage de Lorcé

Le barrage de Lorcé est équipé de deux vannes mobiles dont la position est réglée automatiquement selon le débit de la rivière. Lors d'augmentations du débit supérieures à 30m³/s (capacité maximum de turbinage des turbines de la centrale de Heid de Goreux), une ou deux vannes s'abaisse(nt), ce qui a pour conséquence de faciliter le passage des poissons vers l'aval sans utiliser l'exutoire de dévalaison. Durant les suivis comportementaux printaniers par technologie RFID, les vannes 1 et 2 ont été abaissées:

- Aucune fois en 2014
- Du 01/03/15 au 05/03/15 : abaissement partiel (1/3) de la vanne 1
- Le 30/03/2015 (00h à 18h) : abaissement partiel (1/3) de la vanne 2
- Du 31/03/2015 au 06/04/2015 : abaissement partiel (1/2) de la vanne 2
- Le 05/05/15 (13h45 à 15h15) : abaissement partiel (1/3) de la vanne 2
- Le 20/05/2015 (11h35 à 12h35) : abaissement partiel (1/5) de la vanne 2

3.1.3. Niveau amont du barrage de Lorcé

Le niveau du plan d'eau amont du barrage de Lorcé peut changer selon les variations de débits de l'Amblève (figure 14) mais également selon le mode de fonctionnement de la centrale de Heid de Goreux. En effet, lors de faibles débits, les turbines de Heid de Goreux peuvent fonctionner par intermittence en vidant le plan d'eau lors du turbinage et en le laissant se remplir lors de l'arrêt des turbines. Cette variation du niveau, appelé marnage, entraîne une variation du débit entrant dans l'exutoire de dévalaison qui est placé en surface. Une grande partie du printemps 2014 (fin mars à début mai) était sujette au phénomène de marnage. Suite à ce problème d'alimentation de l'exutoire, il a été convenu avec Electrabel d'augmenter de 10cm la valeur maximum de niveau du plan d'eau de 178,9m en 2014 à 179m et de diminuer la variation du plan d'eau (0,3m) en 2015. On constate également que le phénomène de marnage est moins présent en 2015 et n'a été observé que du 20 mai au 31 mai 2015.

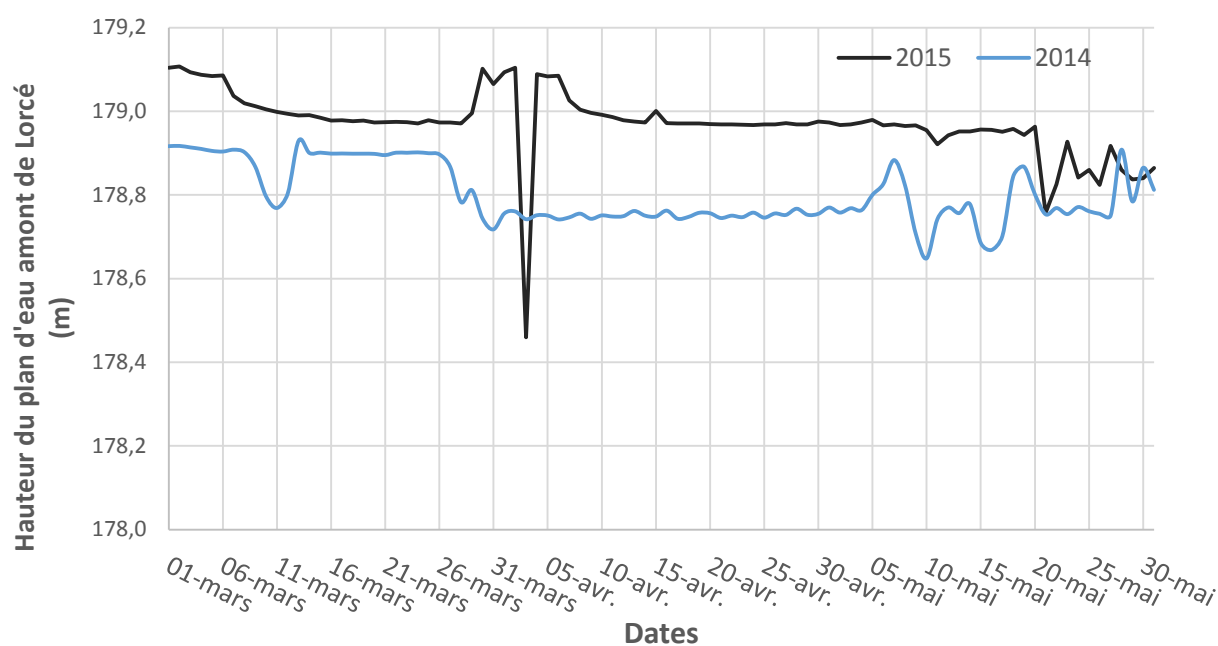


Figure 14 : Variation du niveau du plan d'eau amont du barrage de Lorcé via les données d'altitude de la surface du plan d'eau en 2014 (bleu) et en 2015 (noir)

3.2. Mesure de l'attractivité de l'exutoire de dévalaison

3.2.1. Détection des smolts à l'entrée de l'exutoire de dévalaison

Tableau 4 : Pourcentages de smolts saumon détectés à l'entrée de l'exutoire de dévalaison du barrage de Lorcé par date de déversement et lieu de déversement en 2014

Dates	Pourcentage détectés	Effectifs
09/04/2014	40,0%	N=150
15/04/2014	44,7%	N=150
06/05/2014	24,4%	N=146
Lieu		
Stavelot (A)	34,0%	N=147
Aval Coo (B)	37,6%	N=149
Pont de Naze (C)	38,0%	N=150
Total	36,4%	N=446

Parmi les 446 smolts de saumon atlantique marqués et déversés en **2014** en amont du barrage de Lorcé, 162 sont détectés à l'entrée de l'exutoire de dévalaison par l'antenne RFID. La proportion moyenne totale de smolts détectés par lot est de 36,4% (tableau 4). Elle varie significativement entre les dates de déversement (test χ^2 de Pearson, $p < 0,001$), mais est indépendante du lieu de déversement (test χ^2 de Pearson, $p = 0,866$). L'influence du lieu de

déversement n'influence pas le pourcentage d'attractivité malgré la distance et la présence de la cascade de Coo comme démontré en 2012 et 2013 (Benitez et al., 2013) et ne sera donc pas étudiée par la suite.

En **2015**, sur les 700 smolts de salmonidés (saumon + truite) marqués et déversés en amont du barrage de Lorcé, 124 individus ont été détectés à l'entrée soit 17% (tableau 5). Chez les smolts de saumons, avec 300 individus déversés en amont, N=66 (22%) ont été détectés à l'entrée de l'exutoire. Pour les smolts de truites (2 x 200 individus), N=34 (17%) pour le déversement n°1 et N=24 pour le n°2 (12%) ont été détectés. La date de déversement et l'espèce n'interviennent pas dans le pourcentage d'individus détectés à l'entrée de l'exutoire (test χ^2 de Pearson, $p < 0,05$).

Tableau 5 : Pourcentages de smolts saumon et de truite de mer détectés à l'entrée de l'exutoire de dévalaison du barrage de Lorcé par date de déversement en 2015

Dates	Espèce	Pourcentage détectés	Effectifs
21-04-15	Saumon atlantique	22%	N=300
29-04-15	Truite de mer	17%	N=200
05-05-15	Truite de mer	12%	N=200
Total		17%	N=700

3.2.1.1. Date de première détection à l'entrée de l'exutoire

En **2014** (figure 15), le premier smolt de saumon atlantique est détecté à l'entrée de l'exutoire le 9 avril 2014 et le dernier le 7 mai 2014. Les smolts déversés le 9 avril sont généralement détectés deux jours (=médiane) après le déversement, pour les smolts déversés le 15 avril la médiane est de 3 jours et pour les smolts déversés le 6 mai la médiane est de 1 jour. Après trois jours, plus de la moitié des smolts ont été détectés (62%) pour l'ensemble des lots. Le nombre d'arrivée à l'entrée de l'exutoire diminue ensuite progressivement pour les deux premiers lots. Les individus déversés le 6 mai 2014 sont détectés uniquement les deux jours suivants le déversement. Le coup d'eau survenu dans la nuit du 6 au 7 mai 2014 a entraîné une augmentation du plan d'eau amont et une surverse au niveau des vannes (données du niveau plan d'eau : augmentation de 30cm) avant le début du turbinage car les vannes ne se sont pas abaissées. De plus, la voie des turbines a probablement attiré les saumons vers cette voie plus attractive lors de telles conditions.

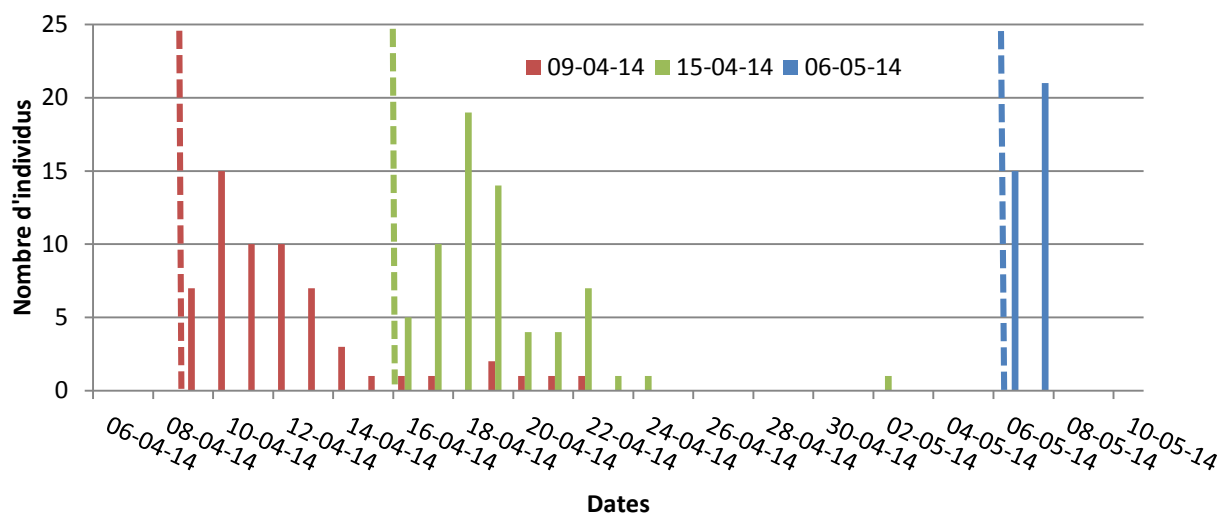


Figure 15 : Nombre d'individus détectés pour la première fois (date d'arrivée) à l'entrée de l'exutoire de Lorcé. Les lignes en pointillées correspondent à la date de déversement selon sa couleur : rouge le 9-04-14, vert le 15-04-14 et bleu le 06-05-14

En **2015** (figure 16), le premier smolt de saumon atlantique est détecté le 21 avril 2015 et le dernier le 5 mai 2015. Ils sont détectés deux jours (=médiane) après le déversement. Les smolts de truite sont détectés du 30 avril 2015 au 21 mai 2015. Les smolts du lot n°1 sont détectés peu de jours après leur déversement avec une valeur médiane de 2 jours alors que les individus du lot n°2 sont détectés sur une période plus étendue mais la médiane est de 1 jour.

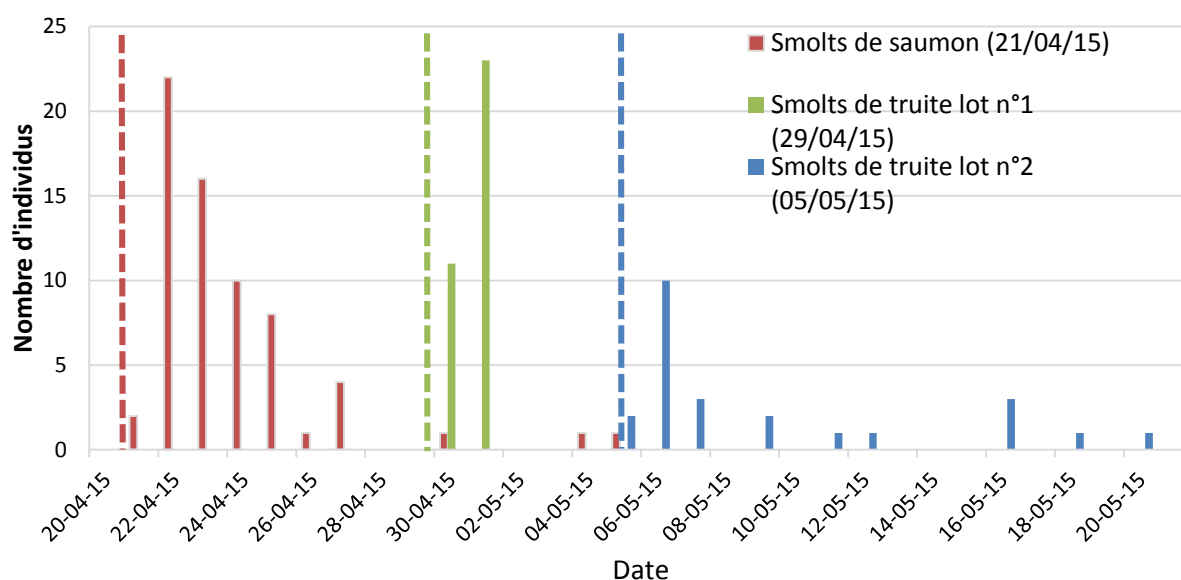


Figure 16 : Nombre d'individus détectés pour la première fois (date d'arrivée) à l'entrée de l'exutoire de Lorcé. Les lignes en pointillées correspondent à la date de déversement selon sa couleur : rouge (saumon atlantique) le 21-04-15, vert (lot n°1 truite de mer) le 29-04-15 et bleu (lot n°2) le 05-05-15

3.2.1.2. Heure de première détection

Les données de 2012 et 2013 (Benitez et al., 2013) de suivis de saumons atlantiques ont été ajoutées afin d'affiner les analyses. Pour les deux espèces, le saumon atlantique et la truite de mer, la majorité des premières détections se font dans l'obscurité (figure 17). En effet, plus de 80% des détections ont lieu entre 19h (crépuscule) et 6h. Le pic des premières détections se déroule généralement entre 21h et 00h pour le saumon atlantique alors qu'il se fait de 3h à 4h pour les truites.

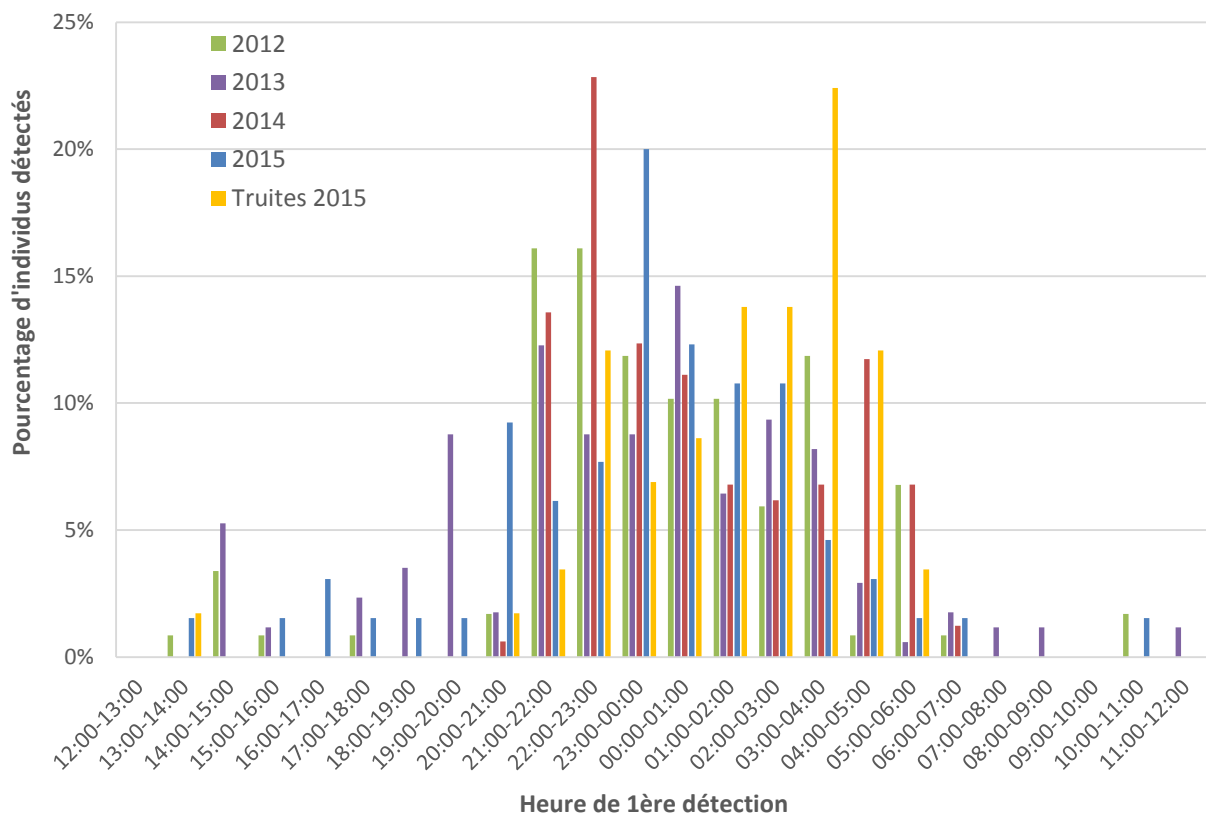


Figure 17 : Pourcentage d'individus détectés pour la première fois par heure à l'entrée de l'exutoire de Lorcé. Vert, mauve, rouge et bleu représentent les données de saumon atlantique alors que le jaune celles des smolts truites

3.3. Mesure de l'efficacité réelle de l'exutoire de dévalaison de Lorcé

Lors du suivi de 2014, 446 smolts de saumon atlantique sont déversés en amont du barrage de Lorcé. Parmi ces individus, N=162 sont détectés à l'entrée de l'exutoire de dévalaison. Un effectif de N=60 individus a été capturé dans le piège de capture après avoir emprunté

l'exutoire de dévalaison (tableau 6). Pour 2015, sur les 300 smolts de saumon atlantiques, N=66 ont été détectés et N=29 ont été capturés dans le piège de dévalaison. Pour les 400 smolts de truite, N=58 ont été détectés et N=20 ont été capturés. Les smolts peuvent franchir le barrage en empruntant d'autres voies de passage comme la conduite forcée, vers la centrale de Heid de Goreux, la microturbine du barrage de Lorcé, ou les vannes lors d'une surverse ou de l'abaissement de celles-ci. C'est pourquoi, tous les smolts détectés, qui se sont donc présentés devant l'entrée de l'exutoire, n'ont pas été capturés à la sortie du dispositif dans le piège. Ces données permettent de calculer un taux d'efficacité de l'exutoire (Nb individus capturés/Nb individus déversés) et un taux d'efficacité corrigé (Nb individus capturés/Nb individus détectés). Le taux d'efficacité global pour le saumon atlantique et la truite de mer est de respectivement 12,8% et 5%. Le taux d'efficacité corrigé global est de 38% pour le saumon atlantique et de 32% pour la truite de mer.

Tableau 6 : Données de capture et de détection au niveau de l'exutoire de Lorcé par déversement pour les deux campagnes de suivis (2014 et 2015) avec la date de déversement, l'espèce, le nombre de poissons déversés, le nombre détectés, le nombre capturés, le pourcentage d'efficacité et le pourcentage d'efficacité corrigé

Date	Espèces	Nb déversés	Nb détectés	Nb capturés	% efficacité	% efficacité corrigée
09-04-14	Saumon atlantique	150	60	22	15%	37%
15-04-14	Saumon atlantique	150	66	27	18%	41%
06-05-14	Saumon atlantique	146	36	11	8%	31%
Total 2014		446	162	60	13%	37%
21-04-15	Saumon atlantique	300	66	29	10%	44%
29-04-15	Truite de mer	200	34	16	8%	47%
05-05-15	Truite de mer	200	24	4	2%	17%
Total 2015		700	124	49	7%	40%

3.4. Temps de présence devant l'exutoire

Le temps de présence devant l'entrée de l'exutoire de dévalaison est déterminé en calculant la durée entre la première et la dernière détection (figure 18). Elle est inférieure à 30 minutes

pour plus de 60% des individus, pour les smolts capturés ou non, en 2014 et 2015 et pour le saumon atlantique et la truite de mer. Le nombre de détection diminue ensuite progressivement. Le temps passé devant l'entrée de l'exutoire n'est pas significativement différent entre les individus qui ont été capturés dans le piège de dévalaison et les individus seulement détectés à l'entrée de l'exutoire (test Mann-Whitney: $p > 0,05$).

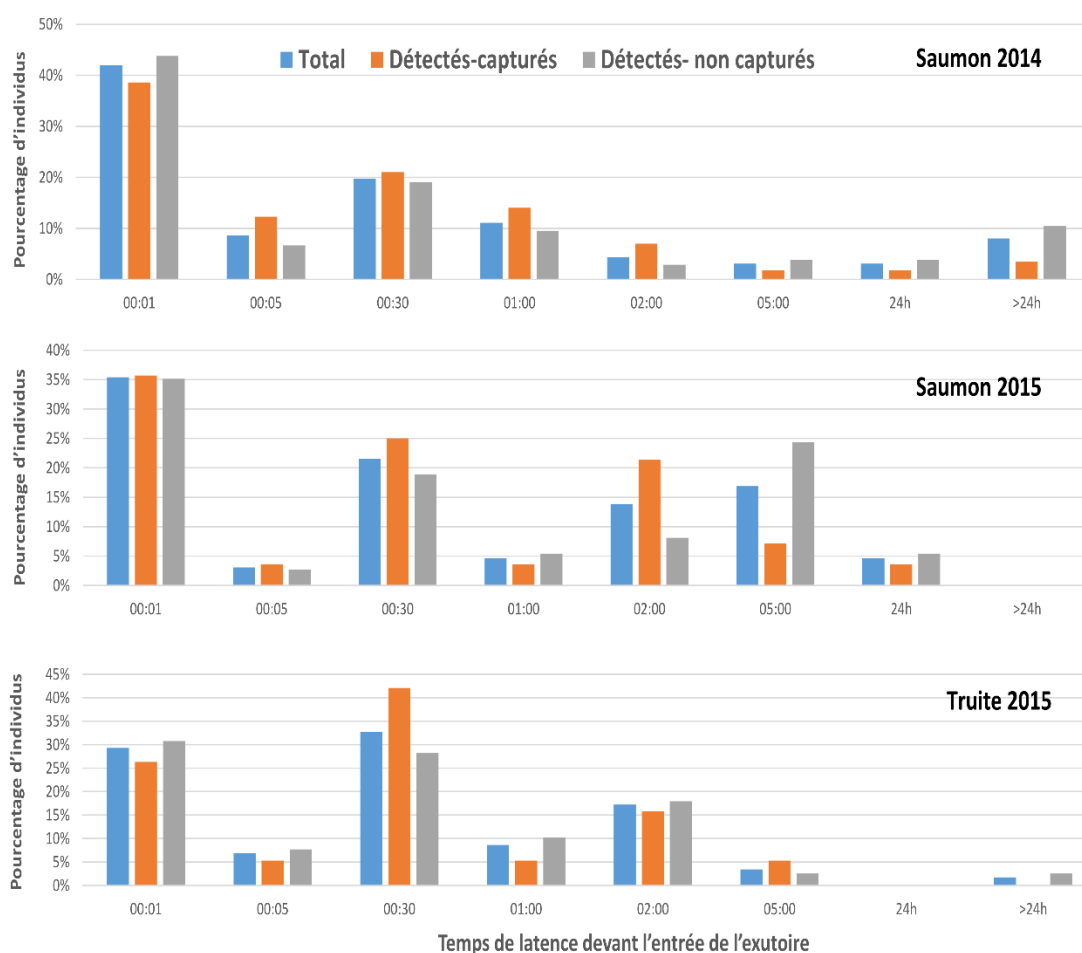


Figure 18 : Pourcentage du nombre d'individus par catégorie de temps passé devant l'exutoire de Lorcé. Groupes : total (en bleu), détectés et capturés (en orange) et détectés et non capturés (en gris). Saumon de 2014 (en haut) de 2015 (au milieu) et truite de mer 2015 (en bas)

3.4.1. Influence de la taille sur le temps passé devant l'exutoire

Une autre variable pouvant expliquer l'utilisation ou non de l'exutoire de Lorcé est la taille du poisson (tableau 7). La taille influence la capacité de nage, qui est plus importante plus le poisson est grand. La taille des smolts de saumons atlantiques lors de la campagne 2014 n'est pas significativement différente selon que les smolts aient été détectés ou non à l'entrée de

l'exutoire puis capturés ou non dans le piège de dévalaison du barrage de Lorcé (Kruskal-Wallis $p = 0,898$). Ce constat est le même pour la campagne 2015, à la fois pour les smolts de saumons atlantiques mais également pour les smolts de truite de mer (Kruskal-Wallis $p > 0,05$).

Tableau 7: Taille moyenne des individus (écart-type) selon l'année de suivis, l'espèce, la détection ou non et la capture ou non du poisson

	Année	Espèce	Non détectés	Détectés	Non capturés	Capturés
Taille moyenne en mm (EC)	2014	Saumon	136,2 (6,2)	136,3 (6,4)	136,4 (6,1)	136,2 (6,2)
	2015	Saumon	138,8 (8,1)	139,9 (7,32)	138,8 (7,4)	138,8 (9,0)
	2015	Truite	206,9 (14,2)	207,6 (13,1)	208,3 (10,4)	207,2 (14,3)

3.4.2. Influence du niveau d'eau lié au marnage

Uniquement lors de la campagne 2014, un marnage régulier d'environ 40cm a été constaté au niveau de la retenue d'eau du barrage de Lorcé. Ce marnage pouvait intervenir 2 à 3 fois par jour. Dans ces conditions, la hauteur de la lame d'eau pénétrant dans l'exutoire est fluctuante, ce qui peut influencer l'efficacité de l'exutoire. Le nombre de dernière détection (décision d'utiliser ou non l'exutoire) en fonction du fait que l'individu soit capturé ou non n'est pas significativement différent (Mann-Whitney, $p=0,8$) bien qu'il existe une augmentation de l'attractivité de l'exutoire suite à l'augmentation du niveau d'eau (corrélation de Spearman : $p=0,036$).

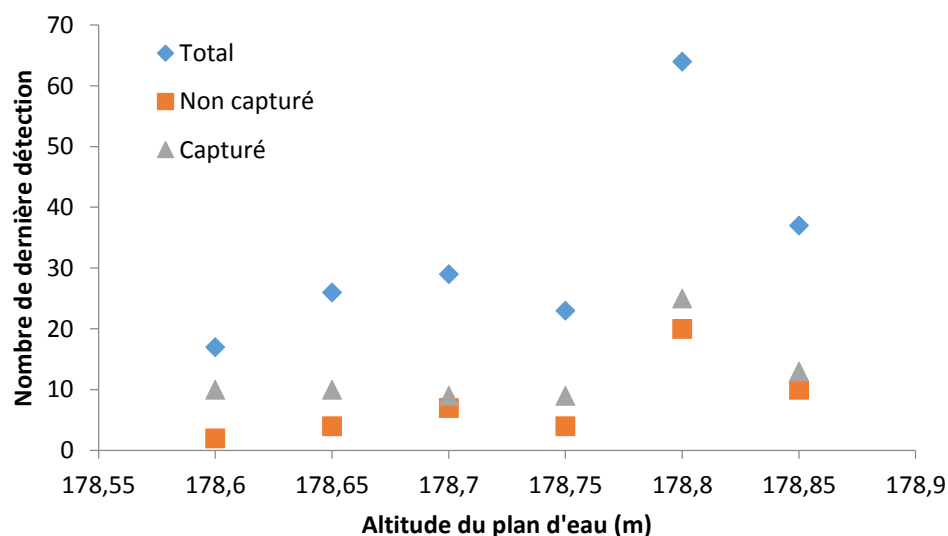


Figure 19 : Nombre de dernière détection en fonction de l'altitude de la surface du plan d'eau amont du barrage de Lorcé pour le total des individus détectés (bleu) et qu'ils soient capturés (orange) ou non (gris)

3.5. Capture d'individus marqués dans le piège de Méry (Ourthe)

Certains des individus non capturés parviennent à dévaler en empruntant soit le débit réservé via la microturbine et les déversoirs lorsqu'un débit élevé entraîne une surverse, soit le canal d'aménée de la centrale de Heid de Goreux. Ils sont capturés, avec les individus « sauvages » ayant emprunté l'exutoire, dans le piège de Méry (sur l'Ourthe) en aval du complexe hydroélectrique Lorcé-Heid de Goreux. Lors de la campagne de marquage 2014, parmi les 446 smolts déversés (=N total) en amont du barrage de Lorcé en 2014, 9% (N=40) ont été capturés dans le piège installé à la sortie de l'exutoire du barrage de Méry. La date de déversement n'influence pas significativement la capture dans ce piège (test χ^2 de Pearson: $\chi^2_2= 1.468$, $p= 0,48$). De plus, environs 65% (N=26) des smolts capturés dans le piège de Méry, le sont sans avoir été détectés à l'entrée de l'exutoire de dévalaison du barrage de Lorcé alors que seulement 15% ont emprunté successivement l'exutoire de dévalaison de Lorcé puis de Méry. Les résultats de 2015 seront présentés en perspectives des voies de passages utilisées.

3.6. Analyse quantitative des voies de passage utilisées par les smolts (uniquement campagne 2015)

Comme observé ci-dessus, lors de campagnes de suivis 2014 avec la capture de smolts à Méry situé en aval (cf. point 3.5.) sans être détecté à l'entrée de l'exutoire ou capturé dans le piège de capture en dévalaison, il existe d'autres voies de passage pour les poissons au niveau du barrage de Lorcé. C'est pour cette raison que la campagne 2015 est différente d'un point de vue stratégie de déversement. Pour rappel, les lots de smolts comprennent 300 individus pour le saumon atlantique et 2X200 pour les smolts de truite. Les résultats de détection et de capture sur l'ensemble du complexe démontrent l'existence d'autres voies de passage (figure 20).

Le déversement de smolts de saumon comprend le plus grand nombre d'individus détectés à l'antenne de l'entrée de l'exutoire de Lorcé avec $n=66$, soit 22% des smolts de saumon déversés. Parmi ceux-ci, 29 individus (9,6% du total du lot déversé) ont emprunté l'exutoire et ont été capturés dans le piège puis remis en aval, ce qui représente 44% des smolts détectés à l'entrée de l'exutoire. Trois poissons capturés ont été trouvés morts dans le piège (entre

deux contrôles). Seuls 4 des individus relâchés en aval de Lorcé ont été détectés à Heid de Goreux par après (13% des smolts capturés à Lorcé). Aucun individu capturé à Lorcé n'a été recapturé dans l'Ourthe à Méry. Les poissons qui ont emprunté la voie de passage des turbines principales sont au nombre de 5, soit 1,6% du nombre total de saumons déversés et ceux qui sont passés par la microturbine de Lorcé sont au nombre de 12 (dont 5 détectés à l'entrée de l'exutoire de Lorcé), soit 4% du nombre total de saumons déversés. Un individu qui a emprunté les turbines et 2 individus qui ont emprunté la microturbine ont été capturés à Méry et aucun de ces individus n'a été détecté à l'entrée de l'exutoire de Lorcé.

Pour le déversement n°1 des truites, n=34 individus ont été détectés à Lorcé (17% du total du lot déversé) et parmi ceux-ci, n=16 individus ont été capturés dans le piège, soit 8% du nombre total et 47% du nombre d'individus détectés. Parmi eux, un poisson a été trouvé mort dans le piège (entre deux contrôles). Seul un des individus capturés a été détecté à Heid de Goreux, soit 0,5% du nombre total d'individus déversés et 6,3% du nombre d'individus capturés vivants. Les smolts détectés à Heid de Goreux et qui ne sont pas passés par l'exutoire sont au nombre de 39 (19,5% du total du lot déversé). Parmi ceux-ci, 27 individus (dont n=1 détecté à Lorcé) sont passés par le tunnel d'amenée et ont été détectés à la sortie du canal de fuite, soit 13,5% du nombre de truites du déversement n°1, et 14 individus (dont n=1 détecté à Lorcé) sont passés par la microturbine de Lorcé et ont été détectés à la fin du débit réservé, soit 7% du nombre de truites du déversement n°1. Un seul poisson détecté à Heid de Goreux (aux antennes du débit réservé) a été recapturé dans l'Ourthe à Méry.

Pour le déversement n°2 des truites, n=24 individus ont été détectés à l'entrée de l'exutoire de Lorcé (12% du total du lot déversé) et n=4 individus ont été capturés dans le piège de dévalaison (dont un mort), soit 33% des individus détectés et 2% du total des individus déversés. Seul un de ces individus a été détecté à Heid de Goreux (soit 25% des individus capturés et 0,5% du total). Parmi les n=14 individus détectés à Heid de Goreux, 9 (dont n=4 détectés à Lorcé) ont emprunté la voie des turbines de Heid de Goreux, soit 4,5% du nombre total d'individus déversés, et n=5 (dont n=3 détectés à Lorcé) ont emprunté la voie de la microturbine de Lorcé, soit 2,5% du nombre total d'individus déversés. Aucun poisson du déversement n°2 n'a été recapturé dans l'Ourthe à Méry.

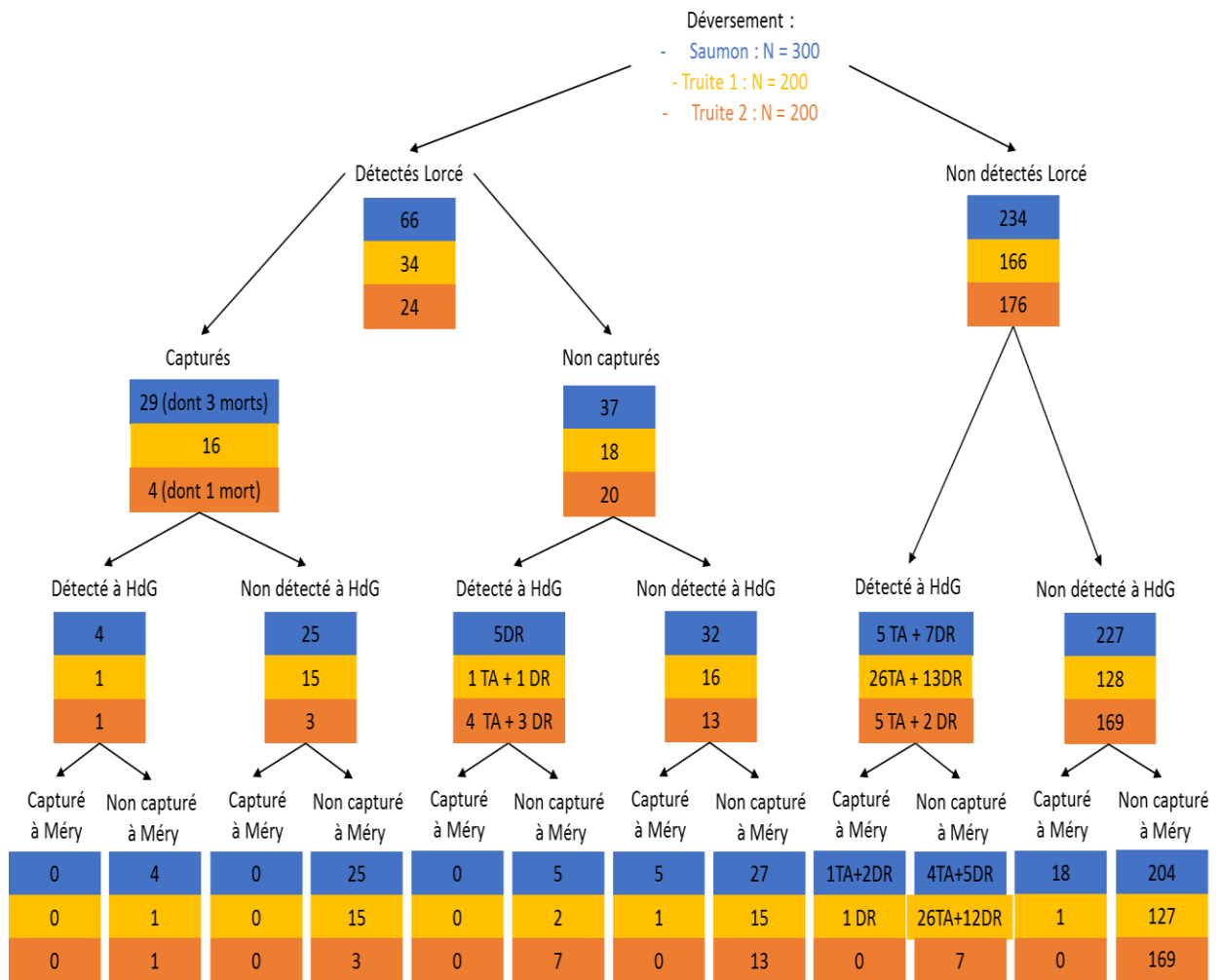


Figure 20 : Représentation schématique du nombre de smolts détectés sur les sites de Lorcé et Heid de Goreux (HdG) et des données de capture des exutoires des sites de Lorcé et de Méry pour les déversements du 21 avril (saumon), 29 avril (truite) et du 5 mai 2015 (truite). TA = tunnel d'amenée (passage par les turbines de Heid de Goreux) et DR = débit réservé (passage par la microturbine)

Parmi les individus non préalablement équipés de transpondeurs RFID (n=22 smolts de saumon, n=4 smolts de truite et n=1 smolt de truite arc-en-ciel) capturés dans le piège de Lorcé et marqués, seuls trois individus ont été détectés par la suite : le smolt de truite arc-en-ciel, relâché en aval du barrage de Lorcé le 26-04-2015, a été recapturé à Méry le 6-05-2015 et deux smolts saumons, relâchés respectivement le 27-04-2015 et le 30-04-2015 à Lorcé, ont été détectés le 5-05-2015 à Heid de Goreux aux antennes 3 et 4. Le smolt saumon relâché le 30-04-2015 a également été recapturé à Méry le 11-05-2015.

3.6.1. Analyse des périodicités de détection pour les autres voies de passage

3.6.1.1. *Date et heure des premières détections à Heid de Goreux aux antennes situées en aval des turbines principales*

Les smolts détectés aux antennes placées en aval des turbines de Heid de Goreux sont ceux qui ont emprunté le tunnel d'amenée des turbines à Lorcé. Pour les 5 smolts de saumon qui ont emprunté le tunnel d'amenée, 15 jours se sont écoulés entre le passage du premier smolt (21 avril 2015) et le passage du dernier smolt (6 mai 2015) (figure 21). Les smolts de saumon ont donc emprunté les turbines de manière solitaire. Les 25 smolts de truite du déversement n°1 qui ont emprunté les turbines de Heid de Goreux ont été détectés entre le 30 avril et le 4 mai 2015 (figure 21). La plus grande partie des individus sont passés par les turbines le 30 avril (n=5) et le 1^{er} mai (n=18), soit respectivement un et deux jours après leur déversement réalisé le 29 avril 2015. Pour le déversement n°2 des truites effectué le 5 mai 2015, la période de détection s'étend du 6 mai au 14 mai 2015, soit 8 jours. Sur 9 smolts de truite, 8 sont passés entre le 6 et le 8 mai. Les smolts de truite ont donc été détectés peu de temps après leur déversement à Targnon, tandis que les smolts de saumon ont atteint le canal de fuite de manière moins homogène.

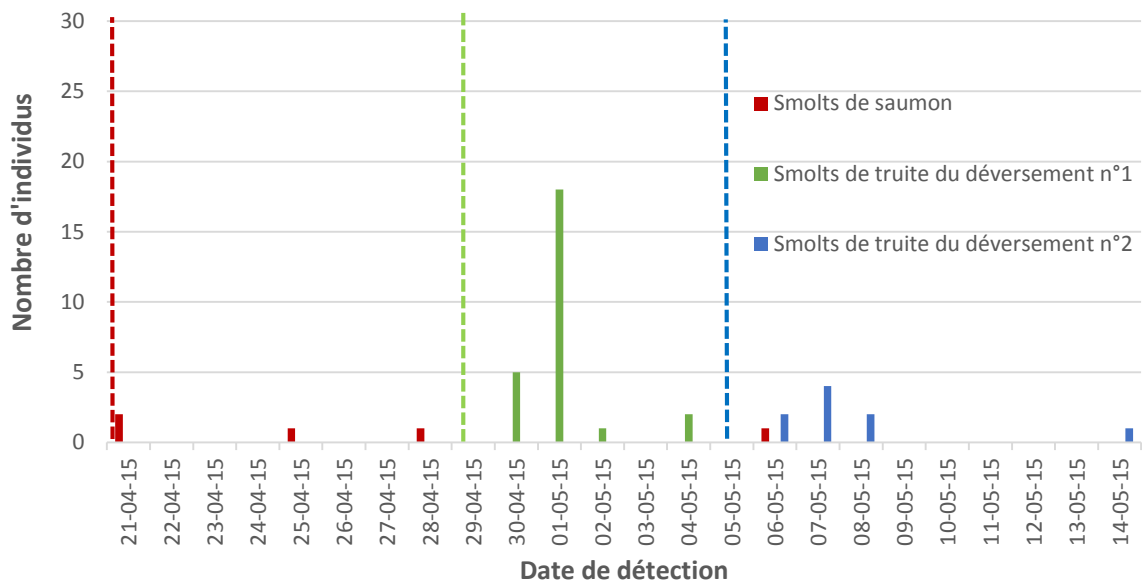


Figure 21 : Nombre d'individus détectés pour la première fois (date d'arrivée) aux antennes situées dans le canal de fuite de la centrale de Heid de Goreux (passage par les turbines principales). Les lignes en pointillées correspondent à la date de déversement selon sa couleur : rouge (saumon atlantique) le 21-04-15, vert (lot n°1 truite de mer) le 29-04-15 et bleu (lot n°2) le 05-05-15

Les heures de passage par les turbines de Heid de Goreux des smolts de saumon et de truite sont majoritairement nocturnes (figure 22). Chez les saumons, tous les individus sont détectés entre 20h et 2h, à l'exception d'un individu passé entre 18h et 19h. Chez les truites, le plus grand nombre de détections se fait entre 2h et 5h, avec respectivement 5, 6 et 5 individus détectés par heure, soit 14%, 17% et 14% des détections totales (donc 45,7% du total des détections) (figure 22). Contrairement aux smolts de saumon, certains smolts de truite sont détectés en journée, avec 1 ou 2 individus par heure. Il est important de noter la présence de cas particuliers parmi les smolts de truite détectés :

- Un smolt de truite est resté du 01-05-15 (détection à 04:08:40) au 05-05-15 (détection à 21:39:35) dans le canal de fuite (détections à l'antenne 2)
- Un smolt de truite a été détecté deux fois à l'antenne 2 le 6-05-15 à 10:12:43 et à 21:49:12

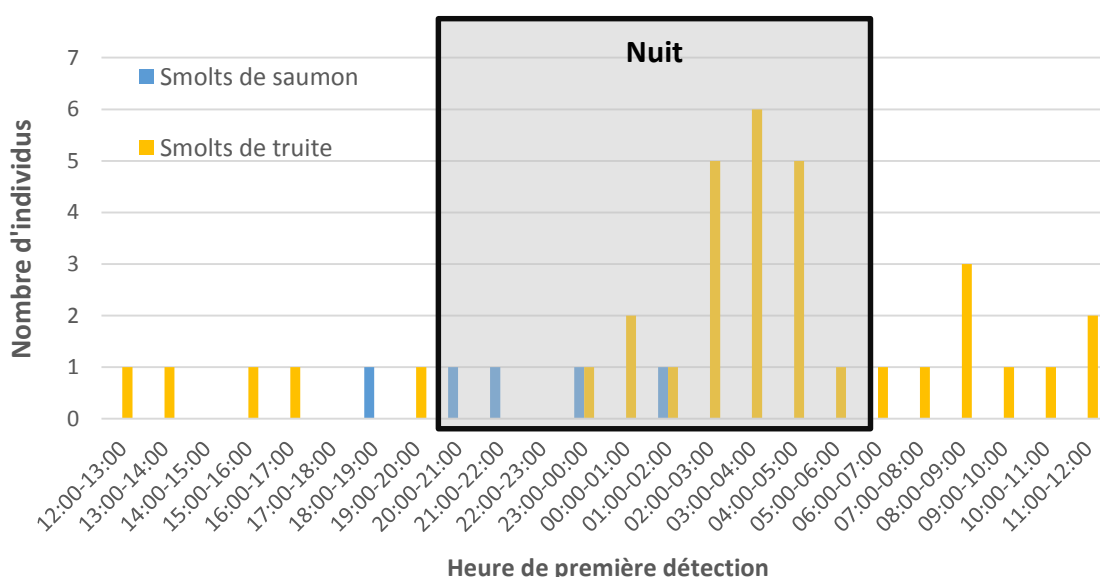


Figure 22 : Nombre d'individus détectés par heure pour la première fois aux antennes situées dans le canal de fuite de la centrale de Heid de Goreux (passage par les turbines principales). Bleu : saumon atlantique et jaune : truite de mer

3.6.1.2. Date et heure des premières détections à Heid de Goreux aux antennes de la fin du débit réservé

Les individus détectés aux antennes de la fin du débit réservé sont soit passés par l'exutoire de dévalaison (voies de passage identifiable) soit par la microturbine de Lorcé ou les vannes mobiles. Les 17 détections des smolts de saumon se font sur une période de 13 jours, la première a eu lieu un jour après le déversement (figure 23). Les smolts de saumon sont arrivés

à la fin du débit réservé de manière solitaire, sauf les 25 avril et le 4 mai où 4 smolts ont été détectés chaque jour. Les smolts de truite des deux déversements sont arrivés individuellement à la fin du débit réservé, sauf les 3 et 5 mai où 2 smolts ont été détectés par jour. Ils ont cependant un patron de détection différent selon le déversement :

- Les 15 smolts de truite du déversement n°1 détectés à Heid de Goreux ont été détectés sur une période de 37 jours, à partir du jour suivant leur déversement.
- Les 6 smolts de truite du déversement n°2 détectés à Heid de Goreux ont été détectés sur une période de 12 jours mais le premier a été détecté 5 jours après le déversement.

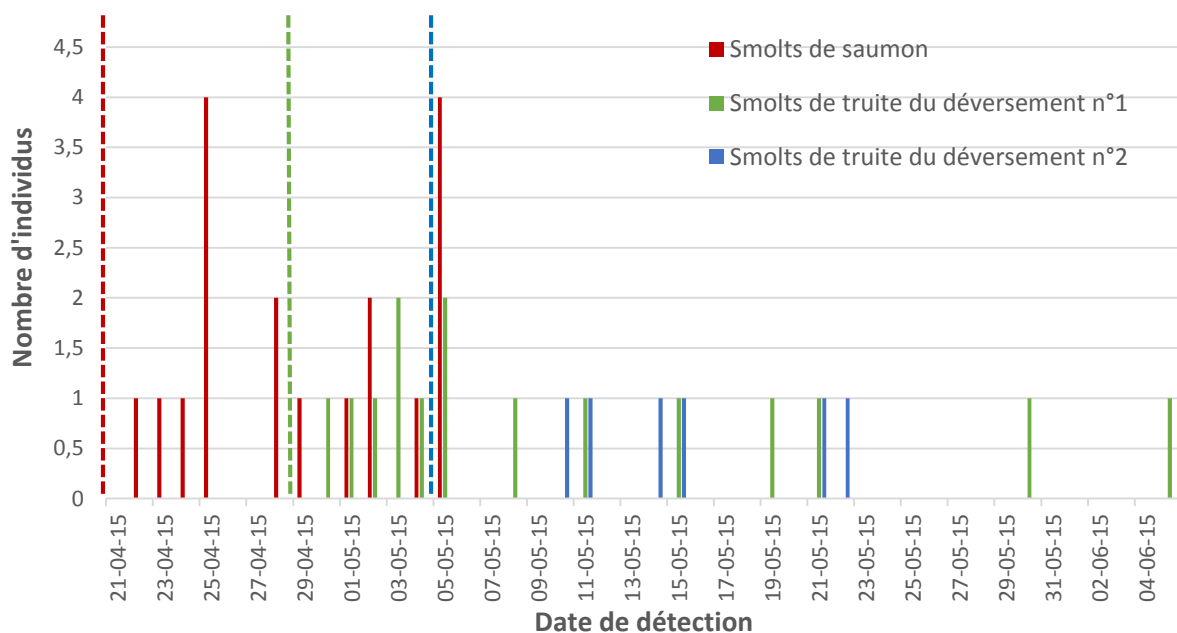


Figure 23 : Nombre d'individus détecté pour la première fois (date d'arrivée) aux antennes situées dans le débit réservé à Heid de Goreux (passage par la microturbine, vannes mobiles ou exutoire). Les lignes en pointillées correspondent à la date de déversement selon sa couleur : rouge (saumon atlantique) le 21-04-15, vert (lot n°1 truite de mer) le 29-04-15 et bleu (lot n°2) le 05-05-15

Les heures de passage des smolts de saumon sont assez dispersées dans la journée (figure 24). On peut néanmoins observer que la majorité des passages se déroule de nuit, entre 22h et 3h (soit 11 des 18 individus détectés, ce qui représente 61% des détections). En dehors de ces heures, tous les individus passent de manière isolée, sauf deux individus qui sont détectés entre 11h et 12h. Les heures de passage des smolts de truite sont regroupées durant la nuit entre 22h et 8h (soit 20 des 21 détections), sauf un individu isolé dont le passage s'est fait entre 17h et 18h (figure 25). Quatre pics de 3 individus par heure ont été observés entre 2h et 6h, soit 14,3% des détections pour chaque pic. Plus de la moitié du nombre total des détections, soit 57,1%, sont observées entre 2h et 6h.

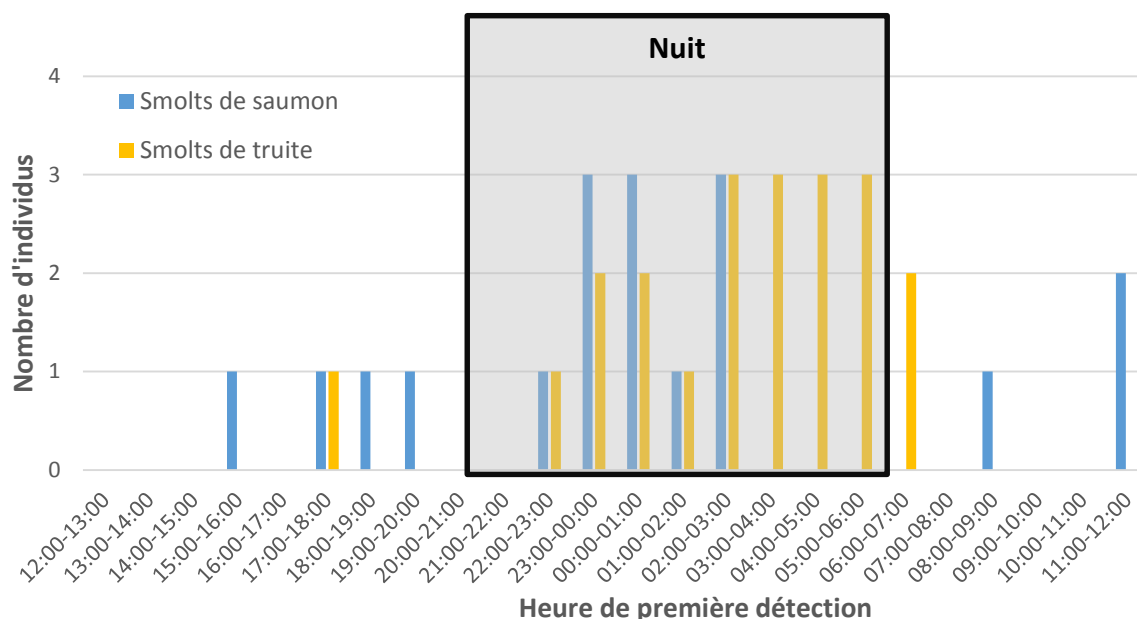


Figure 24 : Nombre d'individus détectés par heure pour la première fois aux antennes situées dans le débit réservé à Heid de Goreux (passage par la microturbine, vannes mobiles ou exutoire). Bleu : saumon atlantique et jaune : truite de mer

3.7. Incidence de différents facteurs sur l'utilisation des voies de passage par les smolts

Différentes variables (temps d'attente, taille des individus et conditions hydrologiques et physiques) ont été étudiées de manière statistique afin de déterminer leur influence potentielle sur l'utilisation des différentes voies de passage.

3.7.1. Etude de l'impact du temps d'attente à l'entrée de l'exutoire sur la voie de passage empruntée par les individus

Les temps d'attente moyens devant l'entrée de l'exutoire à Lorcé par les individus des différentes espèces, varient selon la voie de passage (tableau 8).

Tableau 8 : Temps d'attente moyen (en heure) en fonction de la voie de passage choisie (ex : passage par l'exutoire ; μ turb = passage par la microturbine de Lorcé ; turb = passage par les turbines de Heid de Goreux)

	Saumon			Truite déversement n°1			Truite déversement n°2		
	Ex	μ turb	turb	Ex	μ turb	turb	Ex	μ turb	turb
Nombre d'individus	28	5	0	16	1	1	4	3	4
Temps d'attente moyen (EC)	1:26:34 (1:50:39)	1:17:55 (1:00:05)	-	0:40:51 (0:45:16)	0:00:00	0:42:36	0:10:34 (0:04:49)	0:33:58 (0:30:16)	0:26:59 (0:30:17)

Pour les smolts de saumon, il n'y a pas de différence significative au niveau du temps d'attente entre les smolts qui ont emprunté l'exutoire (capturé dans le piège de dévalaison) et ceux qui ont emprunté la microturbine (individus détectés à l'entrée de l'exutoire puis directement à la fin du débit réservé à Heid de Goreux) (test de Mann-Whitney, p-value = 0,1631). Aucun individu passé par les turbines n'a été détecté à l'entrée de l'exutoire auparavant. Pour les smolts de truite des deux déversements, le temps d'attente devant l'entrée de l'exutoire ne diffère pas significativement quelle que soit la voie de passage empruntée (test de Mann-Whitney, p-value > 0,05).

3.7.2. Etude de l'impact des conditions hydrologiques et physiques sur la voie de passage empruntée par les individus

La puissance de turbinage a influencé l'utilisation du tunnel d'amenée aux turbines comme voie de passage pour les smolts. En effet, entre le 21 avril et le 31 mai 2015, la puissance totale des deux turbines de Heid de Goreux a varié de 0 à 4346kW, avec un pourcentage d'occurrence plus important pour une puissance de 1000 à 1500kW. Les smolts de saumon (détectés aux antennes du canal de fuite) ont utilisé la voie de passage des turbines à des puissances moyennes (figure 25). Cependant, un plus grand nombre de smolts de truite a emprunté les turbines lorsqu'elles produisaient une puissance importante (entre 3000 et 4500kW) même si l'occurrence de cette gamme de puissance est faible. De même, la puissance de turbinage a été maximale durant le début du mois de mai, au moment des déversements de smolts de truite. Par contre, elle a beaucoup fluctué de manière journalière durant la fin de notre étude, suite à un effet de marnage comme observé en 2014. En prenant en compte l'occurrence de turbinage, le nombre d'individus et la puissance des turbines, on observe que le rapport entre le nombre d'individus (smolts de truite et smolts de saumon réunis) par gamme de puissance et d'occurrence de la gamme de puissance est statistiquement corrélé avec la gamme de puissance (test de corrélation de Spearman, p-value=0,0001).

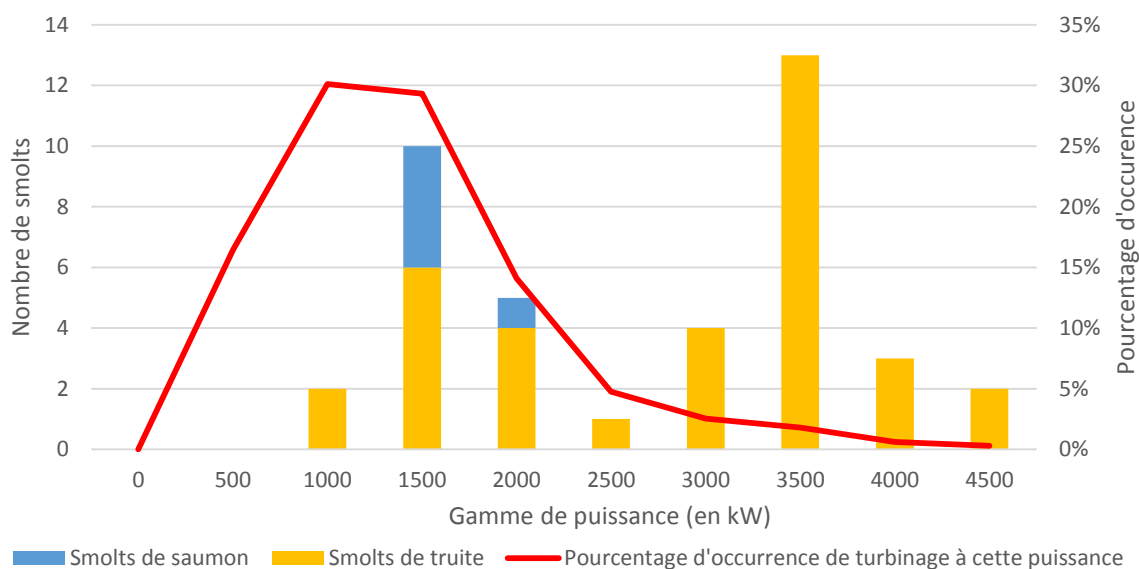


Figure 25 : Nombre de smolts de saumon et de truite en fonction de la gamme de puissance de turbinage des turbines de Heid de Goreux (en kiloWatts), avec le pourcentage d'occurrence de turbinage aux différentes gammes de puissance

Deux autres facteurs peuvent également influencer la voie de passage : l'abaissement des vannes mobiles du barrage et les variations mécaniques journalières de la hauteur du plan d'eau de Lorcé (=marnage). Les vannes mobiles sont abaissées lorsque le niveau de l'eau augmente (>30m³/s) et le marnage se déroule lorsque le débit de la rivière est insuffisant pour faire fonctionner les turbines, dû au manque de précipitations. Les turbines fonctionnent alors par intermittence faisant varier le niveau du plan d'eau amont. Cette année, le marnage n'a commencé qu'à partir du 10 mai. Son influence sur le choix d'une voie de passage est donc peu importante car seulement 6 poissons ont été détectés à Lorcé après cette date. De même, les fluctuations du niveau du plan d'eau avant cette date ont été peu importantes. Les vannes mobiles du barrage de Lorcé ont été abaissées le 5 mai de 13h45 à 15h15 et le 20 mai de 11h45 à 12h35. Il est fort peu probable (mais pas impossible) que, durant ces courts laps de temps en journée, des smolts aient pu emprunter cette voie de passage.

3.7.3. Etude de l'impact de la taille sur la voie de passage empruntée par les individus

Pour les saumons (tableau 9), la taille n'influence pas significativement l'utilisation des voies de passage « turbines » et « microturbine » (test de Mann-Whitney, p-value = 0,7112). Pour les truites, la taille des smolts qui empruntent la microturbine du barrage de Lorcé est

significativement plus grande que la taille des poissons passant par les turbines (test de Mann-Whitney, p-value = 0,01624) (figure 27).

Tableau 9 : Tailles moyennes (Ecart type) des smolts de saumon et de truite en fonction de leur voie de passage (μ turbine = microturbine et TA = tunnel d'amenée des turbines de Heid de Goreux).

	Espèce	Passage par μ turbine	Passage par TA
Taille moyenne en mm (EC)	Saumon	138,2 (8,4)	138 (5,5)
	Truite	212,4 (10,0)	203,4 (15,7)

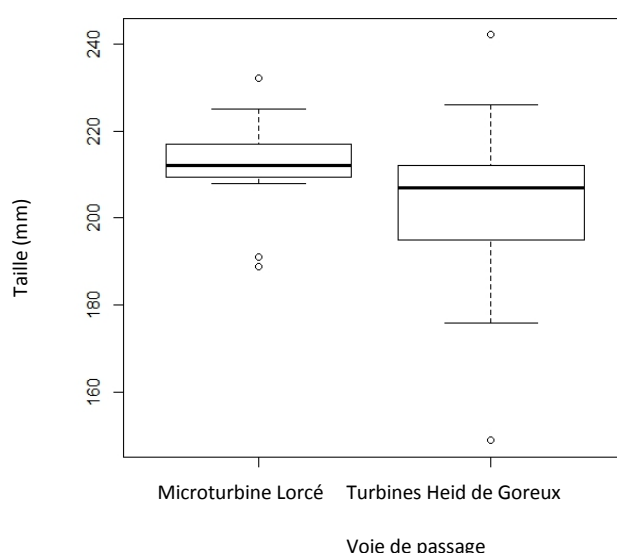


Figure 26 : distribution de la taille des smolts truites passant par les turbines de Heid de Goreux en comparaison à la distribution de la taille des smolts truites passant par la microturbine de Lorcé. (Traits horizontaux : médianes ; limites des rectangles : interquartiles ; barres d'erreurs : valeurs minimum et maximum ; cercles pleins : valeurs extrêmes)

3.8. Temps de parcours et vitesses de migration

L'installation des antennes RFID a également permis de mesurer les temps de parcours (tableau 10) et les vitesses de migration (tableau 11) des smolts de truite et de saumon pour 2015. Les temps de migration des smolts de salmonidés pour 2015 sont les suivants :

- Après avoir été déversés à Targnon, les smolts de saumon ont été détectés à Lorcé (soit 3,75km plus en aval) après en moyenne 58h avec un maximum de 342h et un minimum de 7h et pour les smolts de truite, 65h (9h à 349h). Ce temps de migration indique surtout le temps qu'il a fallu aux smolts pour entamer leur migration.

Tableau 10: Temps de parcours (en heure) en fonction des voies de passage et les déversements. Nombre de smolts de saumon = 322, nombre de smolts de truite du déversement n°1 = 200, nombre de smolts de truite du déversement n°2 = 200. μ turbine = passage par la microturbine, TA = passage par le tunnel d'amenée des turbines, DR = passage par le débit réservé

Trajet	Voie de passage	Espèces	Temps min	Temps moyen	Temps max
Tunnel d'amenée	Passage turbines	Smolts saumon		-	
		Smolts truite n°1		74:33:54	
		Smolts truite n°2	06:12:43	51:50:52	171:08:24
Débit réservé	Passage μ turbine	Smolts saumon	113:28:15	155:39:44	270:53:13
		Smolts truite n°1		06:16:12	
		Smolts truite n°2	22:13:14	80:32:19	121:10:14
	Passage exutoire	Smolts saumon	40:05:27	126:40:39	227:20:45
		Smolts truite n°1		230:44:54	
		Smolts truite n°2		375:31:28	
Targnon - Lorcé		Smolts saumon	06:42:00	58:09:50	342:43:03
		Smolts truite n°1	33:57:41	37:07:14	39:37:24
		Smolts truite n°2	09:37:36	94:16:35	349:36:13
Targnon - Heid de Goreux	Passage turbines	Smolts saumon	6:48:34	126:32:35	362:58:10
		Smolts truite n°1	20:12:55	42:20:35	111:11:07
		Smolts truite n°2	18:55:10	46:43:46	205:46:28
	Passage μ turbine	Smolts saumon	169:10:30	238:23:58	330:31:03
		Smolts truite n°1	17:30:22	284:14:09	878:46:22
		Smolts truite n°2	111:23:27	214:12:42	373:08:48
	Passage exutoire	Smolts saumon	71:58:42	148:09:19	283:26:48
		Smolts truite n°1		270:26:01	
		Smolts truite n°2		387:50:56	
Heid de Goreux - Méry		Smolts saumon	60:38:27	110:07:09	138:11:50
		Smolts truite n°1		102:58:04	
		Smolts truite n°2	-	-	-
Lorcé - Méry	Passage μ turbine	Smolts saumon	114:36:55	266:11:22	370:05:57
		Smolts truite n°1		153:52:48	
		Smolts truite n°2	-	-	-
	Passage exutoire	Smolts saumon		876740:18:59	
		Smolts truite n°1	-	-	-
		Smolts truite n°2	-	-	-
Targnon - Méry	Passage turbines	Smolts saumon		500:40:00	
		Smolts truite n°1	-	-	-
		Smolts truite n°2	-	-	-
	Passage μ turbine	Smolts saumon	139:30:00	175:30:00	211:30:00
		Smolts truite n°1		120:00:00	
		Smolts truite n°2	-	-	-
	Passage exutoire	Smolts saumon		-	
		Smolts truite n°1		-	
		Smolts truite n°2	-	-	-
Passage inconnu	Smolts saumon	67:30:00	215:40:26	379:30:00	
	Smolts truite n°1	144:00:00	156:00:00	168:00:00	
	Smolts truite n°2	-	-	-	

- Pour se déplacer de Lorcé à Heid de Goreux, via le débit réservé (8km), il faut en moyenne :
 - o 155 heures en passant par la microturbine (1,2 km/jour ou 0,014m/s) pour les smolts saumon et 43h (16km/j ou 0,18m/s) pour les smolts de truite
 - o 126 heures en passant par l'exutoire (1,5km/j ou 0,017m/s) pour le saumon et 303h (0,7km/j ou 0,008m/s) pour la truite

Pour effectuer les 34km qui relie Heid de Goreux à Méry, les smolts de saumon mettent en moyenne 110h et migrent à une vitesse de 7,4km/j (0,08m/s) contre 102h pour les smolts de truite (8km/j ou 0,09m/s). Pour effectuer le trajet complet du lieu de déversement à Méry (soit un total de 45,75km en passant par les turbines et 41,25km en passant par le débit réservé), les smolts mettent en moyenne :

- Saumon : 500h en passant par les turbines (2km/j ou 0,02m/s) ; truite : pas de données
- Saumon : 175h en passant par la microturbine (6km/j ou 0,07m/s) ; truite : 120h (9,1km/j ou 0,10m/s)
- Saumon : 215h par voie de passage inconnue, pour une vitesse de 4,5km/j (0,05m/s) si on considère qu'ils sont passés par le débit réservé et 5km/j (0,06m/s) si on considère qu'ils sont passés par le tunnel d'amenée des turbines ; Truite : 156h par voie de passage inconnue pour une vitesse de 6,3km/j (0,07m/s) si on considère qu'ils sont passés par le débit réservé et 7km/j (0,08m/s) si on considère qu'ils sont passés par le tunnel d'amenée des turbines.

L'unique smolt truite AEC marqué à Lorcé n'a été recapturé qu'à Méry et a mis 13 jours pour faire ce trajet de 42km, soit une vitesse de 0,3km/j (0,003m/s). Cet individu a une taille de 336mm à la fourche, ce qui est nettement plus grand que la moyenne des smolts de saumon et de truite.

Tableau 11: Vitesses de migration en fonction des voies de passage et lieux de déversements. Les vitesses ont été calculées sur base des temps de parcours moyens. Nombre de smolts de saumon = 322, Nombre de smolts de truite du déversement n°1 = 200, Nombre de smolts de truite déversement n°2 = 200. μ turbine = passage par la microturbine, TA = passage par le tunnel d'amenée des turbines, DR = passage par le débit réservé

VITESSE		Smolts saumon		Smolts truite n°1		Smolts truite n°2	
		m/s	km/j	m/s	km/j	m/s	km/j
Tunnel d'amenée	Passage turbines	-	-	0,013	1,127	0,019	1,620
Débit réservé	Passage μ turbine	0,014	1,233	0,354	30,622	0,028	2,384
	Passage exutoire	0,018	1,516	0,010	0,832	0,006	0,511
Targnon - Lorcé		0,018	1,547	0,028	2,263	0,011	0,955
Targnon - Heid de	Passage turbines	0,016	1,375	0,048	4,109	0,043	3,724
Goreux	Passage μ turbine	0,014	1,183	0,011	0,950	0,015	1,316
	Passage exutoire	0,022	1,903	0,012	0,998	0,008	0,727
Heid de Goreux - Méry		0,086	7,410	0,092	7,925	-	-
Lorcé - Méry	Passage μ turbine	0,044	3,787	0,076	6,551	-	-
	Passage exutoire	0,00001	0,00115	-	-	-	-
Targnon - Méry	Passage turbines	0,023	1,977	-	-	-	-
	Passage μ turbine	0,072	6,256	0,106	9,140	-	-
	Passage exutoire	-	-	-	-	-	-
	Passage inconnu TA	0,053	4,590	0,073	6,346	-	-
	Passage inconnu DR	0,059	5,091	0,081	7,038	-	-

4. Discussion

Cette action s'intègre dans des projets de recherche sur la continuité écologique menés sur l'Amblève depuis plusieurs années par le LDPH-ULg (Ovidio et al., 2007; Benitez et al., 2013). Le caractère novateur de cette action s'exprime dans l'utilisation d'un piège de capture au niveau de l'exutoire de dévalaison du barrage de Lorcé et de multiples antennes de détection RFID afin d'identifier toutes les voies de passage potentielles des poissons au niveau du complexe hydroélectrique Lorcé – Heid de Goreux. Bien que l'ensemble du système de détection ne fut pas complètement opérationnel durant la totalité de la campagne de suivis 2015, dont les aléas ont été pris en compte durant l'interprétation des résultats, ceux-ci restent innovants par le caractère exceptionnel du système de détection qui a été placé *in situ*. Ce système expérimental a permis également d'étudier plus en détails le comportement des smolts au niveau du complexe hydroélectrique de Lorcé-Heid de Goreux ainsi que l'impact des différentes voies de passage sur la migration des smolts. Ces résultats permettent de mieux appréhender le problème du franchissement du barrage de Lorcé et d'ouvrir de nouvelles perspectives d'amélioration des dispositifs permettant le rétablissement de la libre circulation.

4.1. Etude de l'efficacité de l'exutoire à travers nos modèles biologiques

Afin de mesurer quantitativement l'efficacité de l'exutoire, il est nécessaire de connaître le nombre d'individus amenés à l'emprunter. En 2014, 446 smolts de saumon atlantique ont été marqués puis déversés en amont du barrage et en 2015, 300 smolts de saumon atlantique et 400 smolts de truite de mer. A ce stade les smolts de salmonidés dévalent afin de rejoindre la mer. Il s'agit d'une migration obligatoire pour ces individus. Ainsi nous avons pu déterminer l'efficacité de l'exutoire grâce au nombre de smolts détectés et capturés au niveau du barrage de Lorcé, parmi les individus déversés.

En ce qui concerne l'attractivité de l'exutoire, selon les années de suivis, au total 36% en 2014 et 22% en 2015 des smolts de saumon atlantique sont détectés contre 14,5% des smolts de truite de mer. Par rapport aux données des années précédentes (Benitez et al., 2013) et aux données de 2014, le pourcentage total de détection des smolts de saumon est le plus faible en 2015 (27% en 2012, 38% en 2013 et 36,6% en 2014). La date de déversement était plus tardive que les autres années. Or, en 2015, le pic de dévalaison des smolts de saumon

« sauvages » s'est déroulé très tôt en raison d'un coup d'eau fin mars début avril et un seuil thermique $>8^{\circ}\text{C}$ (cf. point IV). Il est alors probable que la fenêtre comportementale de migration touchait à sa fin lors de notre déversement, ce qui a pu avoir une influence sur le taux de détection. De plus, le mauvais état sanitaire de certains saumons constaté lors du marquage à la pisciculture a probablement engendré un taux de mortalité élevé après le déversement. Pour les smolts de truite, il s'agit de leur première année d'utilisation en tant que modèle biologique à Lorcé. Il n'est pas possible de déterminer s'il s'agit d'un taux habituel de détection. Cependant, parmi les smolts de truite déversés, certains individus semblaient déjà en cours de désmoltification (=perte des caractères physiologiques propres au smolt) et il se peut que le faible taux de détection soit dû à un arrêt de migration chez certains individus.

L'installation du piège de dévalaison a permis de constater que tous les individus détectés, qui se présentent donc à l'entrée de l'exutoire, n'empruntent pas le dispositif. En moyenne, en 2014, 37% des smolts de saumon détectés sont capturés dans le piège de dévalaison (soit 13,40% des smolts déversés) contre 44% (13%) pour le saumon en 2015 et 32% (5%) pour la truite de mer. Il apparaît alors que le fait d'approcher l'entrée de l'exutoire ne conduit pas systématiquement à l'utilisation du dispositif. Larinier et Travade (1999) ont mis en évidence l'importance des conditions hydrodynamiques autour de l'exutoire. Bien que les conditions environnementales et expérimentales ont été différentes pour 2014 et 2015, ce taux d'efficacité corrigé (=N individus capturés/ N individus détectés) est constant et avoisine les 35%. Bien qu'en partie dû aux conditions particulières de l'étude, ce pourcentage est très faible par rapport à l'efficacité d'autres exutoires à travers le monde qui en plus représentent des efficacités réelles (capturé vs. Déversés) : 73% en France (Croze et al., 1999) au niveau d'un exutoire avec un débit entrant de $3\text{m}^3/\text{s}$ installé sur un barrage de la Garonne (module= $52\text{m}^3/\text{s}$) et 71% au Canada (Scruton et al., 2007) au niveau d'un exutoire avec un débit entrant de $1\text{m}^3/\text{s}$ sur un barrage de l'Exploits (module $290\text{m}^3/\text{s}$). Face à un exutoire, le comportement du smolt se compose de 3 phases: l'approche du barrage, la découverte de la veine de courant menant à l'entrée de l'exutoire et la décision d'emprunter cet exutoire ou non (Johnson & Dauble, 2006). Comme pour les années 2012 et 2013, lors des campagnes de suivis RFID en 2014 et 2015, de nombreux individus ont souvent été détectés plusieurs fois devant l'exutoire, représentant un certain temps de recherche. Bien qu'une grande proportion ($>60\%$) des individus détectés passent moins de 30 minutes devant l'entrée,

d'autres individus peuvent rester à proximité de l'exutoire de 1 à plusieurs jours. La structure de l'exutoire peut être perçue comme un danger par les poissons. Le tunnel étroit et la pente importante du dispositif facilitant le passage du barrage entraînent une forte augmentation du courant ainsi que de la pression (Kemp et al., 2006). Ces paramètres peuvent donc affecter le comportement des poissons. En effet, une accélération de la vitesse peut être répulsive pour un smolt (Vowles et al., 2014). De plus, les smolts à l'approche de variations trop importantes de vitesse se place en rhéotaxie négative (tête vers l'amont) afin de pouvoir résister au courant comme observé à Lorcé (Benitez et al., 2013). Les dernières mesures réalisées à l'entrée de l'exutoire (août 2015) indiquent le passage d'une vitesse de courant de 0,15m/s à 0,50m/s et à 1,1m/s respectivement à 0,5m, 0,25m et 0m en amont de l'entrée de l'exutoire. Ces vitesses sont bien inférieures aux capacités de nage des smolts de 150mm (de 2,5 à 3,5 m/s en « sprint » ; Baudoin et al., 2014) leur permettant de s'échapper de l'entrée de l'exutoire. Cependant, une attente de 24h reste élevée et il est connu qu'une hésitation trop importante devant un exutoire peut entraîner une dépense énergétique élevée et mener à un épuisement (Scruton *et al.*, 2007). Lorsque les smolts rencontrent un obstacle et qu'ils cherchent à le franchir, tel un exutoire de dévalaison, ils s'orientent tête vers l'amont et décident alors de se laisser emporter par le flux d'eau ou de nager activement pour réagir à un gradient de vitesse souvent trop élevé (Johnson & Dauble 2006; Scruton et al., 2007; Jonsson et al., 2009; Benitez et al., 2013). Une attente prolongée en amont d'un barrage augmente également le risque de désmoltification (McCormick *et al.*, 1998) ainsi que le risque de mortalité par prédation (Jepsen et al., 1998). Dans notre étude, le temps passé devant le dispositif ne varie pas significativement entre les individus capturés ou non dans le piège. Il semblerait donc que le temps d'attente et de recherche n'influence pas le choix d'utiliser ou non l'exutoire. A Lorcé, le faible nombre de détection et de capture, ainsi que le comportement d'hésitation indiquent que les caractéristiques de l'exutoire doivent être modifiées tant pour améliorer l'attractivité de l'exutoire que pour augmenter le nombre de poissons qui l'empruntent (=efficacité réelle).

Lors de la campagne 2014, le débit de l'Amblève était exceptionnellement bas du fait de l'absence de pluie durant le printemps. Au niveau du barrage un phénomène de marnage, associé à une activation variable des turbines, a été observé. La hauteur du plan d'eau amont du barrage variait sur 40 cm, plusieurs fois par jours, ce qui modifiait l'alimentation de

l'exutoire de manière importante. Lorsque le niveau du plan d'eau est faible, la hauteur de la lame d'eau qui entre dans l'exutoire est particulièrement faible, ce qui réduit l'attractivité du dispositif. En effet, une hauteur d'eau minimum de 0,50m est recommandée (Larinier & Travade 1999) car des dispositifs trop peu profonds peuvent s'avérer rebutant pour les poissons. Les résultats ont montré que l'augmentation de la hauteur du plan d'eau entraîne une augmentation du nombre de smolts détectés. De plus, le nombre de smolts capturés est corrélé à l'augmentation du niveau d'eau. Des résultats similaires ont été trouvés chez les smolts de truite de mer (Arnekleiv et al., 2007). Il semblerait donc que le débit à l'entrée de l'exutoire pourrait être augmenté afin d'être plus attractif, pour autant que le gradient de vitesse ne soit pas défavorable. En effet, l'augmentation du niveau du plan d'eau amont du barrage de Lorcé en 2015 (rehaussement de 10cm) n'a pas entraîné une augmentation du taux d'efficacité de l'exutoire. Il paraît donc plus judicieux d'améliorer en synergie les courants à l'entrée de l'exutoire et le débit entrant. Les données de 2014 ont démontré aussi que la distance entre le lieu de déversement et le barrage de Lorcé ainsi que la présence de la cascade de Coo (11,8m de chute) n'influençait pas le nombre de poissons capturés de la même manière avec le nombre de poissons détectés en 2012 et 2013 (Benitez et al., 2013).

4.2. Quantification des voies de passage

Le réseau de détection RFID installé à Heid de Goreux et Lorcé lors de la campagne 2015 a permis la détection de 78 individus, de quantifier les voies de passage, ainsi que de faire une approximation des taux de survie. Nous avons observé que les smolts de saumon empruntent préférentiellement l'exutoire (63%), puis la microturbine (26%), et enfin le tunnel d'amenée aux turbines principales (11%). Les truites, quant à elles, empruntent principalement les turbines principales (48%), puis l'exutoire (27%) et la microturbine (25%). Néanmoins, de nombreux réglages ont été nécessaires afin d'optimiser l'efficacité du système de détection. En plus des arrêts de détection à cette amélioration, des arrêts d'une des stations dus à un mauvais fonctionnement de son écran ont engendré des pertes de données. Comme ces problèmes n'ont été réglés que 7 jours après le déversement des smolts de saumon, il est probable que l'utilisation des voies de passage (turbines et microturbine) soit sous-estimée et biaisée pour les smolts de saumon. Il est également possible qu'un nombre plus important de smolts qui ont emprunté l'exutoire soient arrivés vivants à Heid de Goreux. En dehors de ces problèmes, certaines détections ont pu être manquées durant toute la durée de l'étude à

cause de la vitesse des poissons, entraînés par le courant, lors de leur passage au-dessus des antennes. En effet, la capacité de détection des antennes diminue en fonction de la vitesse de passage et le débit peut aller jusqu'à $23\text{m}^3/\text{s}$ au niveau du rejet des turbines et engendrer une vitesse de passage importante. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer l'absence de détection pour les autres individus. Certains smolts ont pu être capturés par des prédateurs avant d'atteindre le barrage. Il est également possible que certains individus se soient désmoltifiés (McCormick et al., 1998). Les résultats obtenus avec la présence de nombreux biais méthodologiques lors de la campagne 2015 pourraient être améliorés en réalisant une seconde campagne de suivis comportementaux par RFID via ce même réseau d'antennes de détection.

4.3. Influence des différents facteurs sur l'utilisation des voies de passage

4.3.1. Influence de la taille

Face à l'exutoire, ni le taux de détection ni le taux de capture ne sont influencés par la taille des individus, tant pour les saumons (2014 et 2015) que pour les truites (2015), comme précédemment observé pour les smolts de saumon à Lorcé (Benitez *et al.*, 2013) ou en Norvège pour les smolts de truite de mer (Arnekleiv et al., 2007). En effet, les individus plus grands ont une meilleure capacité de nage, ils parviendraient donc mieux à résister à l'augmentation de courant (Harvey 1987, Baudoin et al., 2014). Les individus plus petits auraient quant à eux une capacité de résistance au courant plus faible, ils peuvent donc être aspirés par le dispositif. Il semble toutefois que ce paramètre n'ait pas influencé l'utilisation de l'exutoire durant cette étude.

Contrairement aux smolts de saumon, la taille moyenne des smolts de truite qui empruntent la microturbine est statistiquement plus grande que celle des smolts de truite qui empruntent le tunnel d'amenée. Deux explications sont envisageables. La première possibilité est que la grille finisseuse de la prise d'eau des turbines principales dans le bassin de décantation possède des mailles plus fines que la grille dégrossisseuse et les smolts les plus gros trouveraient des difficultés à traverser la grille. Ils emprunteraient donc la voie de la microturbine, qui n'a pas de grille. La deuxième possibilité est que les smolts de plus grande

taille seraient capables de mieux résister au courant de la prise d'eau des turbines. En effet, une brusque accélération de la vitesse du courant est répulsive chez le smolt (Haro *et al.*, 1998) et seuls les individus les plus grands avec de meilleures capacités de nage pourraient échapper à la prise d'eau des turbines (allant jusqu'à 26m³/s) et alors se diriger vers la microturbine, où le débit est moins fort (3m³/s).

4.3.2. Conditions hydrologiques et physiques

La puissance de turbinage est le facteur qui influence le plus le choix d'une voie de passage. En effet, nous observons une corrélation positive entre le nombre de smolts qui empruntent le tunnel d'amenée et la puissance de turbinage, indépendamment de son occurrence. D'autres études ont également observé une corrélation positive entre le nombre de smolts qui empruntent un passage fermé et la puissance en MW de son débit (Johnson & Dauble 2006). En effet, le comportement naturel du smolt face à un obstacle est de suivre la veine de courant la plus forte, qui le mène généralement aux turbines (Scruton *et al.*, 2007; Williams *et al.*, 2012). La microturbine a un débit faible de turbinage (3m³/s) et possède peu de fluctuations inter-journalières. Les variations du nombre de smolts qui utilisent cette voie de passage sont donc fonction d'autres paramètres.

4.4. Déclenchement de la migration chez les smolts de saumon et de truite

Différents facteurs environnementaux (photopériode, changement de débit, augmentation de température, turbidité) entrent en jeu afin de faire concorder les fenêtres physiologique, comportementale et environnementale et de permettre aux smolts d'arriver en mer au moment adéquat (McCormick *et al.*, 1998; Byrne *et al.*, 2004; Aldvén *et al.*, 2015) lorsque la nourriture est en quantité suffisante et les prédateurs moins nombreux (Jensen *et al.*, 2012). Les deux facteurs étudiés durant ce projet sont la température et le débit. La température optimale à la dévalaison des deux espèces (soit 8-10°C pour le saumon (McCormick *et al.*, 1998) et à 6-8°C pour la truite (Aldvén *et al.*, 2015) a été atteinte durant toute la durée des deux campagnes de suivi. La majorité des smolts de saumon et de truite ont entamé leur dévalaison dès leur déversement. Pour les smolts de saumon, les individus à migration plus tardive n'ont d'ailleurs pas commencé à dévaler durant la semaine où la température est

descendue sous la barre des 10°C. Cependant, durant cette semaine, un pic de débit a été observé sans concorder à un pic de dévalaison. L'augmentation de débit n'a donc pas stimulé leur migration, contrairement aux résultats d'autres études récentes (Jensen et al., 2012; Aldvén et al., 2015). Par contre, pour les truites, l'augmentation du débit semble être le facteur déclencheur le plus important, comme déjà remarqué dans d'autres études (Byrne et al., 2004). Les pics de débit correspondent en effet à un nombre plus important d'individus détectés devant l'exutoire, principalement pour les individus du premier déversement, relâchés lors d'un pic de débit et qui ont tous entamé leur migration immédiatement.

4.5. Période d'activité à l'échelle du cycle nycthéral

La présence des antennes de détection de Lorcé et de Heid de Goreux nous permet d'étudier les heures d'arrivée et d'activité, tant pour la recherche d'une voie de passage (détection devant l'exutoire du barrage de Lorcé) que pour la migration en cours d'eau libre d'obstacle (détection à l'antenne de fin de débit réservé de Heid de Goreux). L'utilisation de la technologie RFID permet de déterminer avec précision les heures de migration chez les deux espèces concernées. La recherche d'une voie de passage au barrage de Lorcé est principalement nocturne (voir exclusivement pour les smolts de truite), comme déjà observé pour les smolts de saumon durant les années précédentes dans l'Amblève (Benitez et al., 2013) et sur d'autres sites à l'étranger (Croze et al., 1999; Scruton et al., 2008). Les smolts de saumon ont une période de recherche plus étendue que les smolts de truite et sont également significativement plus actifs en début de nuit que les smolts de truite. Comme observé dans d'autres études (Riley et al., 2014), il semblerait que ce soit la baisse de luminosité qui entraîne le déplacement chez le smolt de saumon à l'échelle du cycle nycthéral. Dans les rivières sans obstacle, la migration des smolts de saumon et de truite en milieu naturel est connue pour être essentiellement nocturne (McCormick et al., 1998; Aarestrup et al., 2002) afin d'éviter les prédateurs qui chassent à vue. Ce qui corrobore avec nos données où la majorité des détections (= des passages) devant l'exutoire, au niveau des antennes du canal de fuite et de la fin du débit réservé sont nocturnes (entre 20h et 6h). Quelques détections diurnes ont toutefois été observées, mais en faible quantité. Certaines études ont mis en évidence une

augmentation des smolts migrant en journée au fur et à mesure de l'avancement de la période de dévalaison afin d'optimiser leur timing d'arrivée en mer (Ibbotson et al., 2006).

4.6. Importance de la voie de passage sur la vitesse et la survie des individus

Afin de mener à bien la dévalaison, il est essentiel que le smolt puisse franchir les barrages, non seulement sans risquer des blessures, mais également sans risquer des retards dus à la recherche d'une voie de passage avec un temps d'hésitation trop long. En effet, l'attente au niveau du barrage et les temps de parcours prolongés par les différentes entraves à la migration peuvent entraîner une désmoltification, directement influencée par l'augmentation de la température (McCormick et al., 1999; Handeland et al., 2004). Le smolt qui arrive en mer est donc à la fois en dehors de sa fenêtre physiologique (nécessite un temps d'acclimatation plus important dans les estuaires, ce qui augmente la prédation) et en dehors de la fenêtre écologique ce qui multiplie les risques de mortalité (McCormick et al., 1998; McCormick et al., 1999). Dans certains cas, la mortalité engendrée par les retards peut être égale à celle engendrée par le passage par les turbines (Marschall et al., 2011). Il est donc important d'étudier l'impact de l'utilisation des différentes voies de passage à Lorcé sur le temps de parcours des smolts et sur leur taux de survie potentiel.

4.6.1. Temps de parcours et vitesse de migration selon la voie de passage empruntée

Nous avons constaté que la voie de passage empruntée a influencé le temps de parcours et la vitesse de migration chez les saumons et les truites. Plusieurs phénomènes ont été observés : Dans le débit réservé, les smolts de saumon ont eu une vitesse moyenne de 1,2km/jour à 1,5km/jour et les smolts de truite ont eu une vitesse allant de 0,5 km/j à 2,4km/jour (tous déversements confondus), ce qui est bien inférieure par exemple, aux vitesses mesurées sur une petite rivière, la Gudena (module=3m³/s) au Danemark (en moyenne de 5 à 20km par jour) (Aarestrup et al., 2002). La vitesse de migration moyenne dans le débit réservé est plus rapide lorsque les smolts de truite empruntent la microturbine par rapport à l'exutoire. Le temps d'attente dans le piège et la manipulation de contrôle pourrait induire plus de stress

chez les smolts de truite et entraîner la nécessité d'une période de récupération avant de reprendre la dévalaison. Seul un smolt de truite (passé par la microturbine de Lorcé) possède une vitesse de migration importante de 30,6 km/jour entre Lorcé et Heid de Goreux. Cette vitesse est la plus rapide que nous ayons mesurée tous tronçons confondus mais reste cependant moitié moindre que la vitesse maximale mesurée dans des rivières sans obstacle (Karppinen et al., 2014).

Il est cependant intéressant de préciser que nos poissons provenaient tous de pisciculture (y compris les smolts capturés et marqués à Lorcé, qui proviennent de déversement de repeuplement sous forme tacon). Or, certaines études ont souligné le fait que les smolts de saumon et de truite élevés en pisciculture ont des vitesses de migration moyennes inférieures à leurs homologues qui ont grandi en rivière (Aarestrup et al., 2002; Pedersen et al., 2008). L'état sanitaire des individus de saumon et la date tardive de déversement ont également pu faire en sorte que les individus ont migré plus lentement que la normale.

Nous avons également observé que la vitesse de migration moyenne entre la fin du débit réservé et le piège de Méry quadruple par rapport à la vitesse de migration dans le débit réservé et ce malgré la présence de deux obstacles sur le trajet (barrage de Belle Roche et barrage de Raborive). Cela démontre encore que les conditions hydrauliques (bas débit et faible vitesse de courant) dans le débit réservé sont très défavorables à la migration des smolts. Cependant, quelle que soit la voie de passage et la partie du trajet considérée, les vitesses de migration sont clairement inférieures à celles que l'on peut trouver sur d'autres rivières comme sur Lilleaa, Danemark (Aarestrup et al., 2002) avec entre 1km/jour et plus de 60km/jour ou sur une portion de l'Amblève libre de tout obstacle (de 0,56m/s à 0,83m/s c'est à dire de 47,3km/jour à 83km/jour) sur le tronçon Coo-Lorcé de 17km lors d'une session de radio-pistage en 2013 (Benitez et al., 2013). Néanmoins lors de cette étude sur l'Amblève, la présence de retard ou d'un ralentissement important dans la migration des smolts a été observée à l'approche du barrage de Lorcé.

Bien qu'aucun smolt de saumon n'ait été détecté devant l'exutoire avant d'emprunter le tunnel d'amenée des turbines, certains individus ont commencé à migrer dès leur déversement et une vitesse de migration entre Targnon et le canal de fuite en aval des turbines de Heid de Goreux a pu être mesurée pour les saumons. La vitesse de migration pour

les smolts les plus rapides est de 25km/j pour les saumons (à partir de Targnon) et de 28km/j pour les truites, ce qui est de loin supérieur aux vitesses enregistrées dans le débit réservé. L'utilisation du tunnel d'amenée permet donc aux smolts de passer de Lorcé à Heid de Goreux en 6h pour la plus rapide des truites et en moins de 7h pour le plus rapide des saumons en prenant en compte le temps de recherche de la voie de passage.

Bien que sur l'ensemble du trajet, la vitesse moyenne des smolts de truite soit plus rapide à celle des smolts de saumon, comme observé par Aarestrup et al., (2002), la vitesse de migration des smolts de truite sur la distance du débit réservé est inférieure à celle des smolts de saumon. Au vu des conditions hydrauliques particulièrement mauvaises dans cette partie de la rivière, il se pourrait que la petite taille des smolts de saumon leur permette de nager plus aisément dans la faible hauteur d'eau. Cette hypothèse est appuyée par la très faible vitesse de migration (0,6km/jour) d'un smolt de truite arc-en-ciel capturé dans le piège de Lorcé d'une taille de 336mm. Cet individu a été marqué à Lorcé et relâché en aval du barrage et recapturé ensuite dans le piège de dévalaison à Méry 13 jours plus tard.

Après la station de piégeage de Méry, il reste encore plus de 300km de rivière à parcourir avant d'atteindre la mer avec de nombreux obstacles, tel le pont-barrage de Monsin où la Meuse se sépare du Canal Albert. Une étude de télémétrie acoustique du LDPH en Meuse Liégeoise (Ovidio et al., 2015) a démontré qu'il existait également d'autres retards sur cette partie. Il est donc essentiel d'améliorer les conditions de dévalaison à la CHE de Lorcé afin d'assurer une plus grande probabilité de mener à bien leur migration de dévalaison.

4.6.2. Réflexions sur le devenir des poissons selon les voies de passage utilisées

La voie de passage choisie est primordiale pour la survie des smolts. En effet, la présence de complexes hydroélectriques peut amener à une mortalité importante (Norrgård et al., 2013; Brevé et al., 2014), pouvant aller jusqu'à 94% sur certains barrages pour les smolts de saumon atlantique (Gustafsson 2010). Ici, les taux de mortalité n'ont pas pu être calculés avec précision mais des estimations ont été réalisées grâce au complexe RFID de Heid de Goreux et au piège de Méry.

En 2014, sur les 40 individus capturés à Méry, seul 6 individus ont utilisé l'exutoire de Lorcé auparavant. En 2015, tous les smolts recapturés à Méry (soit 26 smolts de saumon et 3 smolts de truite) sont passés par les turbines ou la microturbine (qu'ils aient été détectés à Heid de Goreux ou non). Le faible nombre de recapture de smolts de truite dans le piège de l'exutoire de Méry peut s'expliquer par une moins bonne attractivité de cet exutoire par rapport à la période d'arrivée des smolts de saumon. De plus, les smolts qui dévalent peuvent également passer par le barrage ou par les turbines de la CHE et l'efficacité réelle de l'exutoire de Méry n'est pas connue.

Peu de smolts capturés à Lorcé ont été détectés à Heid de Goreux et parmi les smolts qui ont emprunté l'exutoire, 1 individu en 2014 et en 2015, 4 smolts de saumon et 1 smolt de truite ont été retrouvés morts dans le piège. Cette mortalité est peut-être due à l'absence de zones calmes dans le piège ou la présence des remous au niveau de la chute d'eau, qui engendre un épuisement et/ou un stress important pour les smolts. Ce pourcentage de mortalité dans le piège de capture pourra être négligé lors du retrait du piège (à la fin du monitoring).

Contrairement au passage par l'exutoire et son piège, la mortalité engendrée par les turbines ne peut être connue avec précision. Elle a cependant été estimée par le LDPH pour les smolts de saumon (Benitez et al., 2013) grâce à une formule théorique de Larinier et Travade (1999) et est de 31% pour les deux turbines Francis de Heid de Goreux et de 23,3% pour la microturbine Francis. Les dommages peuvent être dus aux chocs du poisson avec les différentes parties des turbines, aux accélérations et décélérations brutales de courant et aux variations importantes et rapides de pression et de cavitation (Larinier & Travade 1999). Il existe également une certaine mortalité indirectement due au passage par les turbines car si le passage dans les turbines n'est pas toujours mortel, il peut désorienter ou étourdir le poisson, et le rendre plus sensible à la prédation dans le canal de fuite (Koed et al., 2002). L'utilisation de la microturbine de Lorcé comme voie de passage réunit les risques de mortalité du passage par une turbine et par le débit réservé. En plus des temps de parcours prolongés qui engendrent des retards, l'utilisation du débit réservé peut entraîner un risque de prédation accru pour les smolts en dévalaison, car la mortalité par prédation augmente avec l'augmentation du temps de parcours (McCormick et al., 1998) et avec la diminution du débit (Aarestrup et al., 2002). Au vu de la topographie de cette partie de l'Amblève, un débit aussi faible engendre une hauteur d'eau et une vitesse de courant faible, ce qui peut entraîner une

dépense énergétique importante lors de leurs déplacements. Or, le débit réservé de 3m³/s avait déjà été considéré comme largement insuffisant pour conserver l'intégrité biologique du tronçon pour les espèces qui y sont sédentaires (Ovidio et al., 2007). Une augmentation de débit entre Lorcé et Heid de Goreux serait donc favorable aux poissons qui y ont leur habitat de refuge et d'alimentation et aux smolts qui doivent parcourir l'Amblève pour mener à bien leur migration de dévalaison. Ce supplément de débit pourrait être turbiné par la microturbine de Lorcé (permettant de le rentabiliser économiquement) ou passer par une des vannes du barrage de Lorcé.

VII. CONCLUSIONS GENERALES ET RECOMMANDATIONS

1. Conclusions générales

Au terme de ce programme de recherche financé par le Fonds Européen pour la Pêche (FEP) et la Région Wallonne, les objectifs initialement soutenus ont été atteints. Grâce aux systèmes simultanés de piégeage des poissons en montaison et en dévalaison, installés respectivement au niveau de l'échelle à poissons et de l'exutoire de dévalaison du barrage de Lorcé (Amblève), l'existence de déplacements amont/aval pour une grande partie des espèces présentes dans ce tronçon de l'Amblève a été mis en évidence. Ces déplacements observés toute l'année concernent des espèces amphihalines mais également des espèces potamodromes holobitiques parmi lesquelles de nombreuses classes d'âge ont été observées. En effet les phénomènes de migration de reproduction (principalement de salmonidés et de cyprinidés) vers l'amont et de migration vers la mer d'espèces amphihaline (saumon atlantique, truite de mer, anguille argentée) sont accompagnés de mouvements de post-reproduction et ou de phénomènes de dispersion. D'un point de vue fondamental, ces résultats contribuent à une meilleure connaissance de la dynamique des mouvements des poissons en rivière, et permettent également aux gestionnaires des cours d'eau d'adapter les modalités de fonctionnement des installations hydroélectriques, afin de diminuer l'impact sur la migration de la faune piscicole. Il pourrait être envisagé d'adapter les périodes de turbinage ainsi que l'ouverture des vannes, afin de favoriser la migration vers l'aval des espèces considérées comme prioritaires. Une bonne connaissance de la périodicité des mouvements permet également d'améliorer la programmation de l'entretien saisonnier des ouvrages de franchissement, indispensable à leur bon fonctionnement.

Le monitoring du piège de capture installé à la sortie de l'exutoire de dévalaison a permis de mettre en évidence le caractère multi-spécifique de son utilisation avec la capture de 24 espèces différentes. Cependant, une faible utilisation d'espèces de grandes tailles (grands cyprinidés en particuliers et ombre) a été constatée et souligne son manque d'attractivité pour ces espèces potamodromes. Ces résultats ont été confirmés grâce au marquage RFID d'individus en phase de montaison. Seuls 23 individus sur 262 individus marqués en montaison à Lorcé ont été détectés à l'entrée de l'exutoire de dévalaison et parmi ceux-ci uniquement 3

individus ont réellement utilisés l'exutoire. Un très faible pourcentage de poissons en phase de montaison profite donc de ce rétablissement de la libre circulation dans le sens de la dévalaison pour réaliser un homing post-reproducteur, comme observé chez bon nombre d'espèces de poissons potamodromes de nos rivières (Ovidio & Philippart, 2002).

L'expérience RFID réalisée avec les smolts de salmonidés (saumon atlantique et truite de mer) lors de deux campagnes de suivis comportementaux révèle la présence d'un taux d'attractivité de l'exutoire <40% et un taux efficacité réelle très bas (<15%). L'établissement d'un taux d'efficacité corrigé (capturé vs. détecté) avec une valeur proche de 40% est le signe que les smolts hésitent fortement et ne rentrent pas spontanément dans l'exutoire. La campagne de suivis en 2015 a permis d'identifier et de quantifier l'utilisation des différentes voies de passage au niveau du barrage de Lorcé et démontre le manque d'attractivité de l'exutoire par l'utilisation des turbines comme voies de passage. Cette étude a mis en évidence la problématique de la présence du débit réservé situé en aval du barrage de Lorcé. Il est important de prendre en compte le fait que l'amélioration de l'efficacité de l'exutoire doit se faire dans une optique multi-spécifique et doit être réalisée conjointement avec une amélioration des conditions hydrauliques de l'exutoire et une augmentation du débit réservé en aval du barrage.

Ces suivis comportementaux de smolts de salmonidés via la technologie RFID ont permis de mettre en évidence avec précision les rythmes nyctéméraux de migrations des smolts. Ces résultats démontrent que les smolts migrent de nuit d'avril à mai ce qui peut conduire à des recommandations utiles en terme d'arrêt de turbinage hydroélectrique et/ou un abaissement de vanne sur le site de Lorcé lors de cette période durant la nuit afin d'éviter un maximum les dommages engendrés par le passage à travers les turbines et éviter la création de retard suite à la recherche d'une voie d'accès non optimale. La définition de vitesse de migration a pu être comparée aux vitesses observées sur l'Amblève mais également sur d'autres rivières à travers le monde. Ces vitesses de migration sont faibles voir très faibles en particuliers pour le tronçon de débit réservé. Ce qui démontre la nécessité de trouver des solutions sur l'ensemble du complexe (barrage de Lorcé – centrale de Heid de Goreux et débit réservé) pour optimiser la dévalaison dans ce secteur de l'Amblève.

2. Recommandations pour améliorer les conditions de dévalaison

Comme l'exutoire de Lorcé est situé en zone amont du bassin hydrographique de l'Amblève, au point de départ des migrations de dévalaison des smolts, les taux d'attractivité et d'efficacité observés sont nettement insuffisants au vu de la distance qu'il reste à parcourir par les poissons et les barrages à franchir avant d'arriver en mer. Les retards occasionnés sont également très préjudiciables vu la courte fenêtre physiologique pour la dévalaison (chez les smolts). Il est indispensable de réfléchir à des pistes d'actions pour améliorer la situation existante, tout en conciliant la production d'hydroélectricité.

Il existe de nombreux systèmes qui permettent d'améliorer l'efficacité de l'exutoire ou de défavoriser l'utilisation de voies de passage « dangereuses » pour le poisson. Ces mesures peuvent être dans un premier temps liés directement à la configuration de l'exutoire en lui-même. En effet l'approche d'un exutoire et la décision de l'utiliser sont toutes deux fortement influencées par la localisation et par les conditions hydrauliques. En ce qui concerne l'approche du poisson, bien que la localisation générale de l'exutoire ait déjà été optimisée grâce à des suivis radiotéléométriques qui ont démontré que c'est bien dans cette zone que les smolts s'accumulent pour chercher une voie de passage (Ovidio et al., 2009). Il existe différentes pistes pour augmenter son attractivité et son efficacité :

- L'utilisation d'une lampe à mercure a permis d'augmenter sensiblement l'attractivité de l'exutoire (Benitez et al., 2013) mais on pourrait imaginer de placer la lampe à l'intérieur de l'exutoire pour encourager d'avantage les smolts à entrer. De plus, une série de lampes pourrait être installée aux abords de l'entrée de l'exutoire pour guider les smolts vers l'exutoire comme démontré par Croze et al. (1999). Il se peut cependant que la présence d'une lampe ne soit pas attractive ou pire, soit répulsive, pour d'autres espèces qui pourraient emprunter l'exutoire, telles que les anguilles (Courret & Larinier 2008). Il est donc indispensable d'envisager cette solution uniquement au printemps durant la phase de dévalaison de salmonidés vers la mer et de la tester via l'utilisation d'un protocole précis de mise en marche et d'arrêt afin de vérifier sa réelle efficacité.

- L'optimisation des conditions hydrauliques à l'entrée de l'exutoire permettrait d'augmenter drastiquement l'efficacité de l'exutoire comme démontré par Chanseau et al. (1999), Croze et al. (1999) et Fjeldstad (2012) sur d'autres sites. La visibilité de l'exutoire dépend de la possibilité de différencier la veine de courant menant à l'exutoire par rapport à la veine de courant menant à la prise d'eau des turbines (Johnson & Dauble 2006). Le débit dans l'exutoire est actuellement inférieur au débit préconisé de 600l/s selon le LDPH et la littérature (Larinier & Travade 1999; Courret & Larinier 2008). Le débit recommandé pour un exutoire correspond en effet à minimum 2% du débit maximal turbiné (29m³/s) avec la présence d'une structure de guidance (soit 600l/s) et au maximum à 10% de ce débit (soit 2,9m³/s) sans présence d'une structure de guidance (Croze, 2007). Il est donc impératif de trouver une solution pour augmenter ce débit entrant à 600l/s en agrandissant, par exemple, l'entrée elle-même de l'exutoire car la tentative d'augmenter le débit entrant en rehaussant le plan d'eau amont du barrage de Lorcé s'est montrée peu efficace. L'écoulement de l'eau à l'intérieure de l'exutoire doit être amélioré, plus particulièrement en supprimant la présence d'une zone de « retrait » dans la partie aval de l'exutoire.
- La décision d'utiliser l'exutoire est liée aux conditions hydrauliques à son entrée. L'utilisation d'un système d'entonnement (figure 1) pourrait être envisagée. L'entonnement consiste en un dispositif à faible pente composé d'une entrée large et d'une sortie étroite. La vitesse de courant, faible à l'entrée, est progressivement augmentée, tout en minimisant les phénomènes de décollement et les turbulences (grâce à son profil elliptique) (Larinier & Boyer-Bernard, 1991). Placé à l'entrée de l'exutoire, il permet de ne pas rebuter le poisson à cause d'une accélération trop brusque du courant (souvent le cas dans de nombreux exutoires (Haro et al., 1998; Johnson & Dauble 2006)) tout en l'empêchant de faire demi-tour grâce à une vitesse de courant supérieure à la capacité de nage du poissons dans la partie terminale bombée du système. Il est particulièrement intéressant pour Lorcé car il s'agit d'un système facilement installable, à moindre coût et qui permettrait d'améliorer les conditions hydrauliques à l'entrée de l'exutoire, en combinaison avec une augmentation de débit. Il faut néanmoins vérifier l'efficacité de ce dispositif et de sa capacité à être le plus multi-spécifique possible.



Figure 1 : Système d'entonnement installé sur le barrage de Poutès en France (Larinier et Boyer-Bernard, 1991)

- Il est indispensable dans le cadre du rétablissement de la libre circulation des cours d'eau plus particulièrement dans ce cas, pour des grands migrateurs (saumon, truite de mer et anguille) et de l'augmentation de l'efficacité de l'exutoire de Lorcé, d'intégrer une augmentation du débit réservé lors des périodes de dévalaison afin de garantir l'intégrité physique des poissons suite à l'utilisation de ce tronçon comme voie de migration. Cette modification du débit réservé pourrait être envisagée conjointement à l'amélioration de la dévalaison sur le site de Lorcé, en laissant passer une lame d'eau par le barrage ou via un débit de fonctionnement plus important de l'exutoire de dévalaison. Cela favoriserait à la fois la dévalaison des poissons en migration de dévalaison et augmenterait le débit aval pour favoriser la vitesse de migration. De telles manipulations permettraient d'améliorer significativement la dévalaison pour les smolts de salmonidés migrateurs et d'autres pistes devront être envisagées pour d'autres espèces, comme l'anguille européenne.

Il existe des mesures à plus grande échelle, c'est-à-dire à l'échelle du barrage hydroélectrique, qui pourraient être envisagées si la modification des conditions de fonctionnement de l'exutoire n'était pas suffisante :

- Un exemple de barrière physique est la présence de grilles en amont de la prise d'eau des turbines comme c'est le cas pour Lorcé. Néanmoins, l'espacement des barreaux est de 41mm, ce qui est plus large que la taille recommandée pour les salmonidés en dévalaison vers la mer (entre 15 et 20mm pour Larinier & Travade 1999). Une étude en Suède a démontré que la présence d'une grille avec des barreaux trop espacés est associée une efficacité médiocre d'un exutoire pour les smolts de saumon alors que celui-ci est parfaitement adapté pour les adultes dévalants post-reproduction (Calles et al., 2012). Cependant la mise en place d'une telle grille nécessiterait de gros aménagements et un entretien plus régulier car les déchets favoriseraient le colmatage et entraîneraient une baisse de rendement de production électrique par perte de charge.
- Une barrière comportementale tels les louvers (=lames verticales orientées à 90° par rapport à la direction du courant) pourraient empêcher les smolts d'entrer dans la prise d'eau des turbines sans devoir changer l'espacement de la grille. L'intérêt des louvers (figure 2) est qu'ils forcent également les smolts à rentrer dans l'exutoire grâce à l'augmentation de la vitesse du courant à son entrée et aux turbulences engendrées par les lames (Larinier & Travade 1999). Cependant les louvers sont encombrants et peuvent se montrer coûteux à maintenir en état (Courret & Larinier 2008).



Figure 2: Ensemble de « louvers » installées au niveau d'un barrage hydroélectrique en Oregon (USA) afin de dévier les poissons de la prise d'eau des turbines.

- L'utilisation de turbines ichtyocompatibles à la place des turbines Francis actuelles installées à Heid de Goreux pourraient être une autre piste. Ces turbines permettent un taux de survie allant jusqu'à 97% pour des poissons de 15cm (Hecker et al., 2005). Les trois types de turbines ichtyocompatibles les plus connues sont la turbine ichtyophile© VLH, les turbines hydrodynamiques (vis d'Archimède) et la turbine Alden à 3 pales (Courret & Larinier 2008). Ces turbines ont un nombre de pales inférieur aux turbines usuelles, une vitesse de rotation plus lente et ne possèdent pas d'espace faible entre les pales. Le débit qui y transite est donc moindre mais l'écoulement de l'eau est plus linéaire et les turbulences sont moins importantes (Hecker et al., 2005; Spring 2010). Cependant, afin d'avoir le même rendement que des turbines actuelles, ces turbines doivent souvent être plus grandes (Spring 2010). De plus, la plupart des turbines ichtyocompatibles sont encore sous forme de prototypes (Hecker et al., 2005), le remplacement des turbines existantes est très coûteux et leurs caractéristiques ne sont optimisées que pour les smolts. Il faut mentionner que l'installation des turbines VLH ou vis d'Archimède n'est possible que sur des faibles chutes d'eau, respectivement de 1,5-3,5m et de max. 10m comme pour la

microturbine de Lorcé. Le troisième type de turbine, la turbine Alden, est adaptée à des chutes d'eau plus importantes (de 10 à 35m) ainsi son installation peut être envisagée pour les deux turbines de Heid de Goreux en adaptant la structure existante (diamètre turbine Alden > diamètre turbine existante pour une même production). Au niveau de la puissance produite, une vis d'Archimède peut produire par exemple 95kW (en Suisse : hauteur chute d'eau=3,5m, diamètre 2000mm et débit nominale 3,5m³/s). Plutôt adaptée à des gammes de débit entre 10 et 35m³/s pour de faibles chutes d'eau, la gamme de puissance d'une turbine VLH se situe entre 100 et 500kW.

- L'arrêt total de turbinage durant la période de dévalaison et/ou avec abaissement des vannes, ce qui permettrait alors aux smolts de passer en surverse et améliorerait les conditions hydrauliques en aval du barrage (traversée du débit réservé) durant la période de migration, comme cité précédemment. Cette période de migration à l'échelle nyctémérale (et donc l'intervalle de temps d'arrêt de turbinage) se déroule(ra)it majoritairement de 19h à 6h du matin durant la nuit. Des périodes d'abaissement peuvent être envisagées dans cet intervalle de temps mais cette solution doit être testée selon un protocole précis.

Dans la continuité de nos recherches, il est impératif de tenter d'améliorer l'efficacité de l'exutoire via les pistes proposées plus haut et d'évaluer leurs effets en réalisant des études comportementales avec les outils technologiques mis en œuvre au cours de cette étude et qui se sont révélés novateurs et performants. Une approche complémentaire sur l'anguille européenne s'annonce également prioritaire, au vu de sa situation démographique catastrophique dans le bassin de la Meuse (Nzau Matondo et al., 2015).

VIII. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aarestrup, K., Nielsen, C., & Koed, A. (2002). Net ground speed of downstream migrating radio-tagged Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and brown trout (*Salmo trutta* L.) smolts in relation to environmental factors. *Hydrobiologia*, 483, 95-102. doi: 10.1023/A:1021306907338
- Agostinho, A. A., Agostinho, C. S., Pelicice, F. M., & Marques, E. E. (2012). Fish ladders: Safe fish passage or hotspot for predation? *Neotropical Ichthyology*, 10(4), 687-696. doi: 10.1590/S1679-62252012000400001
- Aldvén, D., Degerman, E., & Höjesjö, J. (2015). Environmental cues and downstream migration of anadromous brown trout (*Salmo trutta*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. *Boreal Environment Research*, 20(1), 35-44.
- Arnekleiv, J. V., Kraabøl, M., & Museth, J. (2007). Efforts to aid downstream migrating brown trout (*Salmo trutta* L.) kelts and smolts passing a hydroelectric dam and a spillway. *Hydrobiologia*, 582(1), 5-15. doi: 10.1007/s10750-006-0547-8
- Assani, A. A., Petit, F., Buffin-Bélanger, T., & Roy, A. G. (2003). Spatio-temporal variability of the Warche river morphology upstream from Bütgenbach dam (Belgium). *Zeitschrift für Geomorphologie*, 47(4), 469-483.
- Bagliniere, J. L., & Arribe-Moutounet, D. (1985). Microrépartition des populations de truite commune (*Salmo trutta* L.) de juvenile de saumon atlantique (*Salmo salar* L.) et des autres espèces présentes dans la partie haute du Scorff (Bretagne). *Hydrobiologia*, 120(3), 229-239. doi: 10.1007/BF00045166
- Baras, E., & Cherry, B. (1990). Seasonal activities of female barbel *Barbus barbus* (L.) in the River Ourthe (Southern Belgium), as revealed by radio tracking. *Aquatic Living Resources*, 3(04), 283-294. doi: doi:10.1051/alr:1990029
- Baudoin, J. M., Bergun, V., Chanseau, M., Larinier, M., Ovidio, M., Sremski, W., Steinbach, P. and Voegtli, B. (2014). *Assessing the passage of obstacles by fish. Concepts, design and application.*: Onema.
- Benitez, J.-P. D., A. , Brédart, D., Grandry, L., Hazen C. & Ovidio, M. (2013). Caractérisations des comportements de dévalaison et de montaison de poissons migrateurs en vue d'une optimisation et d'une conception des dispositifs de franchissement sur deux sites hydroélectriques de l'Amblève. Rapport final du projet financé par le Fonds européen pour la Pêche (Code projet: 32-1002-004) et la Direction des Cours d'eau Non Navigables, Service Public de Wallonie. In L. d. D. d. P. e. d. H. d. I. U. d. Liège (Ed.), (pp. 214 pages).
- Benitez, J. P., Nzau Matondo, B., Dierckx, A., & Ovidio, M. (2015). An overview of potamodromous fish upstream movements in medium-sized rivers, by means of fish passes monitoring. *Aquatic Ecology*. doi: 10.1007/s10452-015-9541-4
- Brevé, N., Vis, H., Spierts, I., de Laak, G., Moquette, F., & Breukelaar, A. (2014). Exorbitant mortality of hatchery-reared Atlantic salmon smolts *Salmo salar* L., in the Meuse river system in the Netherlands. *Journal of Coastal Conservation*, 18(2), 97-109. doi: 10.1007/s11852-013-0237-4
- Britton, J. R., & Pegg, J. (2011). Ecology of European barbel *Barbus barbus*: Implications for river, fishery, and conservation management. *Reviews in Fisheries Science*, 19(4), 321-330.
- Bunt, C. M., Castro-Santos, T., & Haro, A. (2012). Performance of fish passage structures at upstream barriers to migration. *River Research and Applications*, 28(4), 457-478.
- Bureau Du Colombier, S., Bolliet, V., Lambert, P., & Bardonnnet, A. (2007). Energy and migratory behavior in glass eels (*Anguilla anguilla*). *Physiology and Behavior*, 92(4), 684-690. doi: 10.1016/j.physbeh.2007.05.013
- Byrne, C. J., Poole, R., Dillane, M., Rogan, G., & Whelan, K. F. (2004). Temporal and environmental influences on the variation in sea trout (*Salmo trutta* L.) smolt migration in the Burrishoole

- system in the west of Ireland from 1971 to 2000. *Fisheries Research*, 66(1), 85-94. doi: 10.1016/S0165-7836(03)00146-2
- Calles, O., Karlsson, S., Hebrand, M., & Comoglio, C. (2012). Evaluating technical improvements for downstream migrating diadromous fish at a hydroelectric plant. *Ecological Engineering*, 48, 30-37. doi: 10.1016/j.ecoleng.2011.05.002
- Chanseau, M., Larinier, M., & Travade, F. (1999). Efficacité d'un exutoire de dévalaison pour smolts de saumon Atlantique (*Salmo salar* L.) et comportement des poissons au niveau de l'aménagement hydroélectrique de Bedous sur le Gave d'Aspe étudiés par la technique de marquage-recapture et par radiotélémetrie. *BFPP - Bulletin Francais de la Peche et de la Protection des Milieux Aquatiques*, 72(353-354), 99-120.
- Courret, D. L., M. (2008). Guide pour la conception de prises d'eau « ichtyocompatibles » pour les petites centrales hydroélectriques. Rapport GHAAPPE RA.08.04. (pp. 72).
- Croze, O. (2007). Assessment of Downstream Fish Bypasses for Atlantic Salmon Smolts at Four Hydroelectric Facilities on the Ariège River (France). *American Fisheries Society Symposium.*, 1-18.
- Croze, O., Chanseau, M., & Larinier, M. (1999). Efficacité d'un exutoire de dévalaison pour smolts de saumon Atlantique (*Salmo salar* L.) et comportement des poissons au niveau de l'aménagement hydroélectrique de Camon sur la Garonne. *BFPP - Bulletin Francais de la Peche et de la Protection des Milieux Aquatiques*, 72(353-354), 121-140.
- Descy, J. P., A. Empain et J. Lambinon. (1981). La qualité des eaux courantes en Wallonie, Bassin de la Meuse. *Secrétariat d'Etat à l'Environnement, à l'Aménagement du Territoire et à l'Eau pour la Wallonie* (pp. 18).
- Descy, J. P., A. Empain et J. Lambinon (1982). (1982). Un inventaire de la qualité des eaux du bassin wallon de la Meuse (1976-1980) *Tribune du Cebedeau* (pp. p. 267-278).
- Fjeldstad, H. P., Uglem, I., Diserud, O. H., Fiske, P., Forseth, T., Kvingedal, E., . . . Järnegren, J. (2012). A concept for improving Atlantic salmon *Salmo salar* smolt migration past hydro power intakes. *Journal of Fish Biology*, 81(2), 642-663. doi: 10.1111/j.1095-8649.2012.03363.x
- Geffroy, B., Sadoul, B., & Bardonnnet, A. (2015). Behavioural syndrome in juvenile eels and its ecological implications. *Behaviour*, 152(2), 147-166. doi: 10.1163/1568539X-00003236
- Gustafsson, S. (2010). Migration losses of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts at a hydropower station area in River Åbyälven, Northern Sweden : passage fates at a reservoir, a power house and a bypass structure. *Fish and Environmental Studies, Second cycle, A1E. Umeå: SLU, Dept. of Wildlife.*
- Handeland, S. O., Wilkinson, E., Sveinsbø, B., McCormick, S. D., & Stefansson, S. O. (2004). Temperature influence on the development and loss of seawater tolerance in two fast-growing strains of Atlantic salmon. *Aquaculture*, 233(1-4), 513-529. doi: 10.1016/j.aquaculture.2003.08.028
- Hansen, L. P., Jacobsen, J. A., & Lund, R. A. (1993). High numbers of farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L., observed in oceanic waters north of the Faroe Islands. *Aquaculture & Fisheries Management*, 24(6), 777-781.
- Haro, A., Odeh, M., Noreika, J., & Castro-Santos, T. (1998). Effect of water acceleration on downstream migratory behavior and passage of Atlantic salmon smolts and juvenile American shad at surface bypasses. *Transactions of the American Fisheries Society*, 127(1), 118-127.
- Harvey, B. C. (1987). Susceptibility of Young-of-the-Year Fishes to Downstream Displacement by Flooding. *Transactions of the American Fisheries Society*, 116(6), 851-855. doi: 10.1577/1548-8659(1987)116<851:SOYFTD>2.0.CO;2
- Hecker, G., & Cook, T. (2005). Development and Evaluation of a New Helical Fish-Friendly Hydroturbine. *Journal of Hydraulic Engineering*, 131(10), 835-844. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9429(2005)131:10(835)
- Huet, M. (1949). Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles des eaux courantes. *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie*, 11(3-4), 332-351. doi: 10.1007/BF02503356

- Ibbotson, A. T., Beaumont, W. R. C., Pinder, A., Welton, S., & Ladle, M. (2006). Diel migration patterns of Atlantic salmon smolts with particular reference to the absence of crepuscular migration. *Ecology of Freshwater Fish*, 15(4), 544-551. doi: 10.1111/j.1600-0633.2006.00194.x
- Jensen, A. J., Finstad, B., Fiske, P., Hvidsten, N. A., Rikardsen, A. H., & Saksgård, L. (2012). Timing of smolt migration in sympatric populations of Atlantic salmon (*salmo salar*), brown trout (*salmo trutta*), and arctic char (*Salvelinus alpinus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 69(4), 711-723. doi: 10.1139/F2012-005
- Jepsen, N., Aarestrup, K., Økland, F., & Rasmussen, G. (1998). Survival of radio-tagged Atlantic salmon (*Salmo salar* (L.)) and trout (*Salmo trutta* L.) smolts passing a reservoir during seaward migration. *Hydrobiologia*, 371-372, 347-353.
- Johnson, G. E., & Dauble, D. D. (2006). Surface flow outlets to protect juvenile salmonids passing through hydropower dams. *Reviews in Fisheries Science*, 14(3), 213-244. doi: 10.1080/10641260600864023
- Jonsson, B., & Ruud-Hansen, J. (1985). Water Temperature as the Primary Influence on Timing of Seaward Migrations of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) Smolts. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 42(3), 593-595. doi: 10.1139/f85-076
- Karppinen, P., Jounela, P., Huusko, R., & Erkinaro, J. (2014). Effects of release timing on migration behaviour and survival of hatchery-reared Atlantic salmon smolts in a regulated river. *Ecology of Freshwater Fish*, 23(3), 438-452. doi: 10.1111/eff.12097
- Kemp, P. S., Gilvear, D. J., & Armstrong, J. D. (2006). Variation in performance reveals discharge-related energy costs for foraging Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr. *Ecology of Freshwater Fish*, 15(4), 565-571. doi: 10.1111/j.1600-0633.2006.00200.x
- Klemetsen, A., Amundsen, P. A., Dempson, J. B., Jonsson, B., Jonsson, N., O'Connell, M. F., & Mortensen, E. (2003). Atlantic salmon *Salmo salar* L., brown trout *Salmo trutta* L. and Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.): A review of aspects of their life histories. *Ecology of Freshwater Fish*, 12(1), 1-59. doi: 10.1034/j.1600-0633.2003.00010.x
- Koed, A., Jepsen, N., Aarestrup, K., & Nielsen, C. (2002). Initial mortality of radio-tagged Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts following release downstream of a hydropower station. *Hydrobiologia*, 483, 31-37. doi: 10.1023/A:1021390403703
- Larinier, M., & Boyer-Bernard, S. (1991). Dévalaison des smolts et efficacité d'un exutoire de dévalaison à l'usine hydroélectrique d'Halsou sur la Nive. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*(321), 72-92.
- Larinier, M., & Travade, F. (1999). Downstream migration : Problems and facilities. *BFPP - Bulletin Francais de la Peche et de la Protection des Milieux Aquatiques*, 72(353-354), 181-210.
- Lucas M.C., B. E. (2001). *Migration of freshwater fishes*. Oxford.
- Lucas, M. C. (2000). The influence of environmental factors on movements of lowland-river fish in the Yorkshire Ouse system. *Science of the Total Environment*, 251-252, 223-232. doi: 10.1016/S0048-9697(00)00385-5
- Marneffe, Y., J. C. Bussers, M. Louvet et J. P. Thomé. (1995). La qualité physico-chimique et biologique de la Warche et son incidence sur l'Amblève. *Bull. Soc. r. Sci. Liège*, 64(2), 77-103.
- Marschall, E. A., Mather, M. E., Parrish, D. L., Allison, G. W., & McMenemy, J. R. (2011). Migration delays caused by anthropogenic barriers: Modeling dams, temperature, and success of migrating salmon smolts. *Ecological Applications*, 21(8), 3014-3031. doi: 10.1890/10-0593.1
- McCormick, S. D., Hansen, L. P., Quinn, T. P., & Saunders, R. L. (1998). Movement, migration, and smolting of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 55(SUPPL.1), 77-92.
- Meldgaard, T., Nielsen, E. E., & Loeschcke, V. (2003). Fragmentation by weirs in a riverine system: A study of genetic variation in time and space among populations of European grayling (*Thymallus thymallus*) in a Danish river system. *Conservation Genetics*, 4(6), 735-747. doi: 10.1023/B:COGE.0000006115.14106.de
- Muška, M., Tušer, M., Frouzová, J., Draščík, V., Čech, M., Jůza, T., . . . Kubečka, J. (2013). To migrate, or not to migrate: Partial diel horizontal migration of fish in a temperate freshwater reservoir. *Hydrobiologia*, 707(1), 17-28. doi: 10.1007/s10750-012-1401-9

- Noonan, M. J., Grant, J. W. A., & Jackson, C. D. (2012). A quantitative assessment of fish passage efficiency. *Fish and Fisheries*, 13(4), 450-464.
- Norrgård, J. R., Greenberg, L. A., Piccolo, J. J., Schmitz, M., & Bergman, E. (2013). Multiplicative loss of landlocked atlantic salmon sALMO SALAR I. Smolts during downstream migration through multiple dams. *River Research and Applications*, 29(10), 1306-1317. doi: 10.1002/rra.2616
- Nzau Matondo B., P. J. C., Dierckx A., Benitez J.P, Rimbaud, G. & Ovidio M. Estimation de l'abondance du stock des anguilles recrutées par migration de remontée dans la Meuse en Wallonie et réalisation des essais de repeuplement en juvéniles. Rapport final du projet financé par le Fonds européen pour la Pêche (Code projet: 32-1102-002) et Service Public de Wallonie, Département de la Nature et des Forêts. In L. d. D. d. P. e. d. H. d. I. U. d. Liège (Ed.), (Vol. 136).
- Ovidio, M. (1999). Annual activity cycle of adult brown trout (*Salmo trutta* L.) : A radio-telemetry study in a small stream of the Belgian Ardenne. *Bulletin Francais de la Peche et de la Protection des Milieux Aquatiques*, 72(352), 1-18.
- Ovidio, M., Dierckx, A., Benitez, J.P., Philippart, J.C., & Orban P. (2012). Behavioural adaptations of rheophilic fish radio-tracked in a river highly fragmented by hydroelectric plants. Outcomes of a partial reopening of their migration routes. *Proceedings of the 9th International Conference on Ecohydraulics*.
- Ovidio, M., Dierckx, A., Matondo, B.N., Benitez, J.P., Philippart, J.C., Bernard, B., Mandiki, R., Evrard, A. Kestemont. Rapport final annuel 2015 au Service Public de Wallonie (DGARNE/DNF-SP) de la Subvention 2014-2015 relative au suivi scientifique de la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse. In U. d. L. e. U. d. Namur (Ed.), (pp. 133).
- Ovidio, M., Neus, Y., Rimbaud, G., Francois, A. & Philippart, J.C. (2007 b). Suivi scientifique de l'efficacité des nouvelles échelles à poissons sur la Berwinne aux barrages de Berneau et de Mortroux. Bilan global des études et perspectives. Rapport final au Ministère de la Région Wallonne, DGRNE-Division de l'Eau, Direction des Cours d'eau non navigables. . In L. d. D. d. P. e. d. H. Université de Liège (Ed.), (pp. 216).
- Ovidio, M., Neus, Y., Rimbaud, G., Otte, D., Dewespin, A., Courtois, J. & Philippart, J.C. (2007 a). Caractérisation des patrons de mobilité de salmonidés et de cyprins rhéophiles dans la zone d'influence de la centrale hydro-électrique de Heid de Goreux (Amblève). Implications pour la mise en place de la nouvelle échelle à poissons de Lorcé. Rapport final au Ministère de la Région Wallonne, DGRNE-Division de l'Eau, Direction des Cours d'eau non navigables. Université de Liège, Laboratoire de Démographie des Poissons et d'Hydroécologie, (avril 2007) (pp. 83 pages).
- Ovidio, M., Parkinson, D., Sonny, D., & Philippart, J. C. (2004). Spawning movements of European grayling *Thymallus thymallus* in the River Aisne (Belgium). *Folia Zoologica*, 53(1), 87-98.
- Ovidio, M., & Philippart, J.-C. (2002). The impact of small physical obstacles on upstream movements of six species of fish. *Hydrobiologia*, 483(1-3), 55-69. doi: 10.1023/A:1021398605520
- Ovidio, M., & Philippart, J. C. (2008). Movement patterns and spawning activity of individual nase *Chondrostoma nasus* (L.) in flow-regulated and weir-fragmented rivers. *Journal of Applied Ichthyology*, 24(3), 256-262. doi: 10.1111/j.1439-0426.2008.01050.x
- Ovidio, M. e. P., J.C. (2009). Développement d'une méthodologie de fixation des conditions d'exploitation des centrales hydro-électriques sur les cours d'eau non navigables de Wallonie afin de limiter leur impact sur la qualité écologique et les ressources piscicoles des milieux. Tome 3. Evaluation d'aménagements de protection environnementale en place ou sur le point d'être construits au niveau de sites hydroénergétiques. Rapport d'études (Convention octobre 2007-septembre 2009 Visa n° 07/13407) au SPW-DGARNE, Direction des Cours d'Eau Non Navigables. *Université de Liège (UBC-LDPH)*, 75 pages.
- Parkinson, D., Philippart, J. C., & Baras, E. (1999). A preliminary investigation of spawning migrations of grayling in a small stream as determined by radio-tracking. *Journal of Fish Biology*, 55(1), 172-182. doi: 10.1006/jfbi.1999.0977

- Pavlov, D. S. (1994). The downstream migration of young fishes in rivers: Mechanisms and distribution. *Folia Zoologica*, 43(3), 193-208.
- Pedersen, L. F., Koed, A., & Malte, H. (2008). Swimming performance of wild and F1-hatchery-reared Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) smolts. *Ecology of Freshwater Fish*, 17(3), 425-431. doi: 10.1111/j.1600-0633.2008.00293.x
- Philippart, J. C. (1989). Relationships between the ecology of fish populations and the abiotic characteristics of running waters in the Belgian R. Meuse basin. *Bulletin - Societe Geographique de Liege*, 25, 175-198.
- Philippart, J. C., Ovidio, M., Rimbaud, G., Dierckx, A., Poncin, P., Bernard, B., Mandiki, R., Evrard, A., Kestemont, P. (2011). Rapport final annuel 2011 au Service Public de Wallonie (D GARNE/DNF-SP) de la Subvention 2010-2011 relative au suivi scientifique de la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse. In U. d. L. e. U. d. Namur (Ed.), (pp. 142).
- Philippart, J. C. D., A., Matondo, B.N., Benitez, J.P. Poncin, P, Kestemont, P., Bernard, B., Mandiki,R.,Evrard, A., Ovidio, M. (2014). Rapport final annuel 2014 au Service Public de Wallonie (D GARNE/DNF -SP) de la Subvention 2013-2014 relative au suivi scientifique de la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse. In U. d. L. e. U. d. Namur (Ed.), (pp. 160).
- Potter, I. C., Hilliard, R. W., Bradley, J. S., & McKay, R. J. (1986). The influence of environmental variables on the density of larval lampreys in different seasons. *Oecologia*, 70(3), 433-440. doi: 10.1007/BF00379508
- Prchalová, M., Horký, P., Slavík, O., Vetešník, L., & Halačka, K. (2011). Fish occurrence in the fishpass on the lowland section of the River Elbe, Czech Republic, with respect to water temperature, water flow and fish size. *Folia Zoologica*, 60(2), 104-114.
- Reichard, M., Jurajda, P., & Ondračková, M. (2002). The effect of light intensity on the drift of young-of-the-year cyprinid fishes. *Journal of Fish Biology*, 61(4), 1063-1066.
- Scruton, D. A., Pennell, C. J., Bourgeois, C. E., Goosney, R. F., Porter, T. R., & Clarke, K. D. (2007). Assessment of a retrofitted downstream fish bypass system for wild Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts and kelts at a hydroelectric facility on the Exploits River, Newfoundland, Canada. *Hydrobiologia*, 582(1), 155-169. doi: 10.1007/s10750-006-0557-6
- Solomon, D. J. (1978). Migration of smolts of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and sea trout (*Salmo trutta* L.) in a chalkstream. *Environmental Biology of Fishes*, 3(2), 223-229. doi: 10.1007/BF00691946
- Sonny, D., Jorry, S., Wattiez, X., & Philippart, J. C. (2006). Inter-annual and diel patterns of the drift of cyprinid fishes in a small tributary of the Meuse River, Belgium. *Folia Zoologica*, 55(1), 75-85.
- Spring, N. (2010). Fish-friendly hydro turbine. *Power Engineering (Barrington, Illinois)*, 114(3), 48-51.
- Tarrade, L., Texier, A., David, L., & Larinier, M. (2008). Topologies and measurements of turbulent flow in vertical slot fishways. *Hydrobiologia*, 609(1), 177-188. doi: 10.1007/s10750-008-9416-y
- Travade, F., Gouyou, C., & De Faveri, N. (1999). Efficacité d'un exutoire de dévalaison et d'une barrière acoustique pour les smolts de saumon Atlantique (*Salmo salar* L.) à l'aménagement hydroélectrique de St. Cricq sur le gave d'Ossau. *BFPP - Bulletin Francais de la Peche et de la Protection des Milieux Aquatiques*, 72(353-354), 157-180.
- van Ginneken, V. J. T., & Maes, G. E. (2005). The European eel (*Anguilla anguilla*, Linnaeus), its lifecycle, evolution and reproduction: A literature review. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 15(4), 367-398. doi: 10.1007/s11160-006-0005-8
- Vowles, A. S., Karlsson, S. P., Uzunova, E. P., & Kemp, P. S. (2014). The importance of behaviour in predicting the impact of a novel small-scale hydropower device on the survival of downstream moving fish. *Ecological Engineering*, 69, 151-159. doi: 10.1016/j.ecoleng.2014.03.089

- Williams, J. G., Armstrong, G., Katopodis, C., Larinier, M., & Travade, F. (2012). Thinking like a fish: A key ingredient for development of effective fish passage facilities at river obstructions. *River Research and Applications*, 28(4), 407-417. doi: 10.1002/rra.1551
- Yamamoto, T., & Reinhardt, U. G. (2003). Dominance and predator avoidance in domesticated and wild masu salmon *Oncorhynchus masou*. *Fisheries Science*, 69(1), 88-94. doi: 10.1046/j.1444-2906.2003.00591.x

IX. ANNEXES

Dans le cadre de ce projet FEP, plusieurs activités de vulgarisation des données ont été réalisées.

1. Participation à des conférences scientifiques

Benitez, J.-P., Nzau Matondo, B., Dierckx, A., & Ovidio, M. (2014). Using intensive multiyear fish-pass monitoring to analyse seasonal upstream movement patterns of patrimonial holobiotic potomadromous fish species in a medium size river. *Proceedings of the 10th International Conference on Ecohydraulics*.

<http://hdl.handle.net/2268/170322>

Peer reviewed ✓

Ovidio, M., Dierckx, A., Grandry, L., Bunel, S., & Benitez, J.-P. (2015, September 09). *Attractiveness and efficiency of a downstream migration bypass for Atlantic Salmon (Salmo salar) smolts in a Belgian medium size river*. Paper presented at XV European Congress of Ichthyology, Porto, Portugal.

<http://hdl.handle.net/2268/186007>

Peer reviewed ✓

Ovidio, M., Hanzen, C., Gennotte, V., Michaux, J., Benitez, J.-P., & Dierckx, A. (2015, March). *Evaluation d'un test de translocation intra-rivière de hotu (Chondrostoma nasus) par biotéléométrie et caractérisation génétique individuelle*. Paper presented at Sixièmes rencontres de l'ichtyologie en France, Paris, France.

<http://hdl.handle.net/2268/179863>

Peer reviewed ✓

Benitez, J.-P., & Ovidio, M. (2014, December 12). *Flexibility of the movement patterns of two rheophilic cyprinids according to river characteristics*. Paper presented at Zoology 2014, Liège, Belgique.

<http://hdl.handle.net/2268/175142>

Peer reviewed ✓

2. Articles scientifiques acceptés

Benitez, J. P., Nzau Matondo, B., Dierckx, A., & Ovidio, M. (2015). An overview of potamodromous fish upstream movements in medium-sized rivers, by means of fish passes monitoring. *Aquatic Ecology*. doi: 10.1007/s10452-015-9541-4 (in Press)

<http://hdl.handle.net/2268/185728>

Peer reviewed ✓

M. Ovidio, C. Hanzen, V. Gennotte, J. Michaux, J.P. Benitez & A. Dierckx - Is adult translocation a credible way to accelerate the re-colonization process of *Chondrostoma nasus* in a rehabilitated river? *Cybium*, in press.

3. Articles en cours de finalisation

M. OVIDIO, A. DIERCKX, S. BUNEL, L. GRANDRY, C. SPRONCK & J.-P. BENITEZ. Individual scale evaluation of the attractiveness and efficiency of a low flow downstream migration bypass

BENITEZ J.P., DIERCKX, A. & OVIDIO M. Seasonal patterns of downstream and upstream movements of fish, as revealed by the monitoring of fish-pass and bypass facilities

4. Tableau des indicateurs

N° Action	Objectifs	Indicateurs	Unités de mesures	Octobre 2013-avril 2014	Mai 2014 - Décembre 2014	Janvier 2015 - Octobre 2015	Résultat final
1	Biomasse par année attendue entre 10 et 40kg et 2 à 3 contrôles par semaine	Efficacité de l'exutoire de Lorcé: biomasse par année	Nombre de contrôles, nombre d'individus capturés et biomasse	48 contrôles (2,56 contrôles/semaine), 898 individus capturés (128 marqués) de 17 espèces différentes et une biomasse totale de 71kg	74 contrôles (2,18 contrôles/semaine), 514 individus capturés (25 marqués) de 18 espèces différentes et une biomasse totale de 69kg	60 contrôles (1,74 contrôles/semaine), 497 individus capturés (87 marqués) de 20 espèces différentes et une biomasse totale de 36kg	Biomasse par année entre 36 et 140kg; 182 contrôles (2,16 contrôles/semaine)
2	Biomasse par année attendue entre 40 et 80 kg et 2 à 3 contrôles par semaine	Efficacité de l'échelle à poissons de Lorcé: biomasse par année	Nombre de contrôles, nombre d'individus capturés et biomasse	67 contrôles (2,4 contrôles/semaine), 77 individus capturés (57 marqués) de 6 espèces différentes et une biomasse totale de 10kg.	81 contrôles (2,38 contrôles/semaine), 486 individus capturés (137 marqués) de 13 espèces différentes et une biomasse totale de 62kg	75 contrôles (2,14 contrôles/semaine), 1890 individus capturés (72 marqués) de 15 espèces différentes et une biomasse totale de 93kg	Biomasse par année entre 70 et 93kg; 223 contrôles (2,31 contrôles/semaine)
3	Marquage de min. 30 individus de 2 espèces différentes (saumon et anguille) avec un taux d'efficacité réel de min. 40%	Suivis de poissons par technologie RFID et taux d'efficacité de l'exutoire de dévalaison	Nombre d'individus marqués par espèce et taux d'efficacité	300 smolts de saumon atlantique déversés pour un taux d'efficacité réel de 16% et corrigé de 34% (43 capturés pour 125 détectés)	146 smolts de saumon atlantique déversés pour un taux d'efficacité réel de 8% et corrigé de 31% (60 capturés pour 162 détectés)	300 smolts de saumon atlantique et 400 smolts de truite de mer déversés pour un taux d'efficacité de réel de 7% et corrigé de 40% (49 capturés pour 124 détectés)	2 espèces marquées (saumon et truite de mer) avec un total de 1146 individus (7746 saumon et 400 truite de mer) dont 286 individus détectés. Le taux d'efficacité réel est de 9,5%.

Action

Action 1 Piégeage de poissons en migration de dévalaison dans le piège de l'exutoire du barrage de Lorcé

Action 2 Piégeage des poissons en migration de remontée dans le piège de capture de l'échelle à poissons de Lorcé.

Action 3 Calcul d'un taux d'utilisation de l'exutoire à l'aide de la technologie RFID et comparaison de l'efficacité saumon-anguille