



Service public de Wallonie

Université
de Liège



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: 32-1002-004

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

**BENITEZ J.P., DIERCKX A.,
BREDART D., GRANDRY L., HANZEN C.
& OVIDIO M.**

**UNIVERSITÉ DE LIÈGE
FACULTÉ DES SCIENCES**

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

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



Septembre 2013

10 chemin de la Justice, 4500 Tihange

e-mail :

jpbenitez@ulg.ac.be

M.Ovidio@ulg.ac.be

Table des matières

I. Introduction générale	1
II. Présentation générale de de l'Amblève	4
II.1. Géomorphologie du cours et lithologie-géologie	4
II.2. Zonation piscicole théorique	5
II.3. Régime des débits	6
II.4. Régime des températures	8
II.5. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau	9
II.5.1. Composition naturelle de l'eau	9
II.5.2. Pollution de l'eau	9
III. Analyse saisonnière de la structure des populations piscicoles en aval de la cascade de Coo	10
III.1. Introduction	10
III.2. Méthodologie	12
III.2.1. Présentation du site d'étude	12
III.2.2. Dates d'échantillonnages	15
III.2.3. Technique d'échantillonnage	16
III.2.4. Conditions de débit et de température	18
III.3. Résultats	19
III.3.1. Analyse de l'abondance en espèces, individus et biomasse	19
III.3.2. Analyse de la variation saisonnière à l'échelle de l'espèce en aval de la cascade de Coo	24

III.3.3. Comparaison des captures entre le tronçon rivière et le chenal de restitution	26
III.3.4. Capture-recapture d'individus marqués par transpondeur	33
III.4. Discussion	34
IV. Piégeage des poissons en migration de remontée dans le piège de capture de l'échelle à poissons de Lorcé	37
IV.1. Introduction	37
IV.2.1. Contrôle du piège de l'échelle à poissons du barrage de Lorcé	41
IV.2.2. Données environnementales	42
IV.3. Résultats	43
IV.3.1. Conditions environnementales pendant la durée du contrôle de l'échelle à poissons	43
IV.3.2. Diversité des espèces, nombre d'individus et biomasse	43
IV.3.3. Variations annuelles des captures	47
IV.3.4. Tailles des poissons capturés	49
IV.3.5. Répartition saisonnière des captures	47
IV.3.6. Influence de la température de l'eau et du débit sur les taux de captures	60
IV.4. Discussion	66
V. Caractérisation des patrons de migration de poissons radio-pistés dans l'axe Lorcé-Coo et analyse fine de comportement de poissons bloqués au pied de la cascade de Coo	70
V.1. Introduction	70
V.2. Méthodologie	71
V.2.1. Espèces radio-pistées	71
V.2.2. Captures, marquages et suivis téléométriques	73

V.2.2. Captures, marquages et suivis télémétriques	73
V.2.3. Données environnementales	79
V.3. Résultats	80
V.3.1. Conditions environnementales pendant la durée du radio-pistage	80
V.3.2. Suivis des truites communes	80
V.3.3. Suivis des barbeaux	85
V.3.4. Suivis des hotus	94
V.3.5. Identification de zones potentielles de reproduction pour les hotus	102
V.3.6. Analyse du comportement des poissons en approche de la cascade	106
V.4. Discussion	117
VI. Caractérisation de la dévalaison de smolts de saumon atlantique dans l'axe Coo-Lorcé	127
VI.1. Introduction	127
VI.2. Méthodologie	130
VI.2.1. Sites d'étude	130
VI.2.2. Origine des smolts radio-pistés	138
VI.2.3. Marquages et suivis télémétriques	139
VI.2.4. Données environnementales	143
VI.3. Résultats	144
VI.3.1. Conditions environnementales durant les suivis	144
VI.3.2. Analyse des déplacements des smolts équipés d'émetteurs	148
VI.3.3. Analyse du comportement des smolts à l'approche de la cascade de Coo	157

VI.3.4. Analyse du comportement des smolts à l'approche du barrage de Lorcé	158
VI.4. Discussion	160
VII. Caractérisation de l'efficacité de l'exutoire de dévalaison de Lorcé	164
VII.1. Introduction	164
VII.2. Méthodologie	165
VII.2.1. Espèces cibles	165
VII.2.2. Transpondeurs RFID et station de détection automatique	167
VII.2.3. Sites d'étude	168
VII.2.4. Tests préliminaires et complémentaires	174
VII.2.5. Suivis comportementaux par transpondeurs RFID	179
VII.3. Résultats	184
VII.3.1. Conditions environnementales durant les suivis	184
VII.3.2. Synthèse des résultats en fonction des lots	186
VII.3.3. Recapture et redétection dans l'Ourthe et en Meuse	198
VII.3.4. Influence de la taille des smolts	201
VII.3.5. Résultats de l'anguille	203
VII.4. Discussion	204
VIII. Références bibliographiques	210

Citation recommandée du rapport :

Benitez J.P., Dierckx A., Brédart D., Grandry L., Hanzen 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. Laboratoire de Démographie des Poissons et d'Hydroécologie de l'Université de Liège, 214 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 les Fonds Européens pour la Pêche (FEP) et la Direction des Cours d'Eau Non Navigables, Service Public de Wallonie (*Code projet: 32-1002-004*) intitulé « 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. »

De nombreux obstacles aux phénomènes de montaison et de dévalaison existent sur l'Amblève et ses affluents suite à la fragmentation du cours d'eau par des ouvrages hydroélectriques. 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, deux sites hydroélectriques de l'Amblève, la cascade de Coo (chute artificielle de 11,8 mètres de haut) et le barrage de prise d'eau de Lorcé alimentant la centrale hydroélectrique de Heid de Goreux ont été considérés comme prioritaires 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 est scientifiquement contrôlée depuis 2007 par le LDPH. En 2012, suite à des suivis biologiques réalisés par le LDPH et des recommandations pratiques, la Société Electrabel a équipé le barrage de prise d'eau de Lorcé d'un exutoire de dévalaison des poissons dans une configuration préliminaire. Quant à la cascade de Coo, elle est considérée comme un obstacle infranchissable dans le sens de la montaison et donc doit être équipée d'un dispositif de franchissement comme le demande le permis d'exploitation de la centrale hydroélectrique de Coo-dérivation. L'aménagement d'un dispositif de franchissement pour poissons sur ce site très particulier pour sa hauteur de chute et l'exploitation touristique très proche constitue un véritable défi technologique. Le problème de la dévalaison des poissons sur le site de la cascade de Coo doit également être envisagé. L'objectif principal de ce projet est de fournir un appui scientifique à l'optimisation de la

conception des dispositifs de franchissement (et de vérifier l'efficacité des dispositifs existants) sur ces deux sites hydroélectriques de l'Amblève via l'étude du comportement de poissons d'espèces cibles.

Pour atteindre ces objectifs, 5 actions sont prévues dans le cadre de ce projet FEP :

Action 1 : « **Analyse saisonnière de la structure des populations piscicoles en aval de la cascade de Coo.** » Cette action consiste en l'étude de la variation des populations piscicoles en aval de la cascade de Coo par pêche électrique à de différentes saisons de l'année.

Action 2 : « **Piégeage de poissons en migration de remontée dans le piège de capture de l'échelle à poissons de Lorcé.** » Cette action est la poursuite du contrôle du piège de capture de la passe à poissons du barrage de Lorcé.

Action 3 : « **Caractérisation des patrons de migration de poissons radio-pistés dans l'axe Lorcé-Coo et analyse fine de comportement de poissons bloqués au pied de la cascade de Coo.** » Cette action réside en un suivi comportemental par radio-pistage de plusieurs espèces cibles de poissons sur le tronçon Lorcé-Coo avec une attention particulière lors de leur approche de la cascade de Coo.

Action 4 : « **Caractérisation de la dévalaison de smolts de saumon atlantique dans l'axe Lorcé-Coo.** » Cette action est le suivi comportemental par radio-pistage de smolts de saumon atlantique durant leur dévalaison en approche de la cascade de Coo et du barrage de Lorcé.

Action 5 : « **Caractérisation de l'efficacité de l'exutoire de dévalaison de Lorcé.** » Cette action consiste à évaluer l'efficacité de l'exutoire aménagé au barrage de Lorcé en 2012 en utilisant la technologie RFID (identification par radio fréquence).

Les recherches ont principalement été réalisées par Jean-Philippe Benitez, Biologiste, attaché de recherche avec l'appui technique d'Arnaud Dierckx, gradué en agronomie. Trois étudiants de l'ULg ont réalisé leur mémoire de fin d'étude en lien direct avec ce projet, Céline Hanzen (Biologiste), Louise Grandry (Psychologue) et David Brédart (Psychologue). La supervision

scientifique du projet et des mémoires a été assurée par le Dr Michaël Ovidio, responsable du LDPH. Nous tenons à remercier les autres membres de l'équipe pour leur appui ponctuel: Gilles Rimbaud, Dr Billy Nzau Matondo et Dr Jean-Claude Philippart. Un merci particulier à notre Secrétaire Exécutive, F. Bruls pour son appui 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 MM. les Ministres B. Lutgen et 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 ont accordé cette subvention de recherche à l'ULg. Nous n'oublions pas le Directeur de la DCENN, M. F. Lambot de la DGARNE (Direction des Cours d'Eau non Navigables) et ses collaborateurs P. Orban et O. Detrait pour la confiance qu'ils nous témoignent en nous accordant ce financement. Nous exprimons nos plus vifs remerciements à la société Electrabel, représentée par MM. D. Mewissen, L. François et V. Lognay 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 X. Rollin ainsi que ses agents de la pisciculture d'Erezée : Y. Neus, D. Gilson et V. Georis pour leur collaboration dans l'acquisition des smolts de saumon atlantique. Les pêches électriques d'inventaires ont été réalisées avec l'aimable collaboration des sociétés de pêches de l'Amblève, nous les remercions pour leur intérêt pour cette étude et leur participation active. Merci aussi aux membres du comité d'accompagnement (non encore cités) pour leur participation active aux réunions : P. Schmitt (CR Amblève), S. Chaoui (SPW-Energie), P. Mouton (représentant B. Lutgen et C. Di Antonio), R. Crahay (DNF) 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

II.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 1074km², l'Amblève est le plus important affluent de l'Ourthe, avant la Vesdre (702km²).

Dans son cours supérieur, l'Amblève coule à travers le Siegennien et le Gedinien puis elle traverse le massif de Stavelot d'est en ouest (terrains cambro-ordoviciens). Elle trouve le Gedinien à partir de Lorcé où la rivière est caractérisée par les blocs de quartzite revinien (cambrien supérieur) pluri-décimétriques, voire métriques. A Sougné-Remouchamps, elle entre dans le Condroz oriental et va scinder à Aywaille un anticlinal, pour plus loin dessiner un méandre dans un synclinal calcaire.

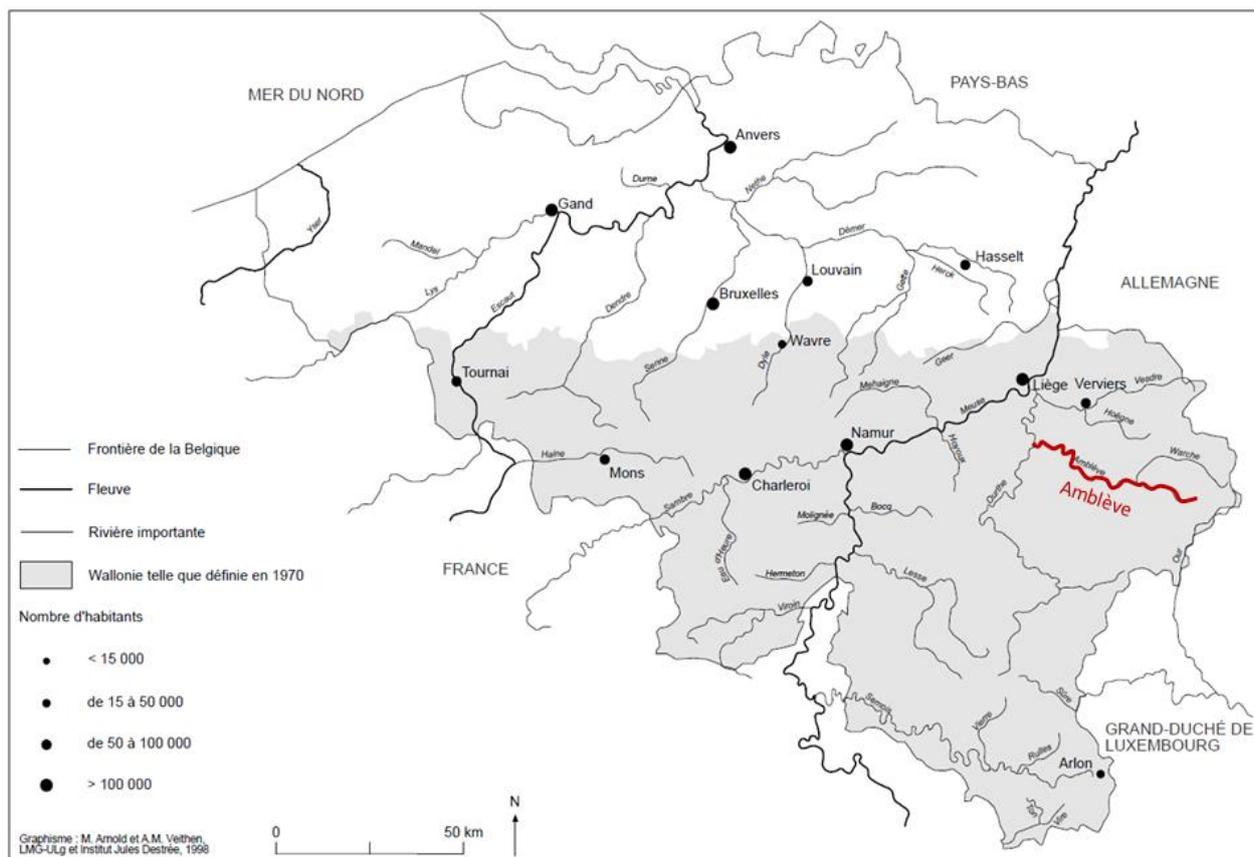


Figure 1 : Carte des principaux fleuves et rivières de Belgique. En rouge l'Amblève (sources LMG-ULg et institut Jules Destrée, 1998)

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

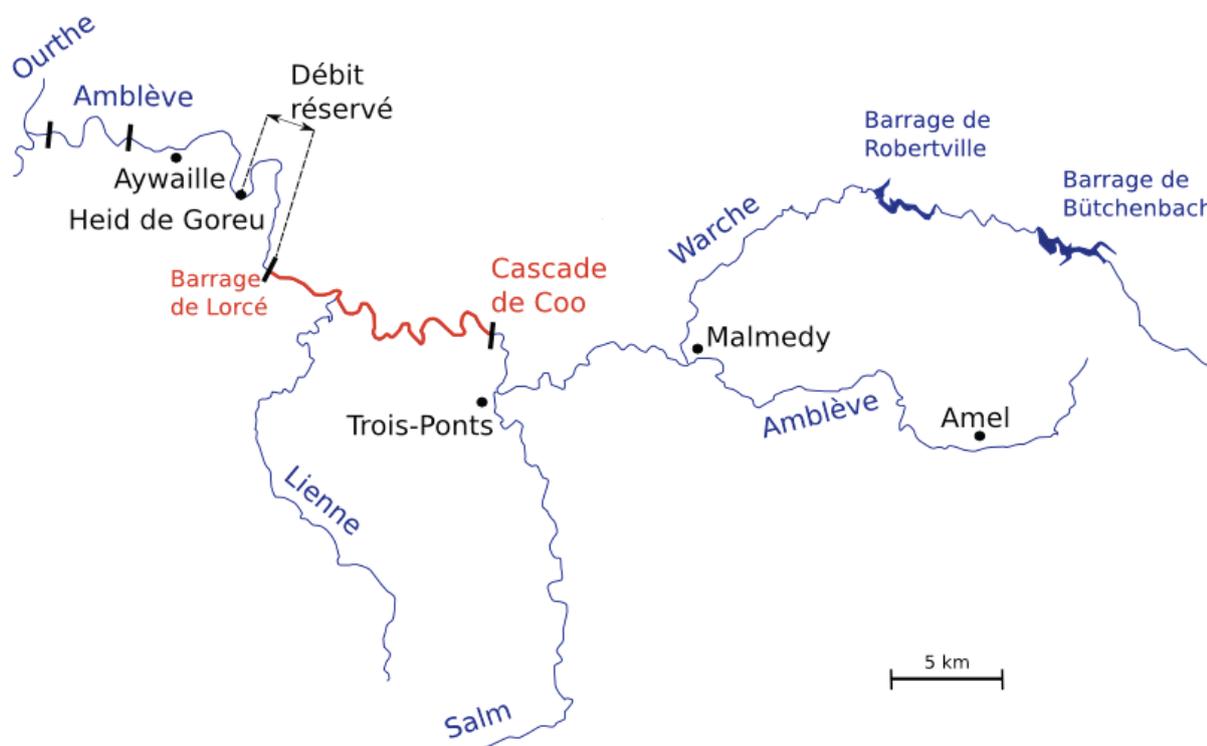


Figure 2 : Carte de l'Amblève depuis sa source près d'Amel jusqu'à son embouchure dans l'Ourthe à Comblain-au-Pont. La carte montre également les principaux obstacles à la libre circulation (barres noires) ainsi que les principaux affluents de l'Amblève : la Warche, la Salm et la Lienne. En rouge, le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

La pente kilométrique moyenne naturelle de l'Amblève est de 5,48 p/1000 (484m/88,4km) mais le profil en long originel de la rivière est modifié par la présence de la cascade de Coo (recoupement artificiel d'un méandre), du barrage hydroélectrique de Lorcé et de plusieurs autres barrages de moindre hauteur.

II.2. Zonation piscicole théorique

Du point de vue de la zonation piscicole selon Huet (1949), l'Amblève correspond à une zone à truite théorique de sa source au confluent de 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 à l'embouchure dans l'Ourthe est une zone à

ombre sauf un court tronçon à très forte pente (12,5 p/1000) dans les Fonds de Quareux qui correspond à une zone à truite. Du point de vue de la zonation piscicole, l'Amblève est analogue à l'Ourthe de la source aux environs de Deulin.

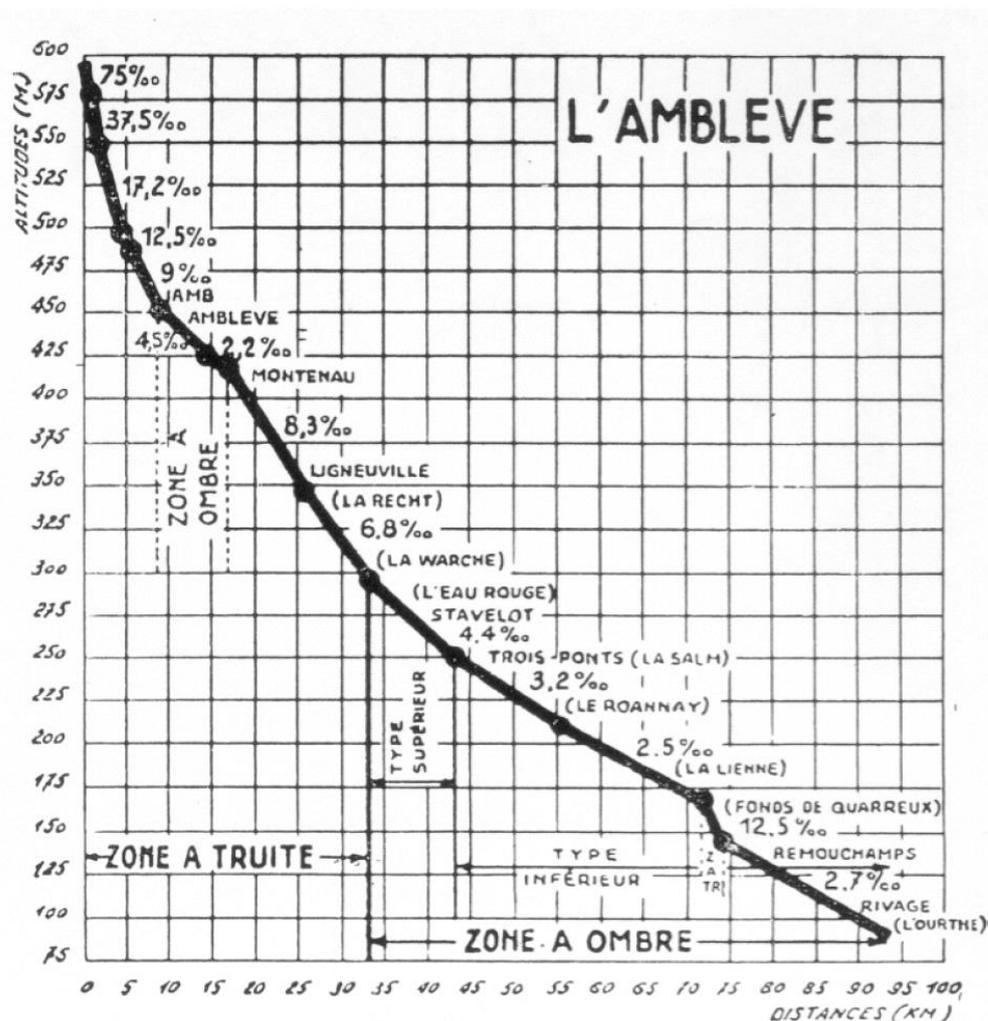


Figure 3 : Profil en long de l'Amblève indiquant l'extension des zones piscicoles théoriques selon Huet (extrait de: Huet, 1950).

II.3. Régime des débits

Le régime hydrologique de l'Amblève est connu à la station limnimétrique de Martinrive qui marque pratiquement l'exutoire du bassin. Pour la période de 1998-2012 (tableau 1), le débit interannuel moyen est de 19,5m³/s avec un minimum de 12,8m³/s en 2003 et un maximum de 24,9m³/s en 2002. Le débit estival (juin-juillet-août) moyen est de 7,7m³/s avec un minimum de 3,9m³/s en 2011 et un maximum de 14,3m³/s en 2007.

Tableau 1 : Variations saisonnières du débit de l'Amblève à Martinrive d'après les valeurs moyennes des débits mensuels pour la période de 14 années 1998-2012 (source : SETHY-MET)

Mois	Débit moyen (m ³ /s)	
	Annuel	Débit moyen mensuel (m ³ /s) Min Max
Janvier	38,517	15,931 76,356
Février	35,079	11,099 84,330
Mars	32,368	12,693 58,760
Avril	18,249	6,183 34,437
Mai	12,055	3,422 21,479
Juin	7,359	3,721 14,446
Juillet	7,700	2,784 23,026
Août	8,109	2,734 17,256
Septembre	11,220	3,088 45,162
Octobre	12,134	4,236 38,482
Novembre	20,520	3,302 48,678
Décembre	30,297	11,622 53,969
Moyenne totale	19,467	6,735 43,032
Moyenne l'été (JJA)	7,723	3,942 14,341

Les débits moyens mensuels les plus bas se sont produits majoritairement en période estivale, principalement entre les mois de juin et septembre mis à part une fois en avril (2007). Le débit journalier minimum observé pendant la période 1998-2012 est de 1,8m³/s, le 12 juillet 2011 et le débit journalier maximum est de 259m³/s le 15 septembre 1998.

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 (Dumoulin, 2001). Le débit enregistré à Martinrive est donc totalement irrégulier.

II.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 Martinrive pendant une période de 14 ans, de 1998 à 2012.

En moyenne, les températures d'eau interannuelles les plus élevées apparaissent en juillet (18°C) et en août (17,5°C). Pour ce qui concerne la température moyenne mensuelle, un maximum absolu de 21,6°C a été enregistré en juillet 2006 tandis que d'autres valeurs élevées ont été enregistrées en juillet et août 2003 (20,7°C). Avec une moyenne de 20,3°C pour les 3 mois d'été, juin-juillet-août, 2003 est de loin l'année la plus chaude pendant l'été de toutes celles de la série observée, juste après 2010 (18,1°C). La moyenne des températures en période estivale (juin-juillet-août) sur 14 ans étant de 17,4°C.

Tableau 2 : Variations saisonnières de la température de l'eau de l'Amblève à Martinrive d'après les valeurs moyennes, minimales et maximales des températures mensuelles en 1998-2012 (source: LDPH-ULg)

Mois	Température moyenne mensuelle (°C)		
	Interannuelle	Min	Max
Janvier	4,4	1,7	6,7
Février	4,4	2,1	6,3
Mars	6,3	4,3	7,3
Avril	9,8	8,1	12,8
Mai	13,7	12,3	15,5
Juin	16,8	15,2	19,6
Juillet	18,0	14,5	21,6
Août	17,5	15,6	20,7
Septembre	14,4	12,7	16,8
Octobre	10,6	8,6	13,0
Novembre	7,4	6,0	8,9
Décembre	4,7	2,0	6,3
Moyenne totale	10,7	8,6	13,0
Moyenne l'été (JJA)	17,4	15,1	20,6

II.5. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau

II.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.

II.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 ; Mouvet, 1980) 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.

III. ANALYSE SAISONNIERE DE LA STRUCTURE DES POPULATIONS PISCICOLES EN AVAL DE LA CASCADE DE COO

III.1. Introduction

La cascade de Coo représente une barrière physique totalement imperméable à la remontée des poissons (Philippart *et al.*, 2006) quelles que soient les conditions hydrauliques de l'Amblève. Ce blocage empêche les poissons en migration d'accéder, vers l'amont, aux habitats propices à la reproduction mais également aux habitats de refuge et de nutrition potentiellement favorables à toutes les espèces. Créée artificiellement au Moyen-Age par recouplement d'un méandre de l'Amblève, la cascade de Coo (figures 1 et 2) consiste en une chute de 11,8m de haut (relevé topographique effectué par la Compagnie Nationale du Rhône, CNR). Elle est située à 39,7 km de l'embouchure de l'Amblève dans l'Ourthe. A la construction de la centrale hydroélectrique (CHE) à accumulation de Coo (figure 1), le bras court-circuité de l'Amblève a été dévié, dans le but d'alimenter une turbine (CHE de Coo-Dérivation), vers un chenal latéral qui revient dans l'Amblève en rive gauche en aval de la cascade (figure 2).

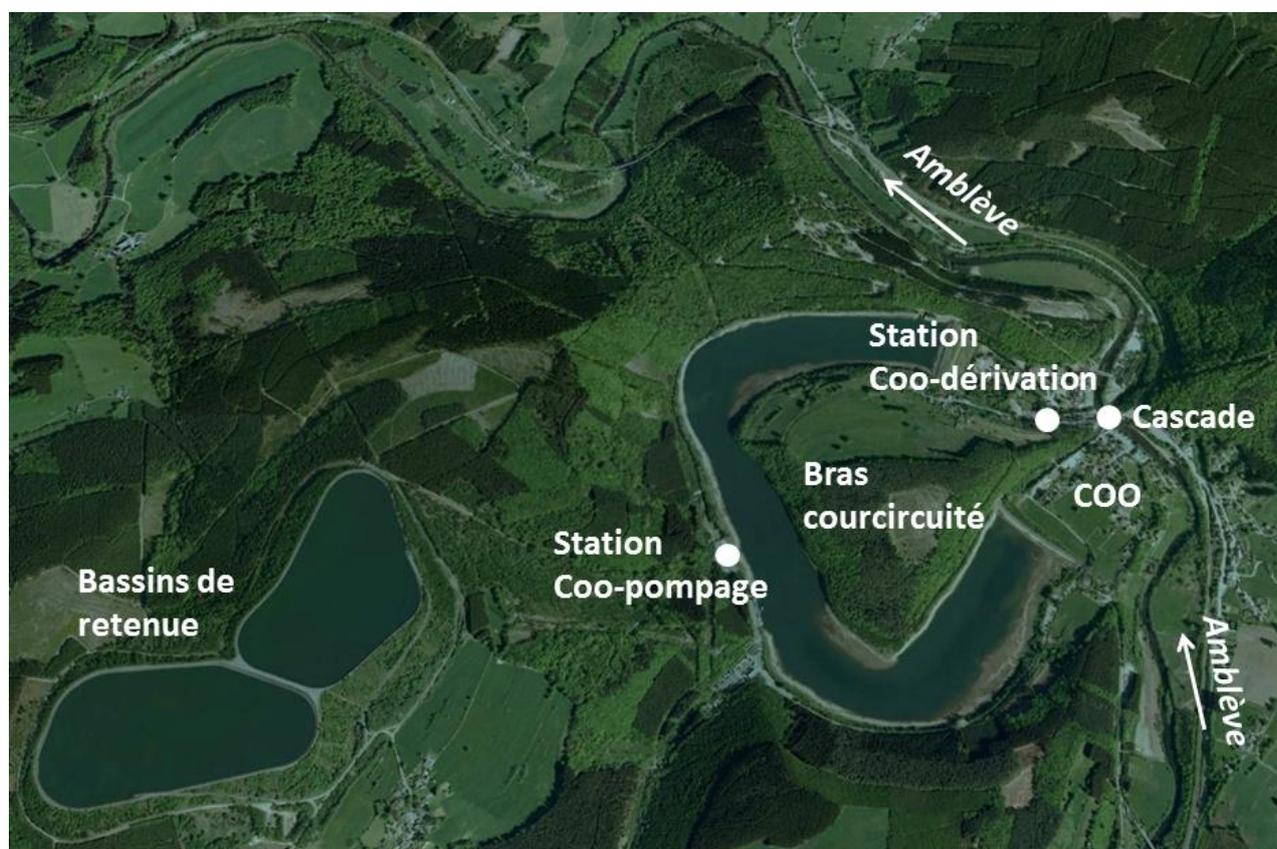


Figure 1 : Vue aérienne des centrales hydroélectriques de Coo-pompage et Coo-dérivation sur l'Amblève

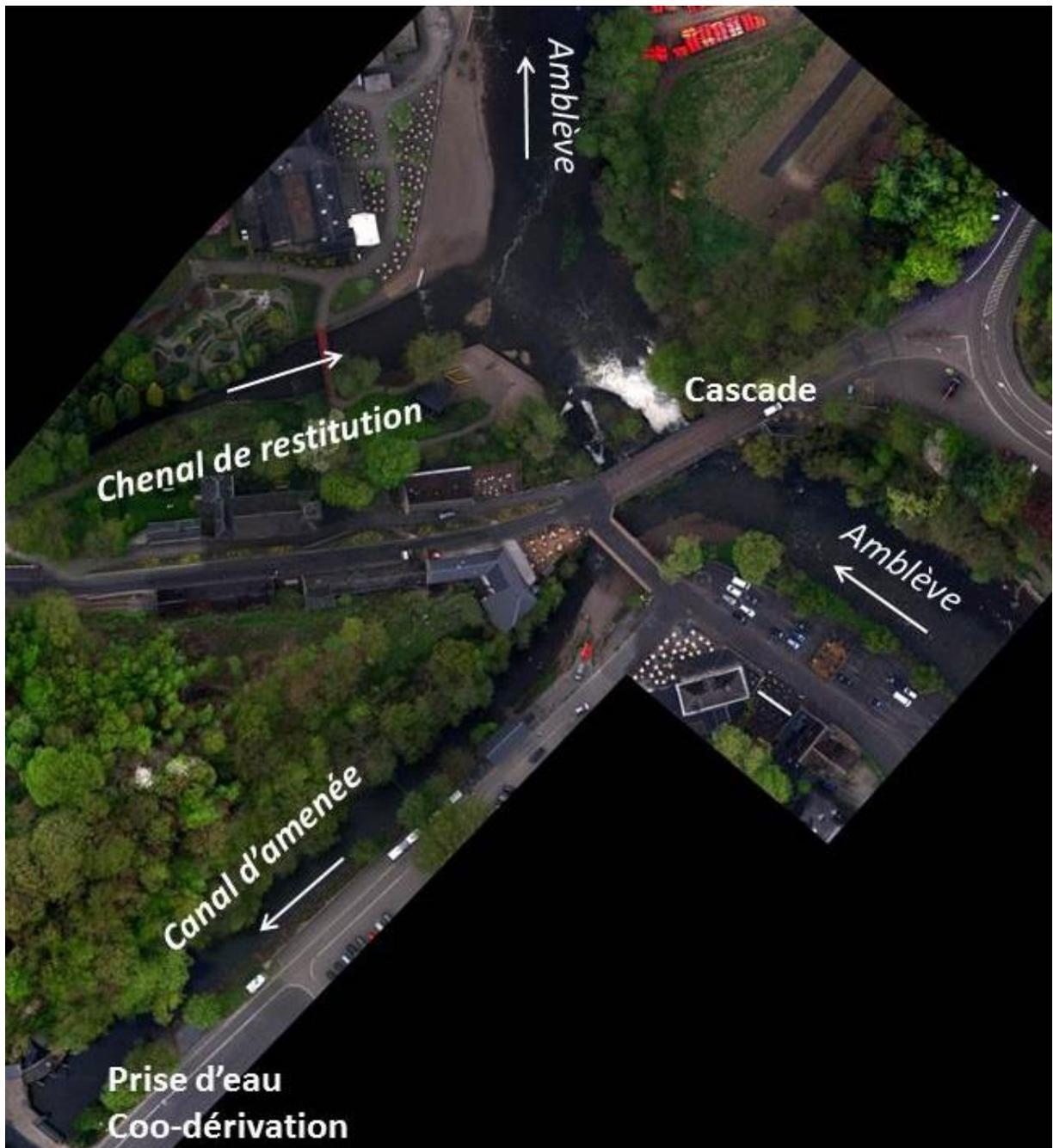


Figure 2 : Vue aérienne de la centrale hydroélectrique de Coo-dérivation où l'on observe le canal d'amenée et le chenal de restitution situés respectivement en amont et en aval de la cascade de Coo (Amblève)

Dans le but d'étudier la variation des populations de poissons et d'évaluer les cycles saisonniers d'accumulation des espèces de poissons, des inventaires qualitatifs ont été effectués juste en aval de la cascade de Coo (figure 3) à différentes périodes de l'année en fonction des périodes de reproduction d'espèces cibles (salmonidés et cyprinidés rhéophiles). Lors de chaque recensement en aval de la cascade, des inventaires complémentaires ont été réalisés dans le chenal de restitution de la CHE de Coo-dérivation également situé juste en aval de la cascade.

Cette différenciation entre aval de la cascade (partie rivière) et chenal de restitution permet de mieux cerner les différentes tentatives de montaison mises en œuvre par les poissons, dans le but d'apporter des éléments de discussions à la réalisation d'une passe migratoire sur ce site de haute valeur symbolique. Cette analyse populationnelle sera complétée dans les chapitres V et VII par une analyse des comportements individuels par radio-pistage.



Figure 3: Vue aval de la cascade de Coo (Amblève)

III.2. Méthodologie

III.2.1. Présentation du site d'étude

Le site de recensement a été divisé en 2 secteurs (figure 4), un secteur juste en aval de la cascade représentant la zone rivière et un second secteur représentant le chenal de restitution. Le tronçon de rivière (figure 4, secteur 1) est constitué du tronçon situé entre la passerelle du parc Plopsa-Coo et la cascade (figure 5) et il présente une configuration variée d'un point de vue

méso-habitat. Juste au pied de la cascade, il existe une zone profonde à très profonde (minimum de 3 à 4m de profondeur) suivie d'une zone de radiers. A la confluence avec le chenal de restitution, une coulée profonde ($D_{hmax} = 1,8m$) s'est creusée sur plusieurs dizaines de mètres et ensuite, l'aval du secteur est constitué d'une alternance de zones profondes ($D_h = 1m$) et de radiers avec une majorité pour ce dernier. Ce secteur, long de 151m est caractérisé par la présence de nombreux enrochements et d'une dominance d'un substrat majoritairement caillouteux. Le tronçon chenal de restitution (figure 4, secteur 2) démarre de la confluence avec le lit principal de l'Amblève jusqu'au rétrécissement du chenal en amont (figure 6), où il n'était plus possible d'avancer à pieds lors des recensements. Long de 84m, ce secteur est complètement canalisé avec un fond plat en béton mis à part sa partie aval qui est composé d'un substrat caillouteux.

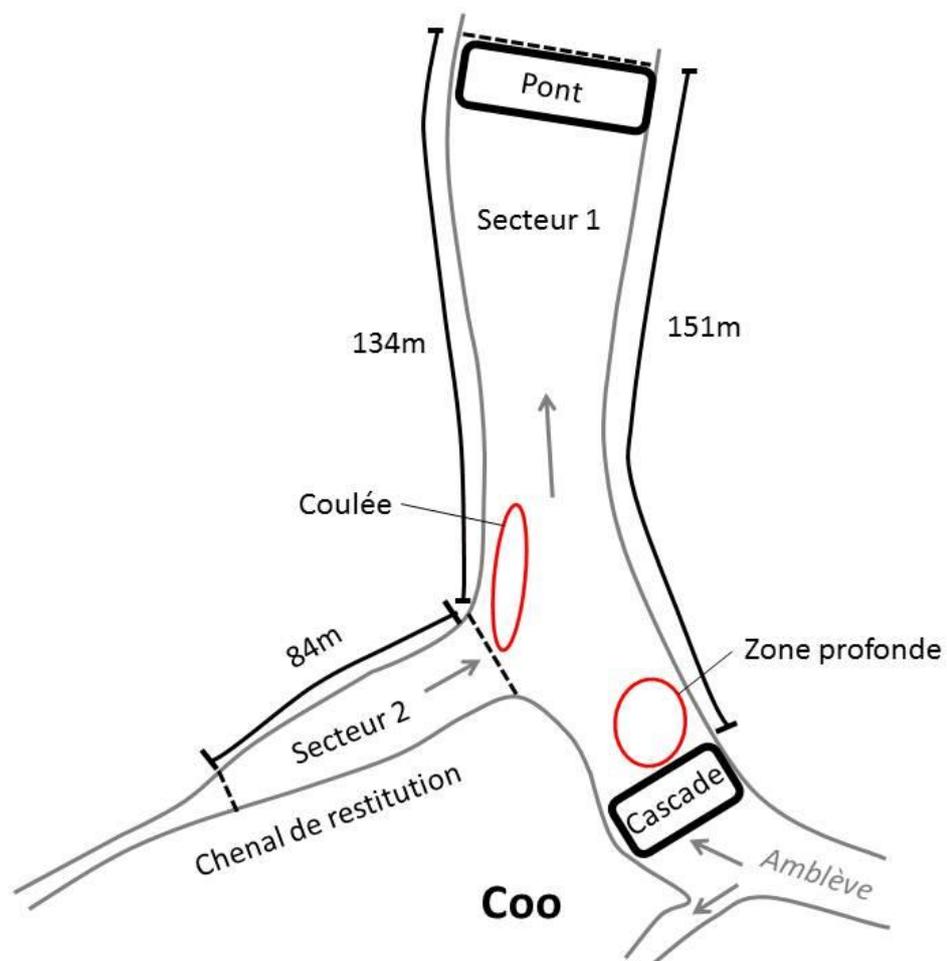


Figure 4 : Schéma du site de recensement par pêche électrique (aval cascade de Coo) où les flèches représentent le sens du courant. Les ronds rouges sont les zones profondes du secteur



Figure 5 : Secteur rivière situé en aval de la cascade avec (en haut) la partie aval du rejet du chenal de restitution et (en bas) la partie amont



Figure 6 : Vue du secteur « chenal de restitution » qui représente le rejet d'eau de la CHE de Coo-dérivation

III.2.2. Dates d'échantillonnages

Les inventaires ont été réalisés à différentes saisons de l'année selon les périodes de reproduction d'espèces cibles qui, dans des situations naturelles, réalisent des migrations vers l'amont de plusieurs centaines de mètres à plusieurs kilomètres afin de trouver des habitats propices à leur reproduction (Ovidio & Philippart, 2002 et 2008). Le premier inventaire s'est déroulé le *19 octobre 2010*, période de reproduction de la truite commune, le second s'est déroulé le *30 mars 2011*, période de reproduction du hotu et de l'ombre. Le troisième inventaire s'est déroulé le *11 mai 2011*, période de reproduction de nombreux cyprinidés en particulier celle du barbeau. Enfin un dernier inventaire a été réalisé le *10 novembre 2011* afin d'effectuer une comparaison interannuelle des populations de poissons présentes en aval de la cascade en période de reproduction de la truite commune.

III.2.3. Technique d'échantillonnage

Les inventaires piscicoles qualitatifs ont été réalisés par la technique de pêche électrique en un passage avec 2 anodes pour les 2 secteurs (figure 7). Les pêches électriques de recensement ont été exécutées selon un même protocole : 2 personnes aux anodes, 4 personnes aux épuisettes, 4 personnes aux mannes, une personne avec la télécommande du groupe de sécurité et une personne aux câbles. Les poissons capturés séparément pour chaque secteur, ont été stockés dans des viviers (figure 8) pour enfin être identifiés à l'espèce, comptés, mesurés (longueur à la fourche, lf) et pesés (figure 9) après une anesthésie à l'eugénol (avec une concentration de 2ml d'eugénol pour 10l d'eau). Les individus de certaines espèces (barbeau, ombre et anguille) ont été marqués avec un Pit-Tag (marque passive individuelle) dans le but de déterminer une éventuelle recapture lors des pêches successives (figure 10). Afin de minimiser les biais méthodologiques et ainsi faciliter les comparaisons, la méthodologie de recensement était scrupuleusement la même à chaque pêche.



Figure 7 : Inventaire piscicole par pêche électrique, dans la partie aval du chenal de restitution, le 30 mars 2011



Figure 8 : Cage de stockage (vivier) pour les poissons capturés

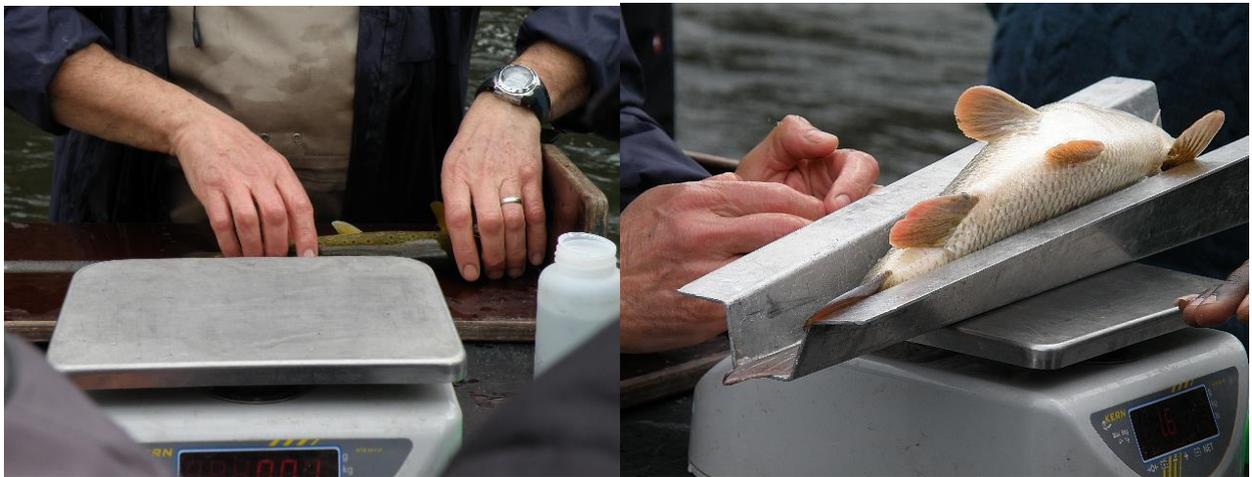


Figure 9 : Contrôle des poissons capturés (identification, mesure de la taille et du poids)



Figure 10 : Insertion d'un PIT-TAG (TROVAN®) et lecture de la marque avec le lecteur portable

III.2.4. Conditions de débit et de température

Les inventaires piscicoles ont été réalisés selon les différentes périodes de reproduction d'espèces cibles (barbeau, hotu, chevaine, ombre et truite commune), des disponibilités en moyens humains et des conditions environnementales. Dans la mesure du possible, les inventaires ont été réalisés en conditions de débits faibles (débit à Targnon). Il est toutefois impossible de disposer d'un débit semblable (et de même température) à chaque pêche, ce qui signifie que même si la méthodologie était semblable à chaque pêche, la variabilité des conditions environnementales occasionne des efficacités variables. Les données de température et de débit de l'Amblève lors des recensements sont données dans le tableau 1.

Tableau 1 : Conditions environnementales (température et débit) de l'Amblève lors des différents inventaires.

Date	Débit (m³/s)	Température (°C)
19 octobre 2010	7,437	8,4
30 mars 2011	4,836	7,4
11 mai 2011	2,731	16,9
10 novembre 2011	1,604	7,1

III.3. Résultats

III.3.1. Analyse de l'abondance en espèces, individus et biomasse

III.3.1.1. Résultats globaux

Les résultats des quatre pêches sont présentés dans le tableau 2. La communauté des poissons de l'Amblève à Coe est typique d'une zone à truites-ombres. Au total, **4427** individus ont été capturés représentant une biomasse totale de **207kg** appartenant à **18 espèces** différentes. La présence d'un nombre conséquent d'espèces reflète la bonne qualité d'eau plus particulièrement avec la présence du chabot et de la petite lamproie (espèces Natura2000). Pour quelques espèces (truite, barbeau, chevaine et vandoise), la présence d'individus adultes et juvéniles (jeunes de l'année) indique la possibilité de reproduction sur ce secteur d'étude.

Les salmonidés sont principalement représentés par la truite commune et l'ombre commun. On notera la capture de tacons de saumon atlantique lors de la pêche du 11 novembre 2011 suite au programme de déversement pour la réintroduction du saumon atlantique. Les cyprinidés sont représentés du côté des grandes espèces rhéophiles par le barbeau, le chevaine ainsi que la vandoise et du côté des petites espèces, par l'ablette spiralin, le vairon et le goujon. D'autres petites espèces sont également présentes avec le chabot et la loche. Les migrateurs amphihalins sont représentés par l'anguille, avec la capture au total de 4 individus. Des espèces plus ubiquistes sont également représentées par le gardon ainsi que des espèces plus occasionnelles comme le brochet, la grémille et la perche.

Tableau 2 : Nombre d'individus et biomasse totale (en g) par espèce pour chaque recensement piscicole

Espèces	Octobre 2010		Mars 2011		Mai 2011		Novembre 2011	
	Nombre	Biomasse (g)	Nombre	Biomasse (g)	Nombre	Biomasse (g)	Nombre	Biomasse (g)
Truite commune <i>Salmo trutta</i>	48	6216	12	1337	25	3109	64	7298
Ombre <i>Thymallus thymallus</i>	31	4179	5	536	1	97	73	5721
Barbeau <i>Barbus barbus</i>	15	25435	14	23593	35	44544	9	171
Chevaine <i>Leuciscus cephalus</i>	21	13310	2	3777	5	1720	175	9683
Vandoise <i>Leuciscus leuciscus</i>	86	3815	-	-	15	465	644	20004
Anguille <i>Anguilla anguilla</i>	-	-	1	592	2	1264	1	1267
Lamproie <i>Lampetra planeri</i>	-	-	8	26	8	31	-	-
Gardon <i>Rutilus rutilus</i>	22	817	1	90	71	1126	219	7011
Perche <i>Perca fluviatilis</i>	7	1479	-	-	5	467	14	1749
Brochet <i>Esox lucius</i>	4	761	-	-	1	994	-	-
Vairon <i>Phoxinus Phoxinus</i>	32	287	15	63	245	794	865	2132
Ablette spirilin <i>Alburnoides bipunctatus</i>	59	409	-	-	-	-	158	1563
Epinoche <i>Gasterosteus aculeatus</i>	-	-	5	2	63	103	24	17
Grémille <i>Gymnocephalus cernuus</i>	-	-	-	-	1	31	-	-
Loche franche <i>Barbatula barbatula</i>	9	48	49	268	624	3123	1	5
Chabot <i>Cottus gobio</i>	30	182	58	278	305	1382	78	433
Goujon <i>Gobio gobio</i>	69	961	1	5	15	180	125	2000
Tacon <i>Salmo salar</i>	-	-	-	-	-	-	6	83
Total	433	57899	171	30567	1421	59430	2402	59137

III.3.1.2. Comparaison avec les données antérieures

Trois recensements piscicoles ont déjà été réalisés en aval de la cascade par le LDPH-ULg lors de précédentes études (tableau 3). La première pêche s'est déroulée le 13 septembre 1979, suite à la pollution organique par les tanneries de Malmédy, à 2,3km en aval de la cascade au niveau du pont de chemin de fer à Roanne-Coo. Cette pêche a pu mettre en évidence les conséquences

dramatiques de cette pollution, avec l'absence d'un nombre significatif d'espèces comme le chabot, l'ombre, le barbeau, le hotu, le vairon, l'ablette spirilin, la perche, le brochet et l'anguille. Les deux autres pêches ont été réalisées en aval de la cascade et au niveau de la prairie à 1km en aval de la cascade, le 3 décembre 2003 et le 24 août 2005 dans le cadre d'un projet sur la restauration écologique de l'Amblève (Philippart *et al.*, 2006). Ces deux pêches ont montré la réapparition de l'ensemble des espèces absentes en 1979 suite à l'amélioration de la qualité de l'eau sauf pour le hotu et l'ablette spirilin. Cependant, cette dernière a été recapturée lors de nos pêches électriques, certainement dû à son explosion démographique de ces dernières années. On pointerait toujours l'absence de capture du hotu sur ce secteur.

Tableau 3 : Espèces présentes (O) et absentes (-) lors de l'ensemble des pêches effectuées en aval de la cascade de Coo

Espèces\Pêches	13/09/1979	3/12/2003	24/08/2005	Pêches FEP Amblève
Truite commune	O	O	O	O
Ombre	-	O	O	O
Barbeau	-	O	O	O
Hotu	-	-	-	-
Chevaine	O	O	O	O
Vandoise	O	O	-	O
Anguille	-	O	O	O
Lamproie	-	O	O	O
Gardon	O	O	-	O
Rotengle	O	-	-	-
Perche	-	O	-	O
Brochet	-	O	-	O
Vairon	-	O	O	O
Ablette spirilin	-	-	-	O
Epinoche	-	-	-	O
Grémille	-	-	-	O
Loche franche	O	O	O	O
Chabot	-	O	O	O
Goujon	O	O	O	O
Truite AEC	O	-	-	-
Tacon	-	-	-	O

III.3.1.3. Variations intra-annuelles des populations de poissons

Recensement du 19 octobre 2010.

Lors de la pêche du 19 octobre 2010 (période de reproduction de la truite commune), **13 espèces** différentes de poissons ont été recensées avec un nombre total d'individus de **433** et une biomasse de **57,9 kg**. Un total de 48 truites communes a été capturé pour une biomasse totale de 6216g, avec une taille moyenne de 220,4mm. L'ombre commun est représenté par 31 poissons avec une taille moyenne de 220,7mm et une biomasse totale de 4179g. Le barbeau (espèce dominante d'un point de vue biomasse avec 25,4kg) est représenté par 15 individus d'une taille moyenne de 495,4mm. Le chevaine (2^{ème} espèce d'un point de vue biomasse avec 13,3kg) est représenté par 21 individus avec une taille moyenne de 303mm. Deux juvéniles (79 et 89mm) ont été également capturés. La vandoise est l'espèce la plus représentée en nombre avec 89 individus possédant une taille moyenne de 145,8mm pour une biomasse totale de 3,8kg. Les petites espèces sont représentées par le vairon, l'ablette spirilin, la loche franche, le chabot et le goujon (nombre d'individus entre 9 et 69). Des espèces moins typiques de la zonation piscicole sont également présentes en petit nombre comme le gardon, le brochet et la perche (nombre d'individus inférieur à 10).

Recensement du 30 mars 2011

Lors de la pêche du 30 mars 2011 (période de reproduction de l'ombre commun et du hotu), **12** espèces différentes ont été capturées avec un total de **171 individus** pour une biomasse totale de **30,6kg**. La truite commune est représentée par 12 individus avec une taille moyenne de 195,7mm. L'ombre est représenté par 5 individus avec une taille moyenne de 201,8mm. Le barbeau, espèce dominante d'un point de vue biomasse (23,6kg) est représenté par 14 individus avec une taille moyenne de 488,6mm. Le chevaine est représenté par uniquement deux gros individus avec une taille moyenne de 497,5mm. L'anguille est représentée par un seul individu de 592mm. Les petites espèces présentes sont le vairon, l'épinoche, la loche, le chabot et le goujon (respectivement de 58 individus à 1 individu). Dans les espèces ubiquistes, on retrouve le gardon avec 1 seul individu. Enfin, la lamproie, signe de la bonne qualité du cours d'eau, est représentée par 8 individus.

Recensement du 11 mai 2011

La pêche électrique du 11 mai 2011 est réalisée durant la période de migration du barbeau, **16 espèces** différentes ont été capturées pour un total de **1421 individus** et une biomasse de **59,4kg**. La truite commune est représentée par 25 individus avec une taille moyenne de 201,8mm. Un seul ombre a été capturé (97mm). Le barbeau, espèce largement dominante d'un point de vue biomasse (44,5kg) est représenté par 35 individus avec une taille moyenne de 426,3mm. Le chevaine et la vandoise sont représentés respectivement par 8 et 15 individus principalement des juvéniles (un individu adulte pour le chevaine). L'anguille est représentée par 2 individus avec une taille moyenne de 683mm. Pour les petites espèces, on notera la présence en masse du vairon, de la loche et du chabot (respectivement 245, 624 et 305 individus) mais également du goujon (15 individus) et de l'épinoche (63 individus). Parmi les espèces moins typique de la zonation piscicole, nous retrouvons le gardon (71 individus), la perche, le brochet et la gremille (nombre d'individus inférieur à 10).

Recensement du 10 novembre 2011

La pêche électrique du 10 novembre 2011 est un réplica de l'inventaire réalisé en période de reproduction de la truite commune en 2010. Durant cette pêche, **15 espèces** différentes ont été capturées pour **2402 individus** et pour une biomasse totale **59,1 kg**. Nous avons capturé 64 truites communes possédant une taille moyenne de 192,7mm pour une biomasse de 7,3kg. L'ombre est représenté par 73 individus avec une taille moyenne de 180,3mm. Le barbeau est représenté par 9 individus avec une taille moyenne de 101,1mm. Le chevaine et la vandoise sont tous deux fortement représentés avec un nombre d'individus respectif de 121 et 644 et une biomasse de 9,7kg et de 20kg. L'anguille est représentée par un seul individu de 882mm. Les petites espèces sont représentées en masses par le vairon, le goujon et l'ablette spiralin (nombre d'individus supérieur à 100) ainsi que par le chabot, la loche et l'épinoche (78, 1 et 24 individus). Parmi les espèces ubiquistes, des gardons (219 individus) et des perches (14 individus) ont été capturés. Six individus de tacons de saumon atlantique ont été également capturés.

III.3.2. Analyse de la variation saisonnière à l'échelle de l'espèce en aval de la cascade de Coo

III.3.2.1. Espèces cibles

En période de reproduction de la **truite commune**, en automne lorsque la température de l'eau passe sous la barre des 8°C (dans le cas présent en octobre 2010 et novembre 2011) et que la photopériode diminue (Ovidio, 1999), nous observons un pic de capture de truite commune. En effet, en octobre 2010 avec 48 individus et en novembre 2011 avec 64 individus, on observe une augmentation d'au moins de 50% du nombre d'individus et de la biomasse par rapport aux pêches de printemps (12 et 25 individus). Signe de la montaison d'individus sexuellement mature, nous avons capturé de gros individus spermiant ou portant des œufs durant les 2 pêches automnales.

La période de migration de l'**ombre commun** débute lorsque la température de l'eau passe au-dessus de la barre des 8°C (Ovidio *et al.*, 2004) au début du printemps (mars-avril), représentée dans notre cas par la pêche du 30 mars 2011. Les résultats obtenus nous montrent une tendance inverse avec une augmentation du nombre d'individus capturés lors des pêches automnales, c'est-à-dire 5 individus dont un adulte au mois de mars pour 31 et 73 individus pour les pêches d'octobre 2010 et novembre 2011. Ce constat prouve que la période de reproduction n'est pas l'unique période de déplacement de l'ombre. Cependant ce pic peut signifier que les caractéristiques hydromorphologiques et physico-chimiques de l'Amblève juste en aval de la cascade de Coo représentent un habitat propice au refuge durant l'hiver (comme observé pour le hotu et le barbeau sur d'autres tronçons de l'Amblève) (Philippart *et al.*, 2006). En effet des déplacements d'ombre n'ont pas été observés lors du contrôle de l'échelle à poisson au barrage de Lorcé (cf. chapitre IV) où aucune capture n'a été recensée entre septembre et novembre depuis le début du contrôle de l'échelle à poissons en octobre 2007.

La période de migration du **barbeau** et du **chevaine** débute lorsque la température de l'eau atteint la barre des 14°C (au milieu du printemps), dans notre cas, elle est représentée par la pêche du 11 mai 2011. Avec un pic de de 35 individus capturés au mois de mai contre 14 et 15 individus respectivement en octobre 2010 et mars 2011, on observe une augmentation du nombre de barbeaux capturés lors de sa période de migration de reproduction. D'un point de

vue biomasse, la biomasse totale du mois de mai 2011 est au moins 40% plus importante par rapport aux autres pêches. La majorité des individus capturés sont des individus adultes (plus de 15 cm) avec la présence d'individus sexuellement matures en mai 2011 preuve de leur recherche d'une zone de frai vers l'amont. Par contre, en novembre 2011, des juvéniles ont été capturés (0+ et 1+). Cette observation pourrait indiquer la présence de zone de reproduction en aval de la cascade tout en prenant en compte l'éventualité de la capture de juvéniles provenant de l'amont de la cascade (en dévalaison). Le **chevaine** quant à lui, possède un pic de capture lors des deux pêches automnales mais avec un rapport juvéniles/adultes fort différent. En effet, en octobre 2010 nous avons capturé 70% (15 adultes sur 21 individus) d'individus adultes contre 5% (9 adultes sur 175 individus) en novembre 2011. Lors des deux autres pêches, nous avons capturé 2 et 5 individus. Même si la tendance de capture du chevaine ne correspond pas à sa période de migration, la différence importante entre les pêches indique une variation intra-annuelle importante du chevaine au pied de la cascade. De la même manière que l'ombre, la **vandoise**, une autre espèce de cyprinidés rhéophiles, est en majorité capturée lors des deux pêches d'automne (86 et 644 individus) mais peu capturée au printemps (0 et 15 individus) malgré sa période de reproduction printanière.

III.3.2.2. Les petites espèces

Les populations de petites espèces de poissons ne sont pas non plus figées. Nous avons observé au cours des différentes pêches, une évolution du nombre d'individus capturés. Par exemple, le **chabot** et la **loche franche** sont plus représentés au printemps (mars et mai) avec un maximum de capture en mai 2011. En revanche pour le **goujon** et l'**ablette spirilin**, nous observons la situation inverse avec un pic de capture lors des pêches automnales. Ce phénomène est similaire à l'ombre, avec une reproduction printanière voir estivale pour l'ablette spirilin (mai à juillet), mais un pic automnale. Enfin le **vairon**, est un cas particulier, possédant également une reproduction printanière, il possède un premier pic de capture au mois de mai 2011 avec près de 245 individus capturés pour 32 et 15 individus au mois d'octobre 2010 et mars 2011. Le vairon possède un deuxième pic de capture beaucoup plus marqué avec 865 individus capturés en novembre 2011. Notons que pour les petites espèces et les espèces grégaires, la variabilité des conditions hydrologiques lors des pêches joue, encore plus que chez les autres espèces, un rôle important sur l'efficacité des captures.

III.3.2.3. Autres espèces

D'autres espèces que celles citées ci-dessus, possèdent également une variation intra-annuelle importante. L'évolution de capture du **gardon**, un cyprinidé ubiquiste, est légèrement atypique. En effet, 22 individus ont été capturés lors de la première pêche d'automne contre 219 lors de la deuxième alors qu'au printemps 1 seul individu a été capturé en mars pour 71 individus au mois de mai. Des espèces appartenant à d'autres familles sont très faiblement capturées et il est donc difficile d'identifier une évolution temporelle des captures. Par exemple, une seule **anguille** (anguillidés) a été capturée en mars et novembre 2011, 2 au mois de mai 2011 et aucune en octobre 2010. Les **lamproies** (petromyzontidés) capturées, l'ont été uniquement lors des deux pêches de printemps, 8 individus à chaque pêche. La **grémille** et la **perche**, toutes les deux des percidés, ne possèdent pas la même évolution temporelle, avec juste une grémille capturée (en mai) lors des 4 pêches. Quant à la perche, 7 et 14 individus ont été capturés durant les pêches d'automne contre 5 individus en mai. Peu d'individus de **brochet** (ésocidé) ont été capturés, 4 individus en octobre 2010 et un individu en mai 2011. La dernière espèce est l'**épinouche** avec aucun individu en octobre 2010, 10 en novembre 2011 contre 5 et 63 en mars et en mai 2011.

III.3.3. Comparaison des captures entre le tronçon rivière et le chenal de restitution

Le tableau 4 reprend le nombre d'individus capturés dans le tronçon rivière et le nombre d'individus capturés dans le chenal de restitution pour chaque pêche effectuée. Dans l'ensemble, le nombre d'individus capturés dans le tronçon rivière est plus important que le nombre d'individus capturés dans le chenal de restitution. Ce constat est logique étant donné la différence importante de surface entre les 2 secteurs. Cependant, le but de cette analyse est de mettre en évidence la recherche d'une voie de passage vers l'amont d'individus par le chenal de restitution qui est caractérisé par une forte vitesse de courant et l'absence de substrat naturel. Pour les espèces cibles qui sont la truite commune, l'ombre, le barbeau, le chevaine et la vandoise, des analyses plus poussées ont été réalisées. Pour ce faire, nous avons réalisé des histogrammes comparant les gammes de tailles des individus capturés dans le tronçon rivière et dans le chenal de restitution.

Tableau 4 : Nombre d'individus capturés par espèce dans le tronçon rivière et dans le chenal de restitution lors de chaque pêche. Les espèces cibles sont grisées.

Espèces	Octobre 2010		Mars 2011		Mai 2011		Novembre 2011	
	Nb rivière	Nb chenal	Nb rivière	Nb chenal	Nb rivière	Nb chenal	Nb rivière	Nb chenal
Truite commune	33	15	11	1	15	10	49	15
Ombre	31	0	5	3	0	1	63	10
Barbeau	13	2	11	1	16	19	9	0
Chevaine	20	1	1	-	3	2	175	11
Vandoise	40	46	-	-	15	0	483	161
Anguille	-	-	1	0	2	0	1	0
Lamproie	-	-	8	0	6	2	-	-
Gardon	8	14	1	0	51	20	115	104
Perche	6	1	-	-	3	2	5	9
Brochet	4	0	-	-	0	1	-	-
Vairon	32	0	15	0	194	51	861	4
Ablette spirilin	49	10	-	-	-	-	142	16
Epinoche	-	-	5	0	63	0	24	0
Grémille	-	-	-	-	0	1	-	-
Loche franche	8	1	42	0	410	214	0	1
Chabot	29	1	55	3	269	36	75	3
Goujon	61	8	1	0	8	7	79	46
Tacon	-	-	-	-	-	-	4	2
Total	349	99	156	8	1055	366	2085	382

III.3.3.1. La truite commune

Le nombre de truites capturées dans le chenal de restitution est toujours inférieur au nombre de truites capturées dans le tronçon rivière (tableau 4). En revanche, lorsque l'on observe les classes de tailles capturées (figure 11), on peut voir que pour les deux pêches de la période de reproduction de la truite commune (19 octobre 2010 et 10 novembre 2012), les classes de tailles correspondantes à des individus adultes sont plus abondantes dans le chenal de fuite. En effet, peu d'individus juvéniles ont été capturés dans le chenal de restitution ($l_f < 150\text{mm}$). De plus, lors des deux pêches automnales, la taille moyenne des individus capturés dans le chenal est plus grande que celle dans le tronçon rivière avec une différence plus marquée lors de la pêche du 10 novembre 2011.

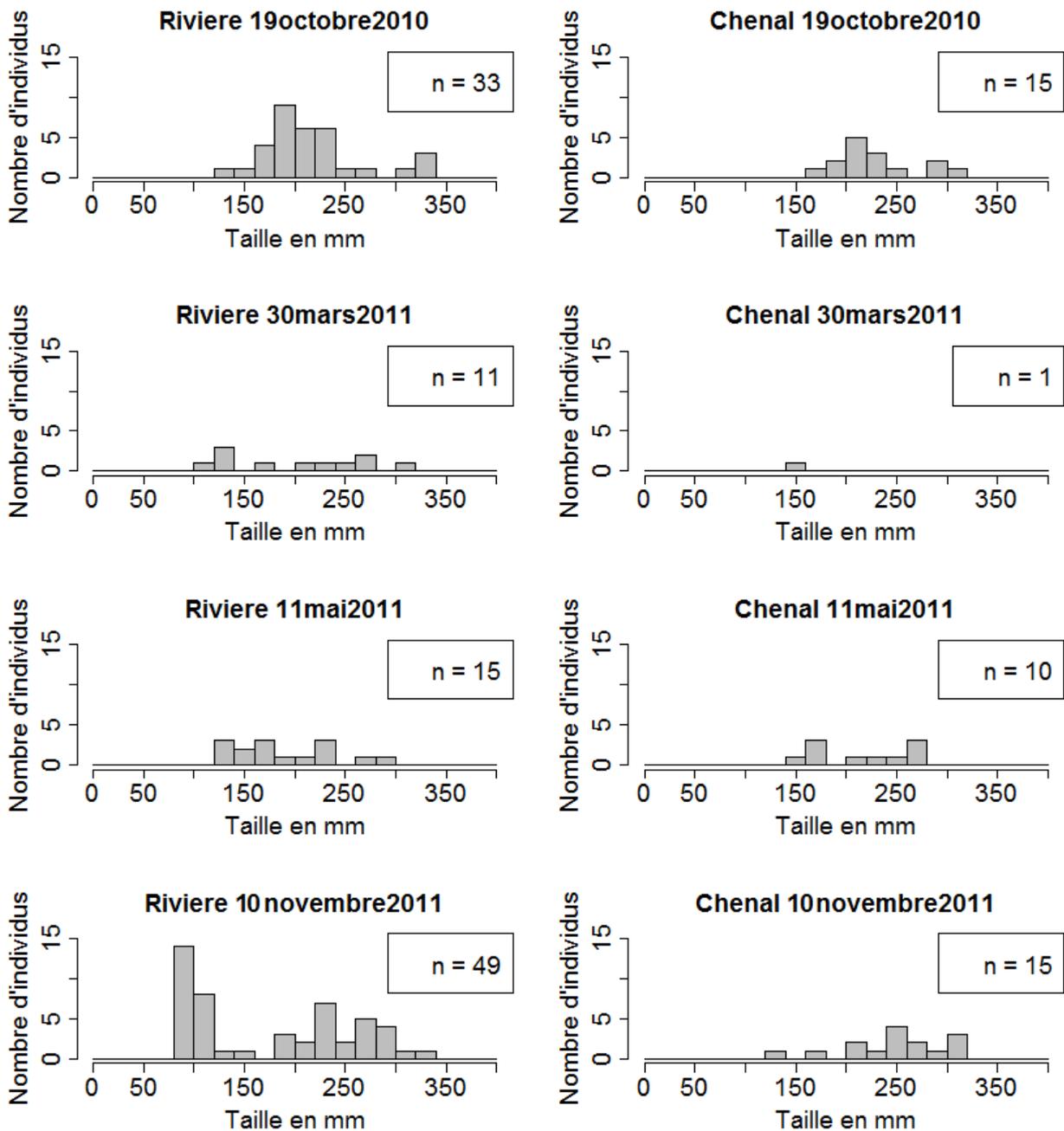


Figure 11 : Histogrammes des classes de tailles des truites communes capturées dans le tronçon rivière et dans le chenal de restitution pour chaque pêche électrique.

III.3.3.2. L'ombre

La comparaison des classes de tailles ne nous permet pas de confirmer le phénomène observé chez la truite (figure 12). La majorité des individus a été capturée dans le tronçon rivière et les seuls individus capturés dans le chenal de restitution ne sont pas uniquement des individus de grande taille. La distribution des captures n'est pas associée à la période de migration de

reproduction de l'ombre qui est printanière car le maximum de capture est observé en automne (pour les deux pêches automnales) confirmant l'utilisation de zone aval de la cascade comme une zone de refuge hivernale. De plus, via ces histogrammes, nous observons la capture d'ombre de classes de tailles bien marquées représentant les différents groupes d'âges (proche de 150mm = 1an ; proche de 250mm = 2ans ; proche de 350mm = 3 à 4 ans).

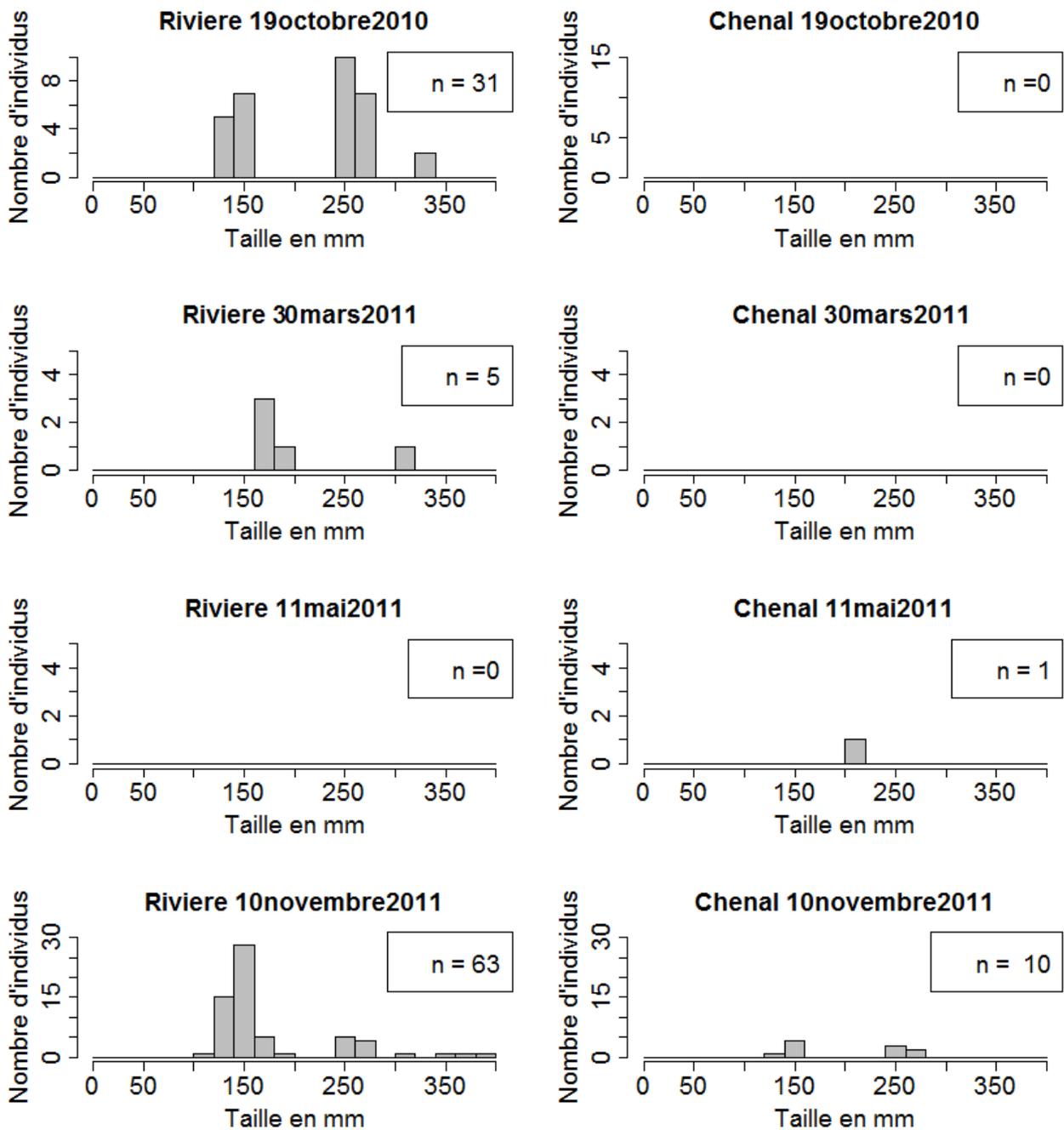


Figure 12 : Histogrammes des classes de tailles des ombres capturés dans le tronçon rivière et dans le chenal de fuite pour chaque pêche électrique.

III.3.3.3. Le barbeau

L'analyse des histogrammes des classes de tailles pour le barbeau (figure 13) se rapproche de celle de la truite commune. C'est-à-dire que lors de sa période de migration de reproduction (au printemps), les classes de tailles observées dans le chenal de fuite sont plus grandes (550-650mm) que dans le tronçon rivière (350-450mm) pour les deux pêches de printemps. Ce constat est plus marqué pour celle du 11 mai 2011. Nous avons également capturé un nombre plus important de barbeaux matures (spermiants ou portant des œufs) dans le chenal de fuite.

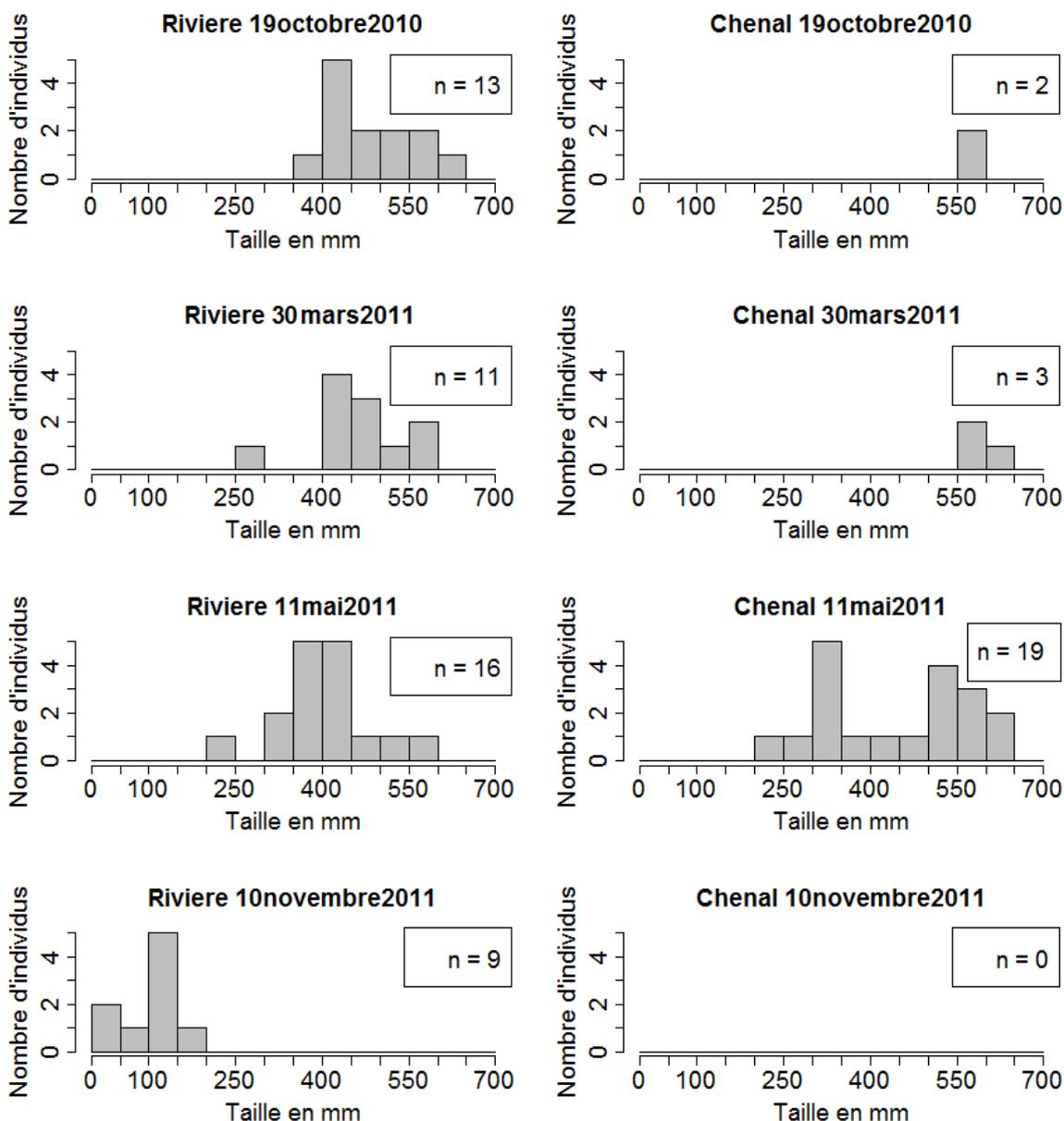


Figure 13 : Histogrammes des classes de tailles des barbeaux capturés dans le tronçon rivière et dans le chenal de fuite pour chaque pêche électrique

III.3.3.4. Le chevaine

Comme déjà cité précédemment, la majorité des individus de chevaine capturés l'est en dehors de sa période de reproduction ($n=2$ et $n=8$, lors des deux pêches de printemps) et de la même manière que l'ombre, les individus de plus grande taille (potentiellement « matures ») ne sont pas capturés spécialement dans le chenal de restitution (figure 14). On constate que lors de la pêche du 19 octobre 2010, malgré le faible nombre d'individus, beaucoup de classes de tailles sont représentées (de 50 à 500mm). En revanche, pour le second recensement automnal, les différentes classes d'âges sont bien marquées dans le tronçon rivière avec une majorité pour le stade juvénile, proche de 100mm (0+ et 1+).

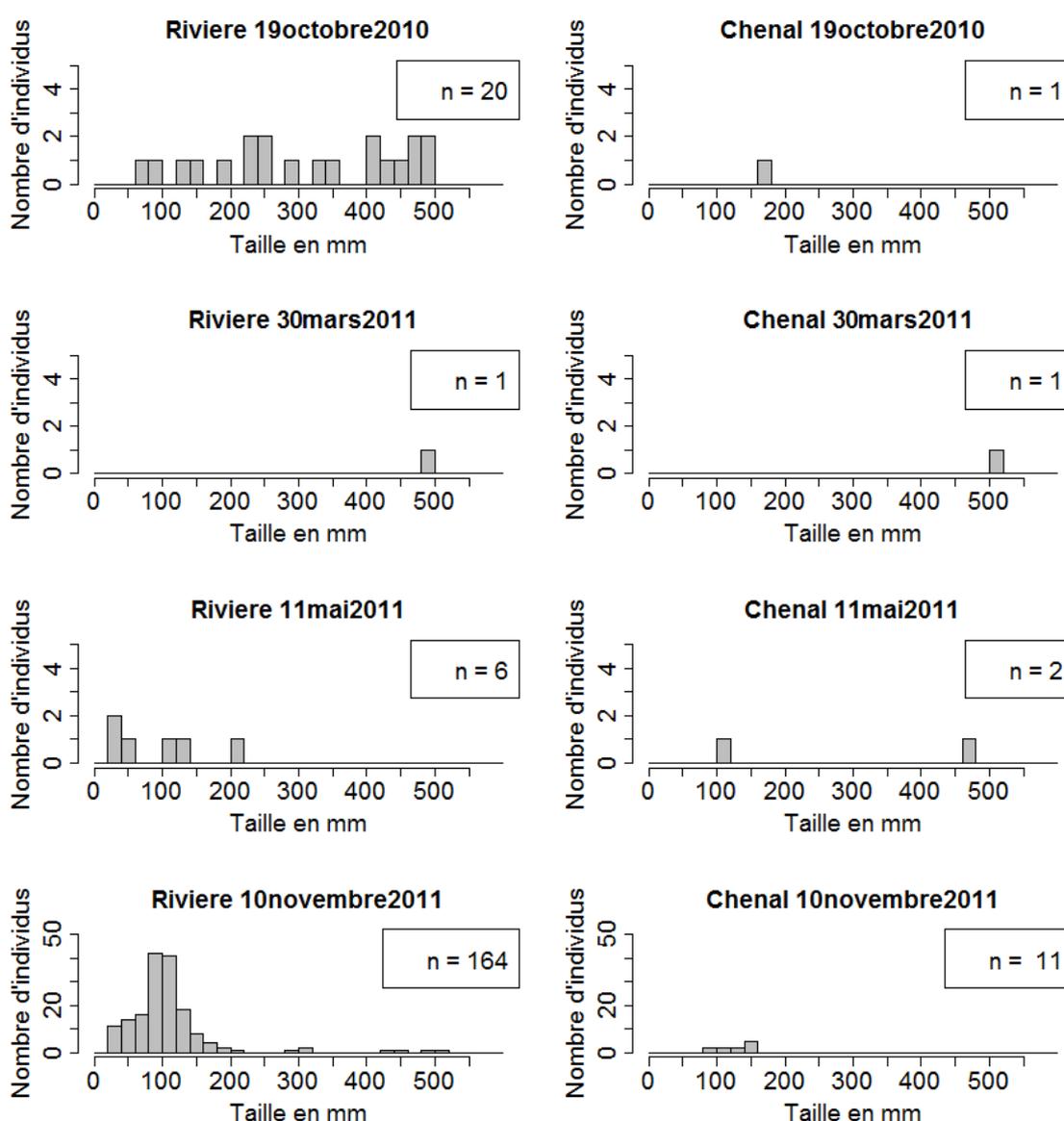


Figure 14 : Histogrammes des classes de tailles des chevaines capturés dans le tronçon rivière et dans le chenal de fuite pour chaque pêche électrique

III.3.3.5. La vandoise

Avec un maximum de capture lors des recensements automnaux, l'analyse des classes de tailles (figure 15) montre que la majorité des individus capturés sont des juvéniles de l'année (0+) ou d'un an (1+) (compris entre 90 et 150mm). Néanmoins, des individus de la classe d'âge de 2 ans (entre 170 et 200mm) ont été aussi capturés. Cette classe d'âge représente des individus potentiellement matures mais peu d'individus de 2 ans ont été capturés dans le chenal de restitution.

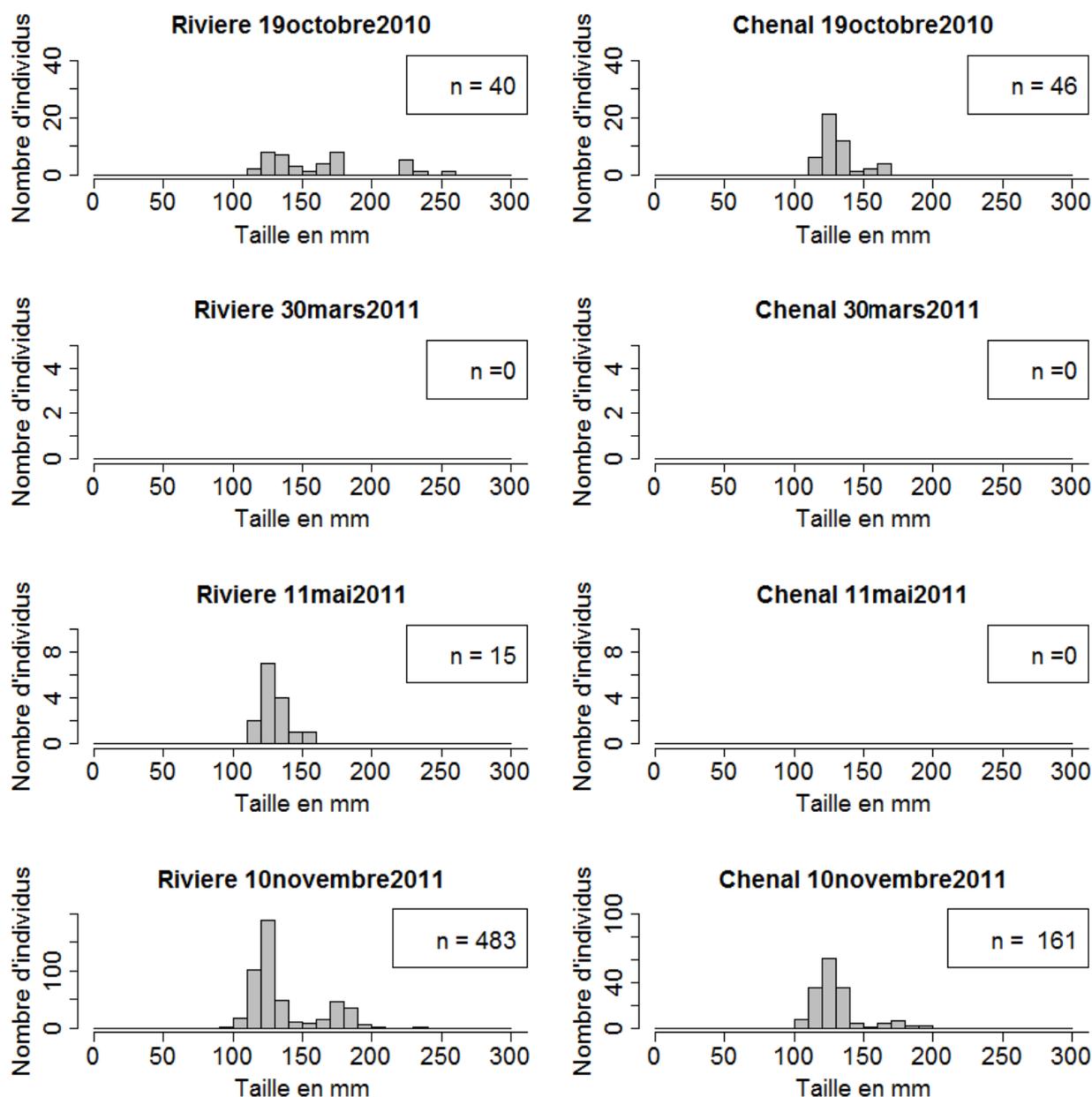


Figure 15 : Histogrammes des classes de tailles des vandoises capturées dans le tronçon rivière et dans le chenal de fuite pour chaque pêche électrique

III.3.4. Capture-recapture d'individus marqués par transpondeur

Le 30 mars 2011, 10 barbeaux capturés dans le tronçon rivière ont été marqués, 2 avec des radio-émetteurs (cf. chapitre V) et 8 avec des Pit-tags ainsi qu'un ombre. Dans le chenal de restitution, 3 barbeaux ont été marqués. Le 11 mai 2011, 14 barbeaux capturés dans le tronçon rivière ont été marqués et un barbeau a été repris (barbeau muni d'un émetteur radio, marqué le 10 mars 2011). Dans le chenal de restitution, 19 barbeaux ont été capturés et marqués. Parmi ceux-ci, 4 étaient déjà marqués le 10 mars 2011, 3 individus ont été capturés dans le chenal de fuite et 1 individu a été capturé dans le tronçon rivière lors de la pêche du 10 mars. La truite commune n'a pas été marquée durant ces pêches étant donné le faible taux de recapture possible entre deux pêches. Sur 43 individus marqués seuls 5 individus ont été repris, ce faible taux de recapture peut s'expliquer en partie par le manque d'efficacité de capture au niveau de la coulée et de la zone aval de la cascade. En effet, lors de la pêche du 11 mai 2011, des individus radio-pistés étaient présents dans la coulée mais n'ont pas pu être capturés. Le marquage-recapture de deux espèces cibles (ombre et barbeau) montre tout de même que les individus ne « stagnent » pas au niveau de la cascade et décideraient après un certain temps de dévaler afin de trouver des habitats propices à leur reproduction (cf. chapitre V).

III.4. Discussion

Dans le contexte du rétablissement de la libre circulation des poissons dans l'Amblève, les pêches saisonnières réalisées dans l'Amblève au pied de la cascade de Coö, entre octobre 2010 et novembre 2011, nous permettent de mieux comprendre la dynamique des populations de poissons au pied d'un obstacle infranchissable et d'identifier l'impact potentiel de la cascade sur les poissons en phase de remontée. Nos résultats confirment que les populations de poissons juste en aval de la cascade ne sont pas figées, il existe des mouvements populationnels qui entraînent des variations interannuelle et intra-annuelle importantes des effectifs, et ce pour quasi toutes les espèces recensées.

Le nombre d'espèces de poissons capturées par période varie de 12 à 16 espèces différentes, d'une pêche à l'autre ($n=18$ au total). Cette importante diversité prouve que la qualité de l'eau de l'Amblève sur ce tronçon peut être qualifiée de bonne comme mentionné par Philippart *et al.* (2006), surtout avec la capture de chabot et de lamproie (espèces Natura 2000) mais aussi d'espèces exigeantes du point de vue de la qualité de l'eau comme la truite commune, l'ombre ou encore le barbeau. Quant au nombre d'individus par recensement, il peut fortement varier avec des différences importantes allant de 160 à plus de 2000 individus par recensement. Cette différence ne s'observe pas uniquement pour les espèces dont on connaît les patrons de migrations (ex. truite, barbeau, ombre), elle est très marquée également chez de petites espèces telles que la loche, le vairon, le goujon ou encore le chabot et dont l'écologie comportementale est beaucoup moins connue. Cependant, il n'est pas exclu de devoir imputer en partie cette importante variation du taux de capture (principalement pour les petites espèces) aux conditions hydrauliques entre les recensements, étant donné que les valeurs de débits fluctuent d'une pêche à l'autre même si elles sont toutes inférieures au module ($Q_{pêches} < Q_{moyen}$). En effet, les deux recensements présentant un haut taux de captures de petites espèces ont été réalisés à débit anormalement faibles pour l'Amblève (1 à $2\text{m}^3/\text{s}$), facilitant leur capture.

Certaines espèces telles que la truite commune ou le barbeau, révèlent une accumulation en aval de la cascade, plus importante lors de leur période de reproduction respective. Cela indique qu'il existe un blocage potentiel au pied de la cascade d'individus matures ou en cours de maturité

lors de leur recherche vers l'amont d'un habitat propice à leur reproduction. Le radio-pistage de truites et de barbeaux confirme cette observation (cf. chapitre V). La majorité des individus radio-pistés entament une approche de la cascade lors de leur période de migration de reproduction puis recherchent une voie de passage durant quelques jours et finissent par effectuer un déplacement vers l'aval afin de rechercher un site de reproduction alternatif.

D'autres espèces telles que l'ombre, le chevaine, la vandoise ou encore le goujon, présentent une évolution saisonnière différente à la truite commune et au barbeau. En effet, pour ces espèces, c'est en dehors de la période de reproduction que les effectifs sont les plus importants en aval de la cascade. Ces individus recherchent probablement des habitats de refuge ou d'alimentation vers l'amont ou utilisent justement cette zone en aval de la cascade comme zone de refuge/alimentation. Il est très intéressant d'observer ce phénomène de déplacement en dehors de la période de reproduction car cela démontre que les poissons sont mobiles toute l'année et qu'il existe une grande diversité des mouvements au sein des populations de poissons d'un même cours d'eau. La future passe migratoire qui sera installée à la cascade de Coo, devra donc être fonctionnelle toute l'année pour permettre des mouvements de reproduction, mais aussi en lien avec l'alimentation ou le refuge.

La comparaison intraspécifique du nombre d'individus capturés soit dans la partie « rivière » soit dans le « chenal de restitution » a pour but de mettre en évidence la recherche de certaines voies de passage. En particulier, l'objectif était de vérifier si certains individus utilisent le chenal de restitution comme voie de passage. Etant donné sa configuration d'un point de vue disponibilité d'habitats assez pauvres (surface lisse et courant rapide), le chenal de restitution n'offre pas les mêmes habitats fonctionnels que le tronçon rivière ce qui conduit à dire que les poissons capturés dans ce tronçon sont probablement en recherche d'une voie d'accès. Même si le nombre d'individus présents dans le chenal de restitution ne prouve pas que le blocage des poissons se produit uniquement au niveau de ce chenal, l'analyse des classes de tailles montre que généralement les individus présents dans ce chenal sont plus grands (peu de juvéniles), matures sexuellement et donc caractérisables comme des géniteurs proches de la reproduction. Il est néanmoins nécessaire de nuancer que des individus de grandes tailles (matures ou potentiellement matures) ont été capturés dans la partie rivière plus particulièrement au niveau de la coulée créée par le rejet du chenal de restitution. Dans le contexte de l'orientation de la

future passe à poissons, ces premiers résultats suggèrent (a) que des individus matures et non matures ont emprunté le chenal de restitution comme voie de recherche d'un passage vers un habitat de reproduction ou un autre habitat fonctionnel (b) que les individus matures capturés dans la partie rivière l'ont été principalement au niveau de la coulée située dans le prolongement du canal de fuite. Ce chapitre donne comme première indication que la future passe à poissons devra probablement être située en rive gauche dans la continuité de cet attrait du chenal et qu'il est fondé qu'elle soit la plus multi-espèces possible (même si des espèces prioritaires peuvent être avancées) et utilisable toute l'année pour une large variété de gamme de taille. Le chapitre V nous apportera une vue plus spécifique (radio-pistage d'espèces cibles) à cette approche populationnelle en affinant les résultats et en démontrant que le chenal n'est pas l'unique voie de recherche de passage.

IV. PIEGEAGE DE POISSONS EN MIGRATION DE REMONTEE DANS LE PIEGE DE CAPTURE DE L'ECHELLE A POISSONS DE LORCE

IV.1. Introduction

Depuis sa construction en 1932, le barrage de Lorcé sur l'Amblève (figure 1) était équipé d'une échelle à poissons très peu fonctionnelle (figure 2) qui rendait cet obstacle pratiquement infranchissable en dehors des rares périodes où les vannes étaient levées (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, propriétaire des lieux, et la Direction des Cours d'Eau Non Navigables du Service Public de Wallonie ont entrepris conjointement, avec l'aide financière de l'IFOP (Instrument Financier d'Orientation de la Pêche-Aquaculture, Commission européenne) la construction d'une nouvelle échelle à poissons au barrage de Lorcé. Il s'agit d'une échelle à bassins, moderne, équipée d'un piège de capture protégé par un abri et dont les bassins ont été recouverts d'un substrat de fond pour simuler au mieux le lit naturel de la rivière (figure 3).

Le barrage de Lorcé (figure 1), situé à 22,9 km de l'embouchure dans l'Ourthe, crée une petite retenue de 50.000m³, sans capacité d'accumulation, qui alimente une conduite forcée aboutissant à la centrale hydroélectrique de Heid de Goreux à 14,9 km de l'Ourthe. Le barrage de Lorcé est un ouvrage constitué de deux vannes mobiles couvrant une largeur de 24m et créant une chute de Dh=3,3m. À côté des deux vannes de régulation se trouve une vanne de vidange qui sert à vider complètement la retenue, à accroître l'écoulement des débits de crues et, jusqu'à 1993, à laisser passer un débit réservé de 3m³/s en surverse. Mais depuis 1993, ce débit réservé fait fonctionner une micro-turbine de type Francis (chute de 3,5m, débit de 3m³/s, puissance maximale de 85 KW ; production annuelle moyenne de 450.000 KWh). L'alimentation de cette petite turbine se fait à travers la grande grille de prise d'eau constituée de barreaux verticaux espacés de 4cm.

Le court-circuitage de l'Amblève par la conduite forcée entraîne sur un tronçon de rivière de 8km une réduction du débit naturel jusqu'à un minimum de $3\text{ m}^3/\text{s}$ correspondant au débit réservé légal (figure 1).

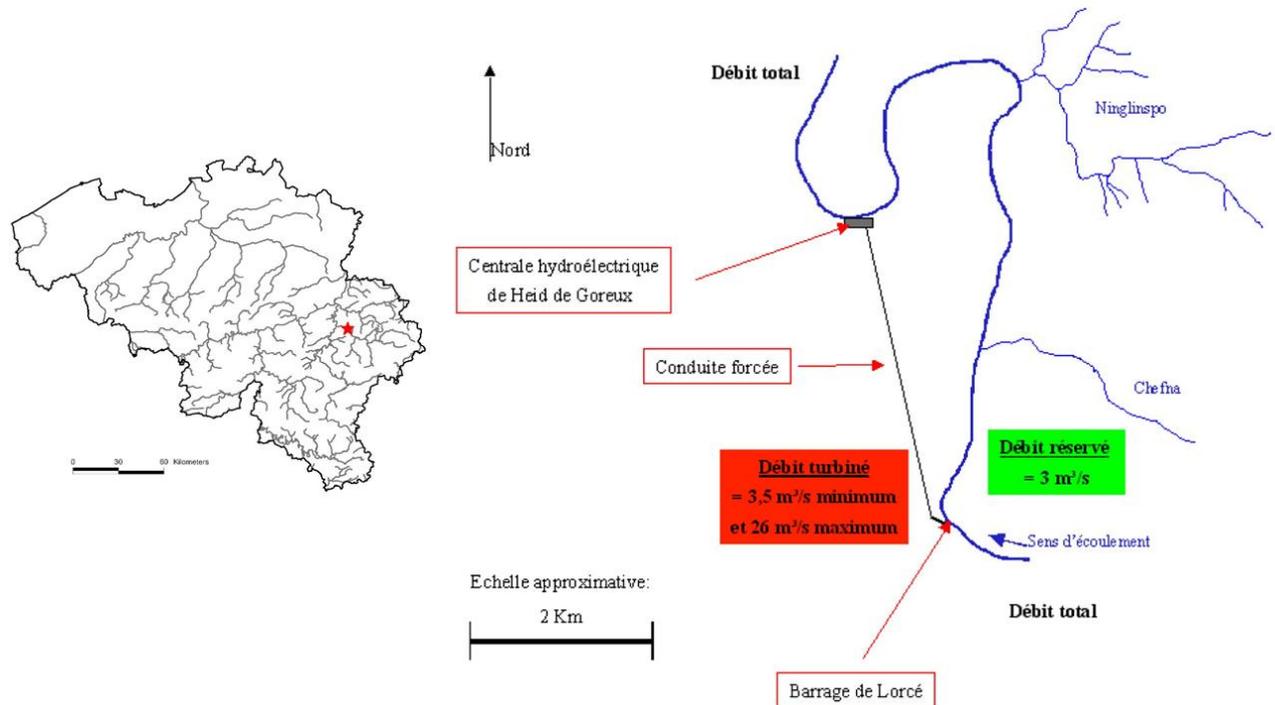


Figure 1 : Cours de l'Amblève dans la zone d'influence du complexe hydroélectrique du barrage retenue de Lorcé/ centrale de Heid de Goreux

La restitution à l'Amblève de l'eau turbinée à raison d'un maximum de $26\text{ m}^3/\text{s}$ rétablit un débit normal dans la rivière, mais génère localement un fort contraste hydraulique (débit, profondeur, vitesse). Les études réalisées en 2005-2007 par radio pistage (Ovidio et al., 2007) ont démontré que, malgré cet obstacle hydraulique, des espèces comme le barbeau, le hotu ou la truite ont tout de même la capacité de pénétrer dans le bief de l'Amblève court-circuité, en direction du barrage de Lorcé et de sa nouvelle échelle à poissons. Ainsi, même si le court-circuitage de l'Amblève perturbe la mobilité des poissons, les suivis comportementaux ont démontré qu'il existe tout de même un certain potentiel de migration vers l'amont (Ovidio et al., 2007). Pour améliorer la remontée des poissons dans la partie de l'Amblève à débit réservé (à Heid de Goreux), la DCENN a construit en 2007, un seuil en enrochements percé d'une échancrure centrale qui concentre le courant et devrait favoriser l'attraction des poissons rhéophiles (figure 4).



Figure 2 : Vue aval du barrage de Lorcé où l'on voit l'entrée de l'ancienne échelle à poissons (1932 à 2007) en rive gauche (à gauche) et une photo de l'ancienne échelle à poissons du barrage de Lorcé (à droite)



Figure 3 : Vue aval du barrage de Lorcé lors de la construction de la nouvelle échelle à poissons en rive gauche (à gauche) et une photo de la nouvelle échelle à poissons du barrage de Lorcé avec la présence d'un substrat rocailleux (à droite)

Les travaux réalisés dans le cadre de cette convention 2010-2013 se situent dans le prolongement des suivis comportementaux effectués par le LDPH-ULg lors de précédentes collaborations avec la Direction des cours d'Eau Non Navigables (Ovidio et al., 2007 a, b, c, d ; Ovidio et al., 2009 et 2011) au niveau du rejet de la centrale hydroélectrique de Heid de Goreux. Ces études ont démontré qu'il subsiste encore dans l'Amblève des espèces de poissons (comme le barbeau et le hotu) qui ont conservé un comportement migratoire, mais un peu atypique dans son déroulement car ils sont perturbés par la présence du long tronçon de rivière court-circuité.

Dans le cadre de cette action, le principal objectif est d'améliorer nos connaissances sur l'écologie et les comportements migratoires des poissons dans l'Amblève et sur l'efficacité de l'échelle à poissons en complément des contrôles scientifiques déjà effectués entre novembre 2007 et décembre 2010 lors de conventions SPW-DGO3/ULG-LDPH (Ovidio et al., 2009 et Ovidio et al., 2011). Les objectifs secondaires de cette action consistent premièrement à utiliser l'échelle à poissons du barrage de Lorcé comme un outil de capture de géniteurs en impulsion migratoire dans le but d'être radio-marqués et relâchés en amont du barrage (cf. chapitre V) et deuxièmement à nous renseigner sur les timings précis des périodes de migrations afin d'optimiser le choix des dates de recensements piscicoles en aval de la cascade de Coö (cf. chapitre III).



Heid de Goreux

Concentration de l'écoulement
À hauteur de la restitution de le
l'eau turbinée



Figure 4 : Vue de l'aval de de la CHE de Heid de Goreux avec la présence d'enrochement pour concentrer l'écoulement et augmenter l'attrait des poissons.

IV.2. MÉTHODES

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

L'échelle à poissons de Lorcé (figure 5) est équipée d'une cage de capture dont l'espacement entre les barreaux est de 3cm. Afin de capturer l'entièreté des espèces (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 cm x 1cm (figure 6).

En règle générale, la cage de l'échelle de Lorcé a été relevée deux à trois fois par semaine pour la période de novembre 2010 à juin 2013. Toutefois, en période hivernale et estivale, le rythme de contrôle a été d'une fois par semaine dû aux conditions météorologiques ou au très faible taux de capture. Les poissons capturés ont été transférés dans des bassines, puis anesthésiés à l'Eugénol (avec une concentration de 2ml d'Eugénol pour 10l d'eau), identifiés à l'espèce, mesurés (longueur à la fourche, lf) et pesés. Les individus les plus gros ou appartenant à une espèce d'intérêt scientifique majeur (truite, ombre, barbeau, hotu, anguille) peuvent subir des manipulations supplémentaires : prise d'écaillés pour la détermination de l'âge, marquage individuel (pit-tag ou émetteur radio), ablation d'un petit morceau de nageoire (conservé dans l'éthanol pur) pour des analyses génétiques.



Figure 5 : Vue aval du barrage de Lorcé où l'on voit l'entrée de la nouvelle échelle à poissons (à partir de 2007) en rive gauche (à gauche) et une photo de la nouvelle échelle à poissons du barrage de Lorcé (à droite)



Figure 6 : Cage de capture placée au niveau du bassin le plus en amont de l'échelle à poissons du barrage de Lorcé (Amblève)

IV.2.2. Données environnementales

La température de l'eau (températures journalières maximales, minimales et moyennes) a été enregistrée en continu par des enregistreurs de température installés à Lorcé et à Coö par le LDPH-ULg. Le débit de l'Amblève a été enregistré par un limnigraphe du SETHY (SPW), installé à Targnon en amont de la confluence avec la Lienne. Les données ont été récoltées à un rythme d'une mesure toutes les 1h.

IV.3. Résultats

IV.3.1. Conditions environnementales pendant la durée du contrôle de l'échelle à poissons

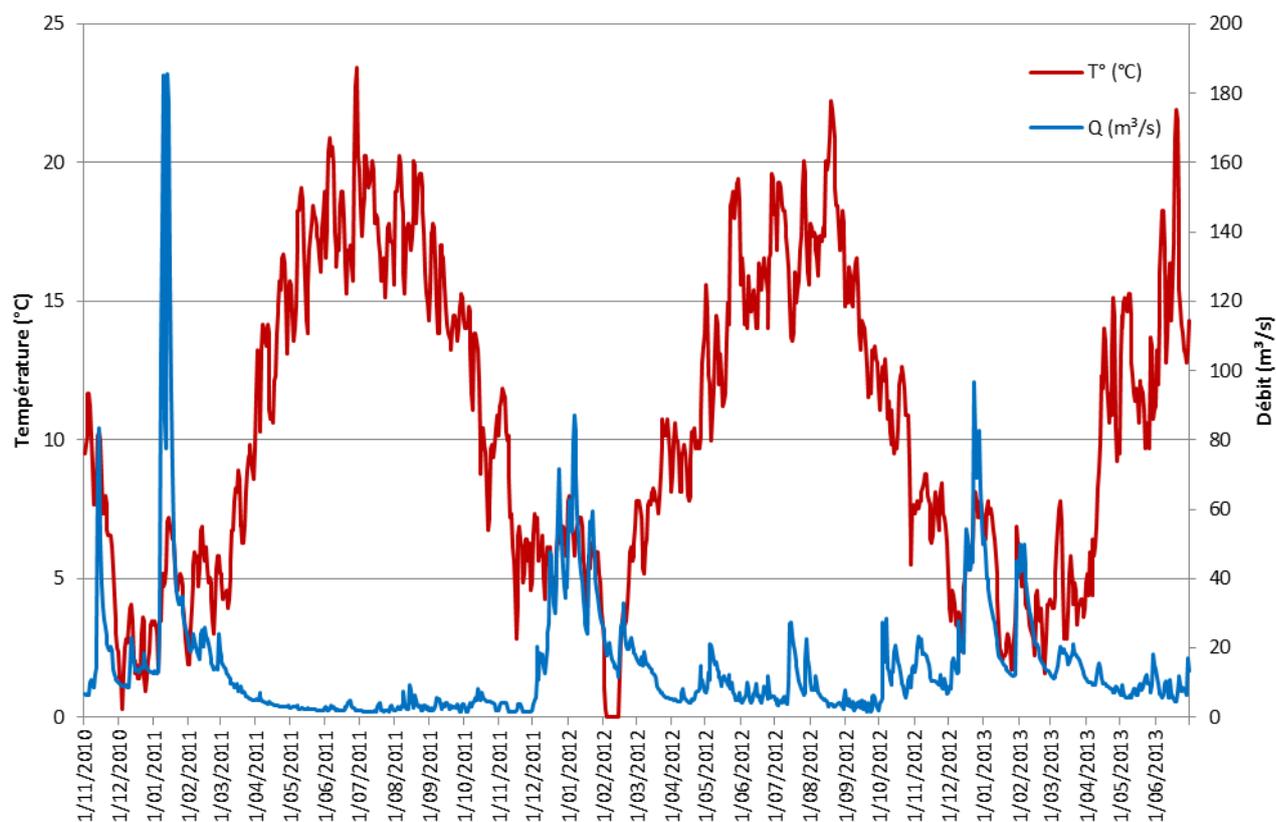


Figure 7 : Evolution des températures à Lorcé (données Ulg-LDPH) et des débits à Targnon (données SETHY) pendant la durée des contrôles de l'échelle à poissons du barrage de Lorcé sur l'Amblève de novembre 2010 à juin 2013

IV.3.2. Diversité des espèces, nombre d'individus et biomasse

De novembre 2010 à juin 2013 (tableau 1), nous avons réalisé **263 contrôles** du piège de capture de l'échelle à poissons de Lorcé. Sur cette période, **1576 individus** appartenant à **19 espèces** différentes ont été capturés dans le piège pour une biomasse totale de **126,8kg**.

Tableau 1 : Inventaire des captures dans le piège de l'échelle à poissons de Lorcé entre novembre 2010 et juin 2013. Nombre d'individus par espèces, la biomasse totale et les gammes de tailles capturées avec les tailles minimales et maximales, longueur à la fourche (Lf).

Espèces	Nombre	Biomasse (g)	Lf (mm) min-max
<i>Salmo trutta</i> Truite commune	169	33402	41-453
<i>Thymallus thymallus</i> Ombre	31	5472	168-349
<i>Barbus barbus</i> Barbeau	34	44073	54-620
<i>Chondrostoma nasus</i> Hotu	2	40	108-125
<i>Leuciscus cephalus</i> Chevaine	54	10617	72-510
<i>Leuciscus leuciscus</i> Vandoise	17	564	76-188
<i>Rutilus rutilus</i> Gardon	4	127	74-171
<i>Esox lucius</i> Brochet	1	2006	612
<i>Perca fluviatilis</i> Perche	2	226	66-160
<i>Cyprinus carpio carpio</i> Carpe cuir	1	4150	560
<i>Phoxinus phoxinus</i> Vairon	582	1666	55-82
<i>Alburnus alburnus</i> Ablette commune	2	15	72-94
<i>Alburnoides bipunctatus</i> Ablette spirilin	545	3692	61-21
<i>Gasterosteus aculeatus</i> Epinoche	1	1	46
<i>Barbatula barbatula</i> Loche	6	16	42-86
<i>Cottus gobio</i> Chabot	4	14	36-81
<i>Gobio gobio</i> Goujon	57	867	71-136
<i>Salmo salar</i> Saumon	23	1071	132-177
<i>Oncorhynchus mykiss</i> Truite AEC	41	18787	180-540
Total	1576	126808	

En nombre d'individus (figure 8), c'est le vairon qui domine avec 582 individus, suivi de l'ablette spirilin avec 545 individus, de la truite commune avec 169 individus, du goujon avec 57 individus, du chevaine avec 54 individus, de la truite arc-en-ciel avec 41 individus, du barbeau avec 34 individus et de l'ombre avec 31 individus.

En biomasse (figure 9), c'est le barbeau qui domine avec 44kg car ce sont essentiellement des gros individus qui sont capturés. On trouve ensuite la truite avec 33kg, la truite arc-en-ciel avec 19kg (dépend uniquement des repeuplements), le chevaine avec 11kg et l'ombre avec 5kg.

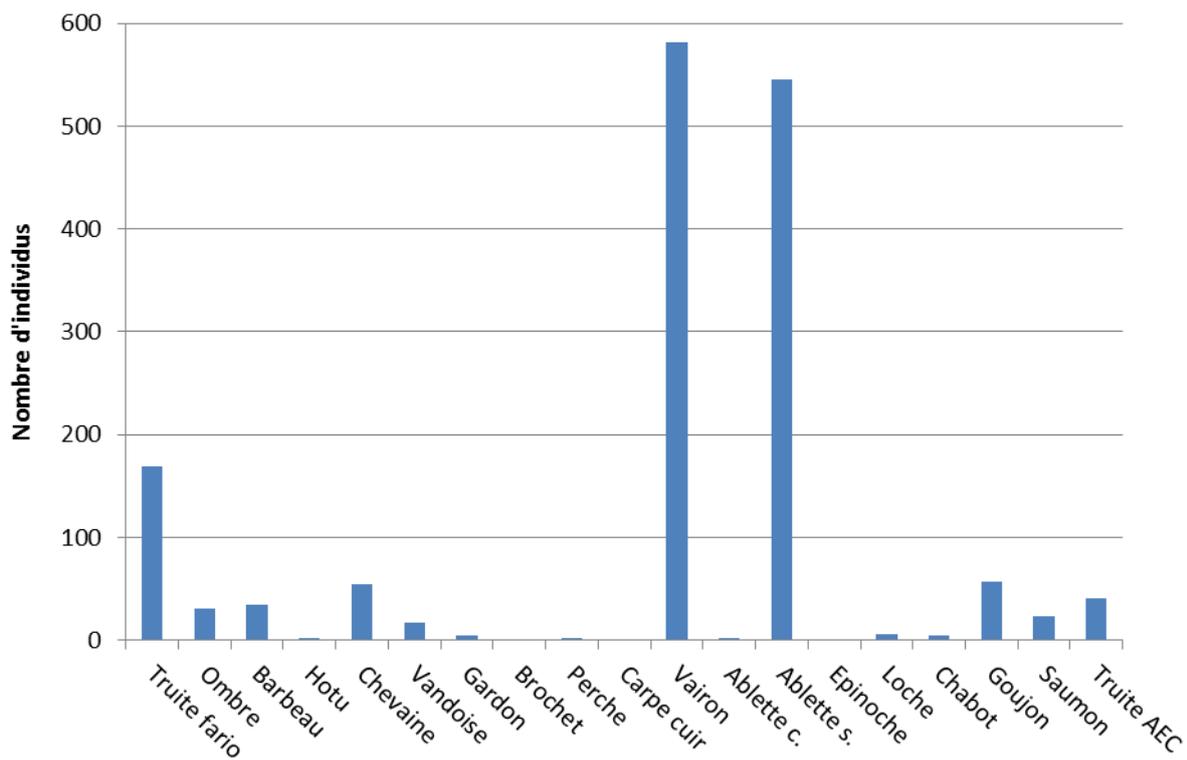


Figure 8 : Nombre d'individus capturés par espèce entre novembre 2010 et juin 2013 dans la cage de capture de l'échelle à poissons de Lorcé

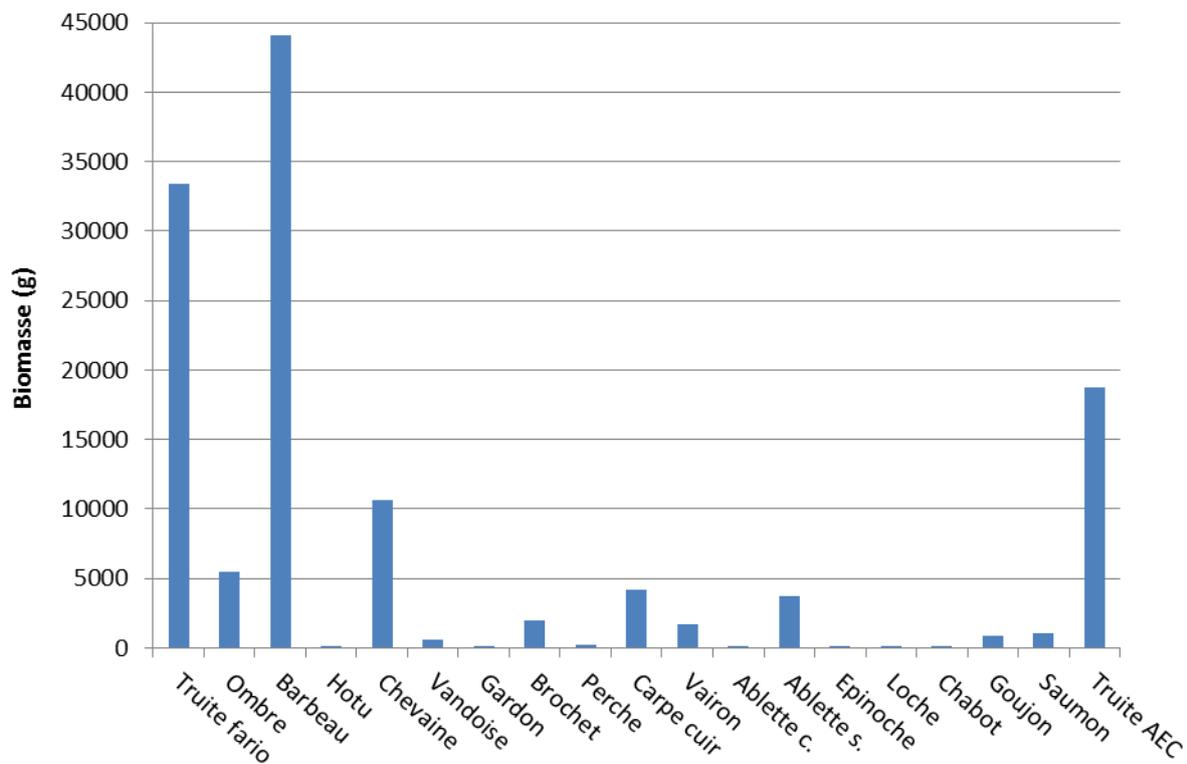


Figure 9 : Biomasse des individus capturés par espèce entre novembre 2010 et juin 2013 dans la cage de capture de l'échelle à poissons de Lorcé

Il apparaît clairement (tableau 2) que les espèces numériquement les plus abondantes dans le piège de l'échelle depuis le début du contrôle du piège en novembre 2007, le sont aussi dans l'Amblève en aval du barrage de Lorcé. Mais ce n'est pas le cas du chabot et de la loche qui sont très abondantes en rivières mais rares dans l'échelle, probablement en raison de leur faible impulsion à migrer vers l'amont malgré la présence d'un substrat rocailleux dans l'échelle. On pourrait aussi considérer que ces poissons de petites tailles passent à travers les grilles du piège mais, si c'est le cas, pourquoi d'autres espèces de petites tailles comme le vairon et l'ablette spirilin sont capturés en masse. Des cas de captures d'espèces (brème, brème bordelière, carpe absentes ou encore de truite AEC, une espèce de repeuplement) présentes dans le piège de l'échelle mais absentes en aval du barrage de Lorcé s'expliquent par leur très faible densité dans ce type de rivière.

Tableau 2 : Comparaison des captures des poissons dans le piège de l'échelle à poissons de Lorcé entre novembre 2007 et juin 2013 et de recensements par pêche électrique en 2000-2003 dans deux stations de l'Amblève situées en aval du barrage dans le tronçon court-circuité par la prise d'eau hydroélectrique.

Espèces	Nombre total capturés dans le piège (2007-2013)	Nombre capturés en aval 2000-2003
<i>Salmo trutta</i> Truite	533	142
<i>Thymallus thymallus</i> Ombre	79	64
<i>Barbus barbus</i> Barbeau	132	270
<i>Chondrostoma nasus</i> Hotu	4	12
<i>Leuciscus cephalus</i> Chevaine	78	212
<i>Leuciscus leuciscus</i> Vandoise	52	153
<i>Anguilla anguilla</i> Anguille	1	13
<i>Rutilus rutilus</i> Gardon	6	4
<i>Esox lucius</i> Brochet	1	4
<i>Perca fluviatilis</i> Perche	2	1
<i>Abramis brama</i> Brème	2	0
<i>Blicca bjoerkna</i> Brème bordelière	1	0
<i>Cyprinus carpio</i> Carpe	2	0
<i>Phoxinus phoxinus</i> Vairon	1590	1142
<i>Alburnus alburnus</i> Ablette commune	2	0
<i>Alburnoides bipunctatus</i> Ablette spirilin	674	57
<i>Gasterosteus aculeatus</i> Epinoche	3	3
<i>Barbatula barbatula</i> Loche	12	870
<i>Cottus gobio</i> Chabot	8	689
<i>Gobio gobio</i> Goujon	210	123
<i>Salmo salar</i> Tacon	27	2
<i>Salmo salar</i> Smolt saumon	3	0
<i>Oncorhynchus mykiss</i> Truite AEC	81	0
<i>Lamptera planeri</i> Lamproie	0	1
Total	3502	3762

IV.3.3. Variations annuelles des captures

Le tableau 3 donne le détail des captures pour chaque année de contrôle depuis le début des contrôles, en tenant compte du fait qu'en 2007, l'échelle n'a été contrôlée qu'en novembre et décembre et qu'en 2013, elle l'a été de janvier à juin.

Tableau 3 : Inventaire des captures dans le piège de l'échelle à poissons de Lorcé de novembre 2007 à juin 2013 ainsi que le total de captures depuis le début du contrôle

Espèces\années	2007		2008		2009		2010		2011		2012		2013		Total	
	Nb	g	Nb	g	Nb	g	Nb	g	Nb	g	Nb	g	Nb	g	Nb	g
Truite	117	22806	131	21305	70	12915	85	15360	47	11356	43	9362	39	4790	532	97894
Ombre	1	781	25	3929	13	3987	8	945	10	1934	11	1107	11	2475	79	15158
Barbeau	-	-	62	97914	6	9267	30	39339	23	27579	6	7885	5	8576	132	190560
Hotu	-	-	2	3269	-	-	-	-	1	13	-	-	1	27	4	3309
Chevaine	-	-	12	6164	9	10572	7	1709	31	7140	8	166	11	2976	78	28727
Vandoise	-	-	8	243	-	-	5	65	32	428	7	113	-	-	52	849
Anguille	-	-	1	143	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	143
Gardon	-	-	-	-	2	61	-	-	3	43	-	-	1	171	6	275
Brochet	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2006	-	-	1	2006
Perche	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	226	2	226
Brème	-	-	1	1528	-	-	1	6	-	-	-	-	-	-	2	1534
Brème bordelière	-	-	-	-	1	58	-	-	-	-	-	-	-	-	1	58
Carpe	-	-	1	3828	-	-	-	-	-	-	-	-	1	4150	2	7978
Vairon	-	-	26	79	118	192	921	1897	497	1585	-	-	28	81	1590	3834
Ablette commune	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	15	2	15
Ablette spirilin	-	-	76	767	3	37	49	245	472	3137	52	432	22	128	674	4746
Epinoche	-	-	1	1	1	2	1	1	-	-	-	-	-	-	3	4
Loche	-	-	2	2	3	11	1	4	5	43	1	2	-	-	12	62
Chabot	-	-	2	13	2	4	-	-	3	31	1	11	-	-	8	59
Goujon	-	-	118	2155	23	560	12	271	33	390	8	171	16	308	210	3855
Tacon	-	-	1	59	1	8	16	696	9	433	-	-	-	-	27	1196
Smolt saumon	-	-	-	-	-	-	1	39	1	79	-	-	1	26	3	144
Truite AEC	-	-	5	1645	13	4317	24	12380	22	11845	7	2218	10	3648	81	36053
Total	118	23587	474	143044	265	41991	1161	72957	1189	66036	145	23473	150	27597	3502	398685

Depuis le début du contrôle du piège de capture de la passe à poissons du barrage de Lorcé en novembre 2007, **3052 individus** ont été capturés pour une biomasse totale de **398,7kg**. Il apparaît qu'il existe une très grande variabilité interannuelle des captures. L'évolution du nombre total d'individus par année témoigne de cette variabilité. Si l'on ne considère que les années entièrement contrôlées (2008 à 2012), le nombre total d'individus varie de **145 à 1189** individus. Parmi les espèces les plus représentées, la truite commune est finalement celle qui présente le plus de constance dans l'intensité des captures, mais avec tout de même des

variations maximales de l'ordre du facteur 2 (figure 10). Les cas du barbeau et de l'ombre sont particuliers avec une chute du nombre d'individus capturés dès respectivement 2012 et 2009. Du côté des petites espèces (figure 11), on observe des variations très importantes d'une année à l'autre avec par exemple pour le vairon, la capture de 921 individus en 2010 et aucun individu en 2012. En 2010 et 2011, on observe un nombre total d'individus capturés bien supérieur aux autres années. Ce constat est dû aux taux de captures des petites espèces plus importants ces deux années. En revanche, l'évolution de la biomasse (indice très peu affecté par la capture de petites espèces) est en diminution depuis 2010 avec un premier minimum en 2009. Une raison possible à cette observation est « l'effet d'ouverture ». Le barrage de Lorcé avant novembre 2007 était muni d'une échelle à poissons très peu fonctionnelle, l'aménagement de la nouvelle échelle a permis aux individus « bloqués » en aval du barrage de se disperser en amont d'où le nombre important d'individus capturés sur 2 mois en 2007 et toute l'année en 2008.

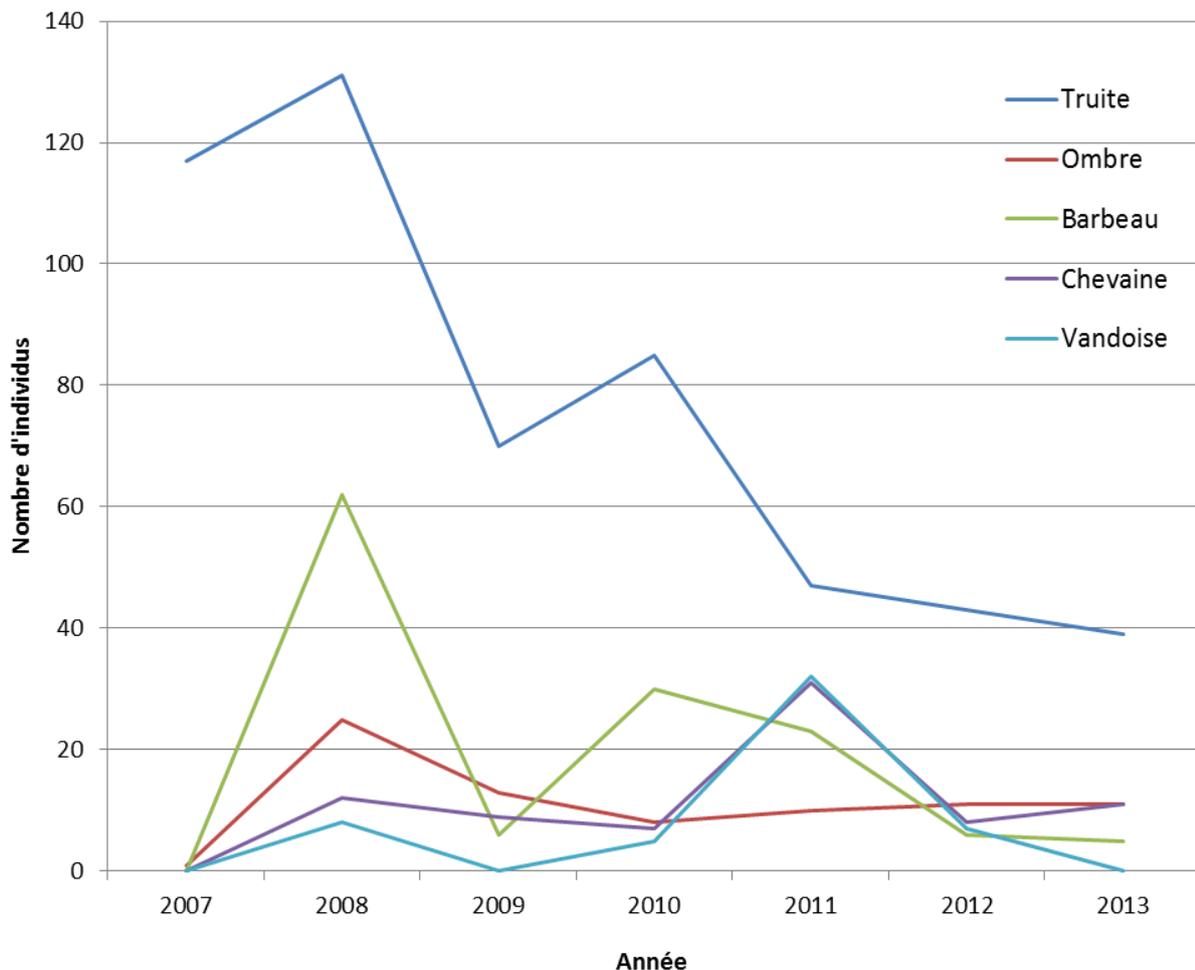


Figure 10 : Evolution par année (de 2007 à 2013) du nombre d'individus capturés dans le piège de capture de l'échelle à poissons de Lorcé pour les salmonidés et les grands cyprinidés

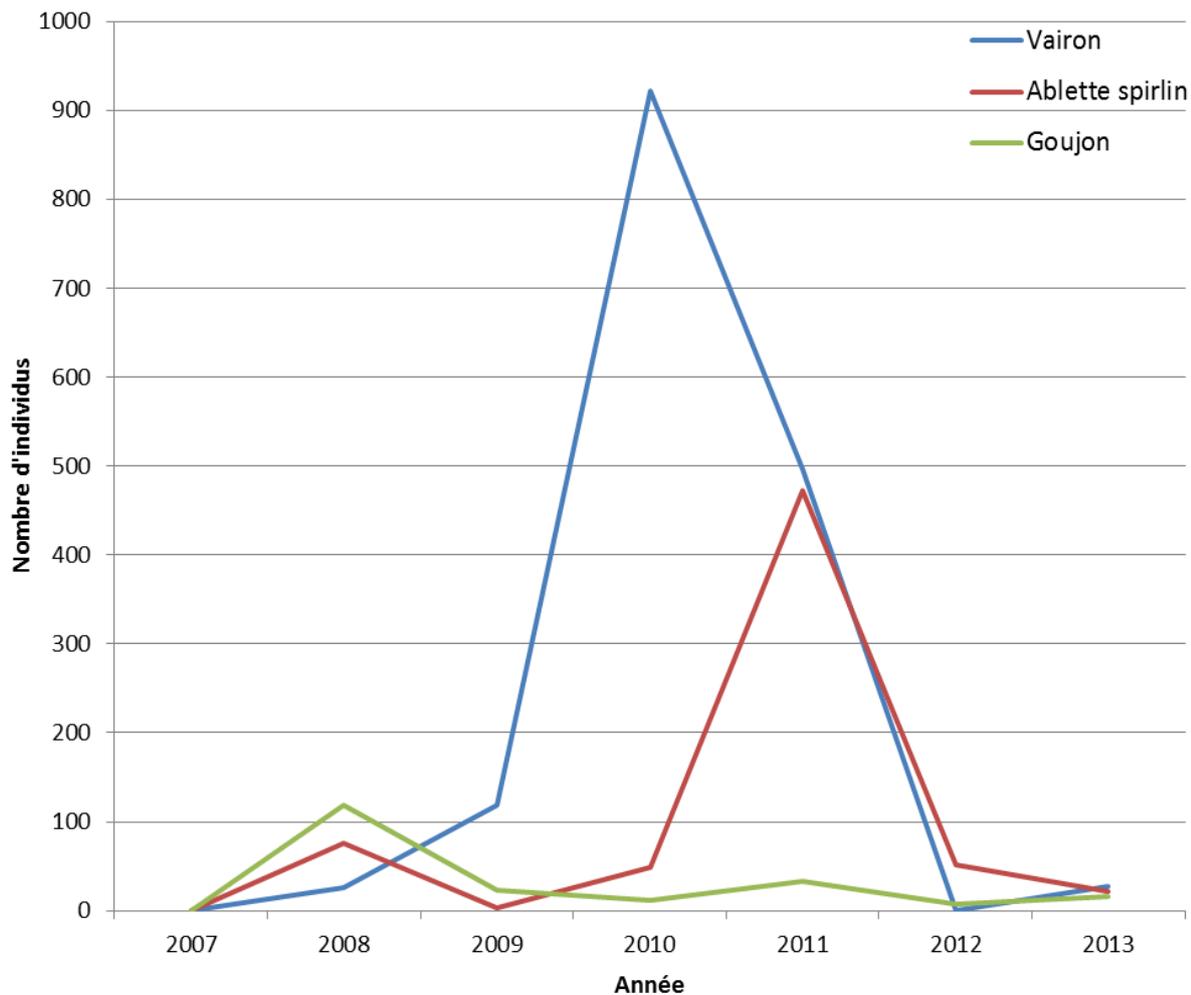


Figure 11 : Evolution par année (de 2007 à 2013) du nombre d'individus capturés dans le piège de capture de l'échelle à poissons de Lorcé pour les petites espèces (vairon, ablette spirilin et goujon)

IV.3.4. Tailles des poissons capturés

La taille des **truites communes** capturées dans le piège de l'échelle à poissons de Lorcé varie de 40 à 480mm (figure 12). De nombreuses classes de tailles sont bien représentées, avec toutefois une dominance des classes comprises entre 220 et 320mm. Signalons que ces classes de tailles (22 à 32cm) correspondent aussi à celles des truites de repeuplement.

Chez l'**ombre**, la taille des individus capturés varie de 160mm à 440mm. Les classes de taille 180-220mm (poissons de deux étés) et 260-320mm (poissons de trois étés) sont les plus représentées (figure 13). On notera l'absence de capture de juvénile dans le piège.

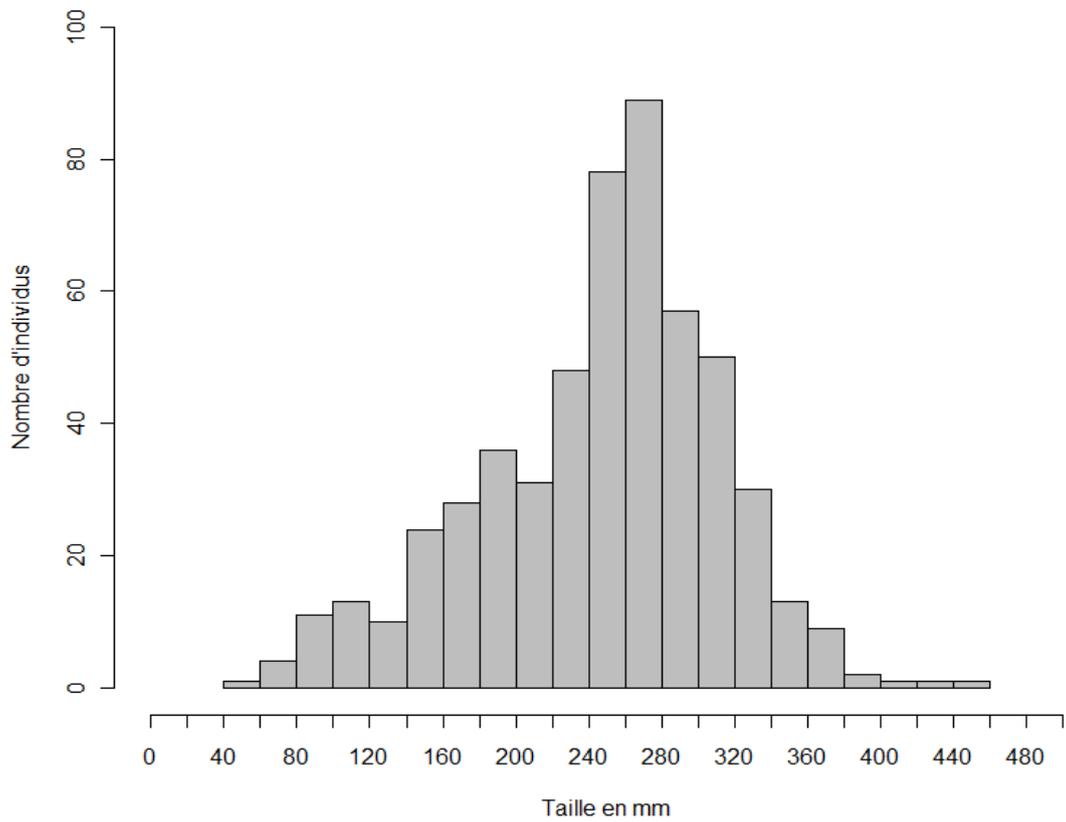


Figure 12 : Répartition par classes de taille des truites communes capturées dans le piège de l'échelle de Lorcé du contrôle entre novembre 2007 et juin 2013

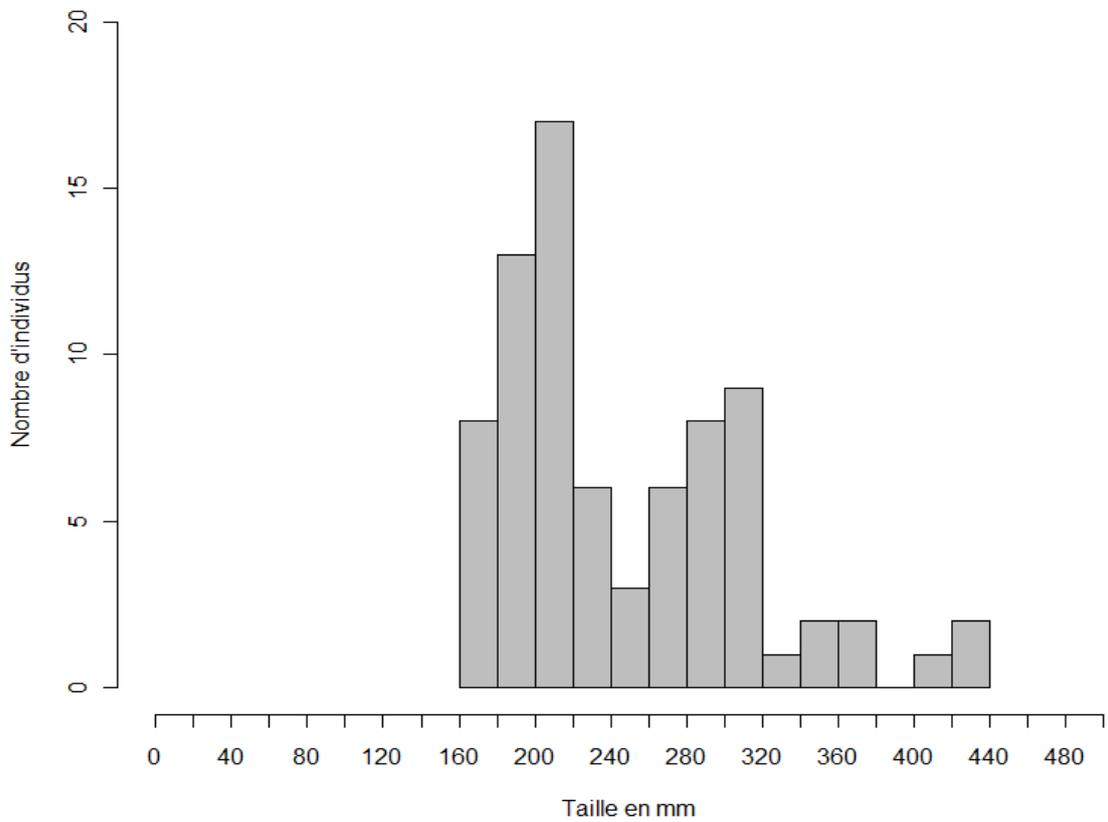


Figure 13 : Répartition par classes de taille des ombres capturés dans le piège de l'échelle de Lorcé entre novembre 2007 et juin 2013

Chez le **barbeau** (figure 14), ce sont essentiellement des individus de grandes tailles qui ont été capturés (plus de 80% des individus sont > 400mm) et ce sont les classes de taille de 480-520mm qui dominent.

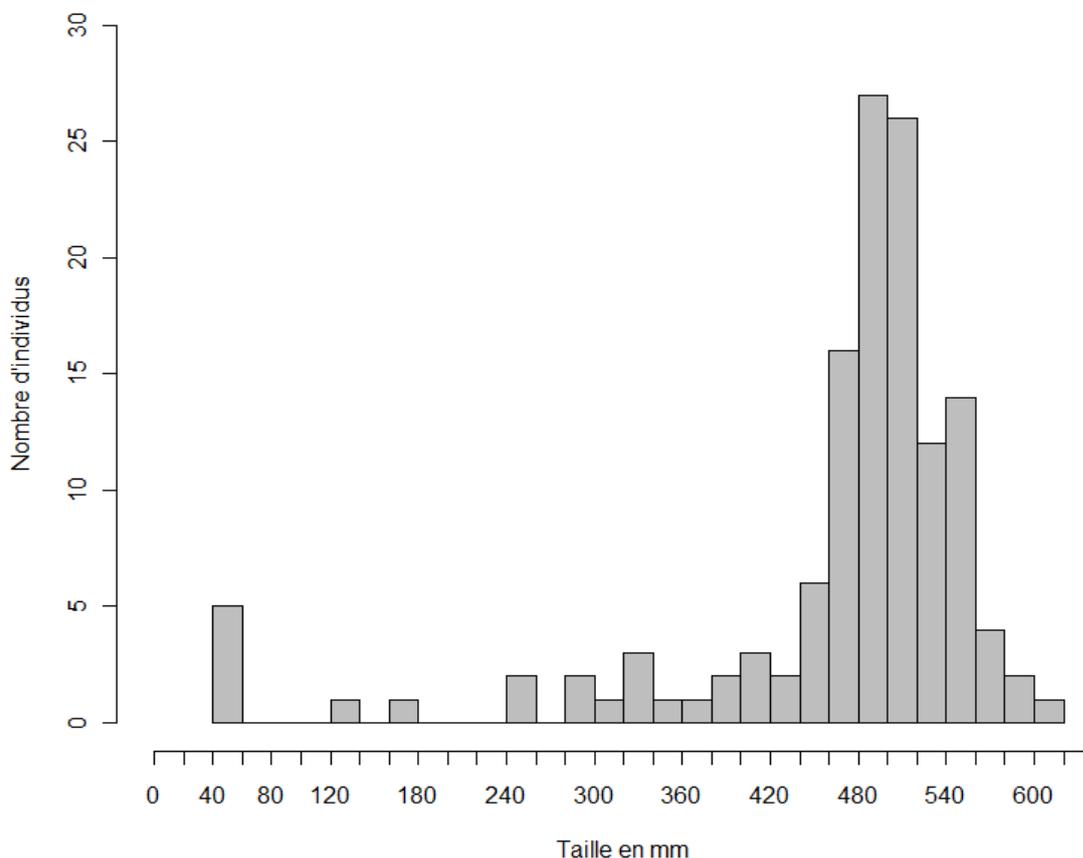


Figure 14 : Répartition par classes de taille des barbeaux capturés dans le piège de l'échelle de Lorcé entre novembre 2007 et juin 2013

Chez le **chevaine**, la tendance est différente des autres espèces. Même si la taille des individus capturés varie de 40 à 520mm, on observe soit la capture d'individus de taille comprise entre 40 et 220mm (de 1 à 3ans) ou soit d'individus de taille comprise entre 420 et 520mm (individus potentiellement matures) avec une majorité pour les jeunes individus (figure 15).

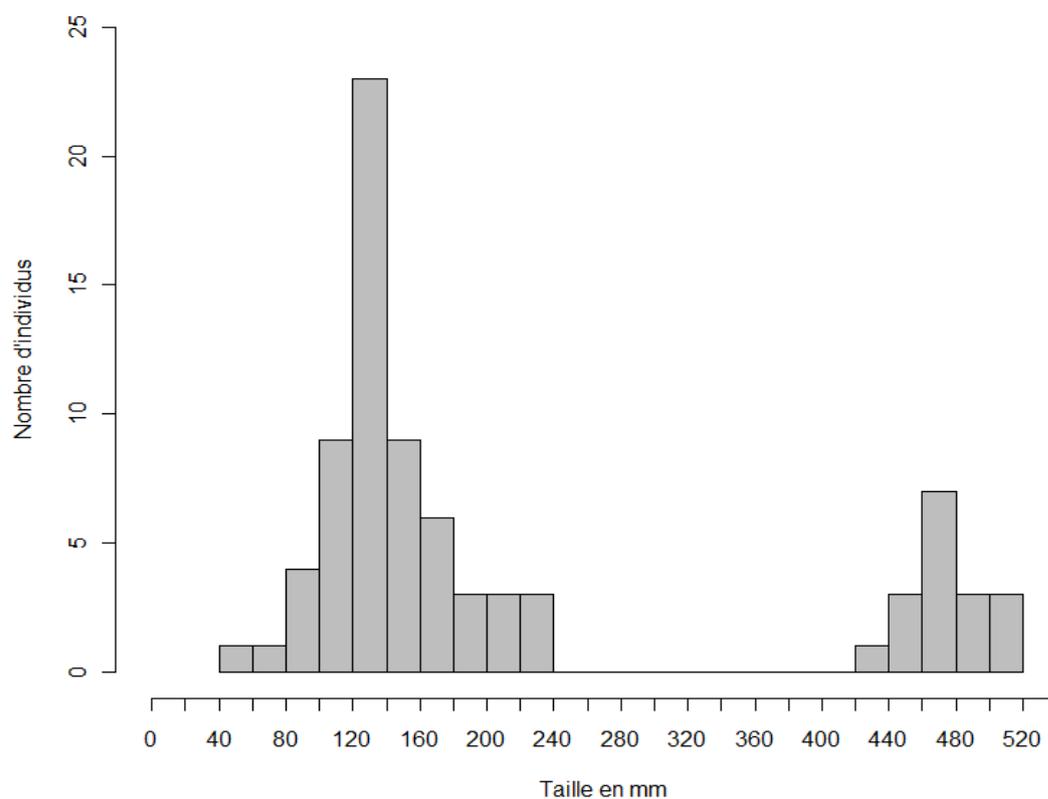


Figure 15 : Répartition par classes de taille des chevaines capturés dans le piège de l'échelle de entre novembre 2007 et juin 2013

L'analyse des classes de taille pour l'ensemble des espèces capturées dans le piège de l'échelle à poissons de Lorcé avec un minimum de 10 individus capturés, démontre la bonne efficacité de l'échelle d'un point de vue multi-espèces (figure 16). On constate que des poissons de petites tailles (entre 50 et 100mm) que ce soit de petites espèces (exemple : vairon, loche et ablette spirilin) ou de juvéniles d'autres espèces (truite commune, chevaine et barbeau) sont capables d'utiliser l'échelle à poissons mais également des individus de grandes tailles (entre 500 et 600mm).

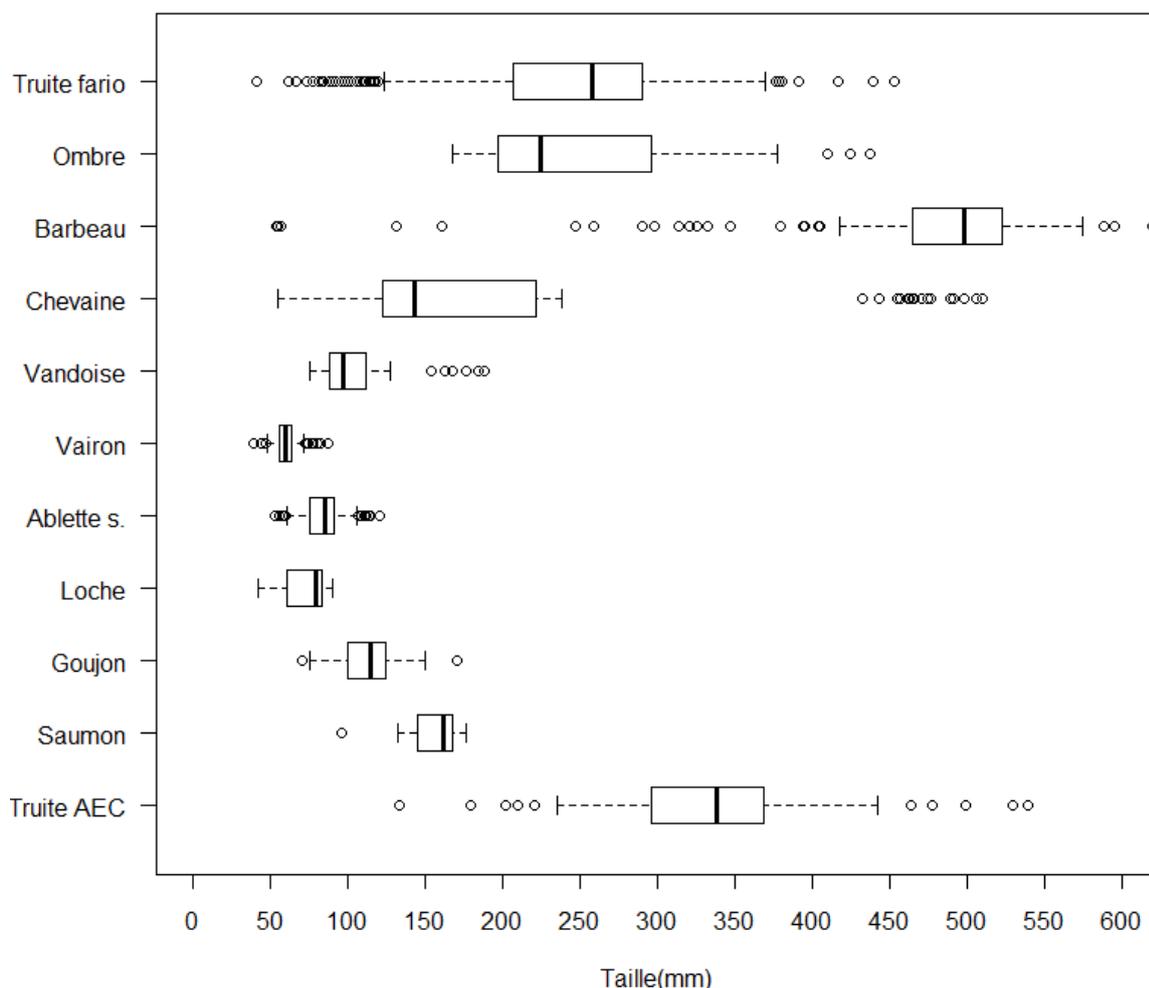


Figure 16 : Classes de taille des espèces de poissons capturées (avec un minimum de 10 individus) dans le piège de l'échelle à poissons de Lorcé depuis le début du contrôle en novembre 2007. Les limites du rectangles représentent les quantiles 25 et 75, la ligne noire représente le quantile 50, les limites des lignes en pointillées représentent les quantiles 5 et 95 et les ronds représentent les valeurs extrêmes

IV.3.5. Répartition saisonnière des captures

IV.3.5.1. Ensemble des espèces

Lorsque nous analysons la répartition saisonnière totale de toutes les captures depuis novembre 2007 (chaque capture est associée à un numéro de semaine), il apparait que l'échelle est utilisée pendant toute l'année mais avec une intensité particulière du mois d'avril au mois de juillet avec un pic de capture bien plus important en période estivale (figure 17). Ce pic estival observé à l'échelle de Lorcé est essentiellement dû à la capture de nombreux individus de petites espèces comme l'ablette spiralin et le vairon qui manifestement pour ce dernier, après sa période de reproduction en mai-juin, effectue une dispersion vers l'amont. On observe également un second

pic de capture, moins prononcé, durant le mois de novembre (capture de truites matures en période de migration de reproduction).

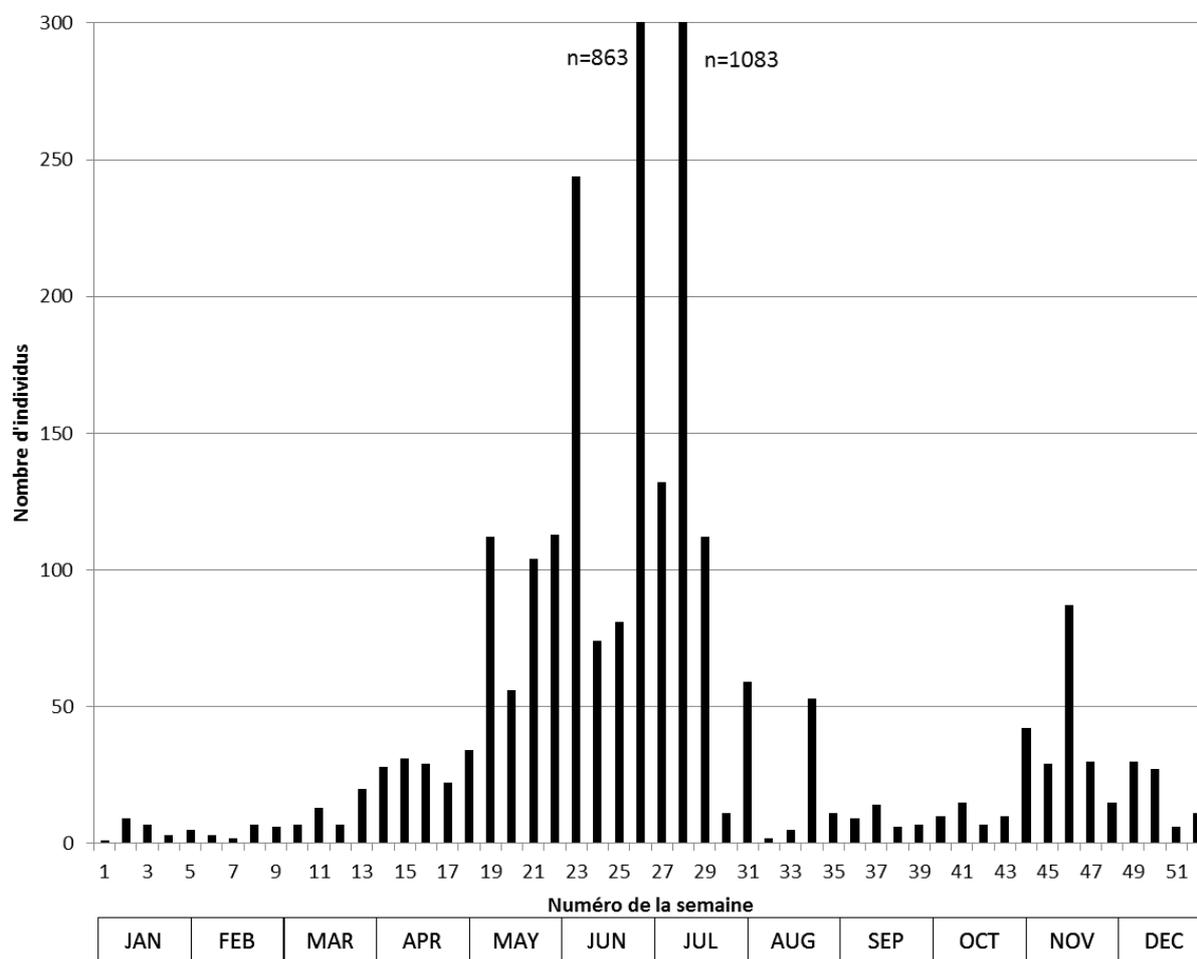


Figure 17 : Répartition saisonnière du nombre total de captures (toutes les espèces confondues) dans le piège de l'échelle à poissons de Lorcé de novembre 2007 à juin 2013

IV.3.5.2. Cas des salmonidés : truite commune et ombre

La truite commune est présente toute l'année dans l'échelle à poissons de Lorcé (figure 18). La séparation des individus en individus adultes (>150mm) et juvéniles (entre 0 et 150mm), nous permet d'étudier plus précisément la répartition saisonnière. Comme mentionné dans le point II.3.4., la majorité des individus capturés sont des individus adultes ou « matures » avec une répartition de capture atypique. En effet, ces individus adultes ne sont pas capturés uniquement en période de migration de reproduction (automne) mais aussi au printemps avec un pic début juin. Ce phénomène a déjà été observé dans d'autres échelles à poissons en Belgique comme à

Berneau et Mortroux sur la Berwinne (Ovidio et al., 2007) et il peut s'expliquer en partie par les repeuplements d'individus « pêchables » par différentes personnes ou organismes (sociétés de pêches, piscicultures, pêcheurs, ...). Néanmoins, le principal pic de capture d'individus adultes se déroule en automne entre octobre et décembre. Les juvéniles sont eux, majoritairement capturés durant le printemps entre avril et juin.

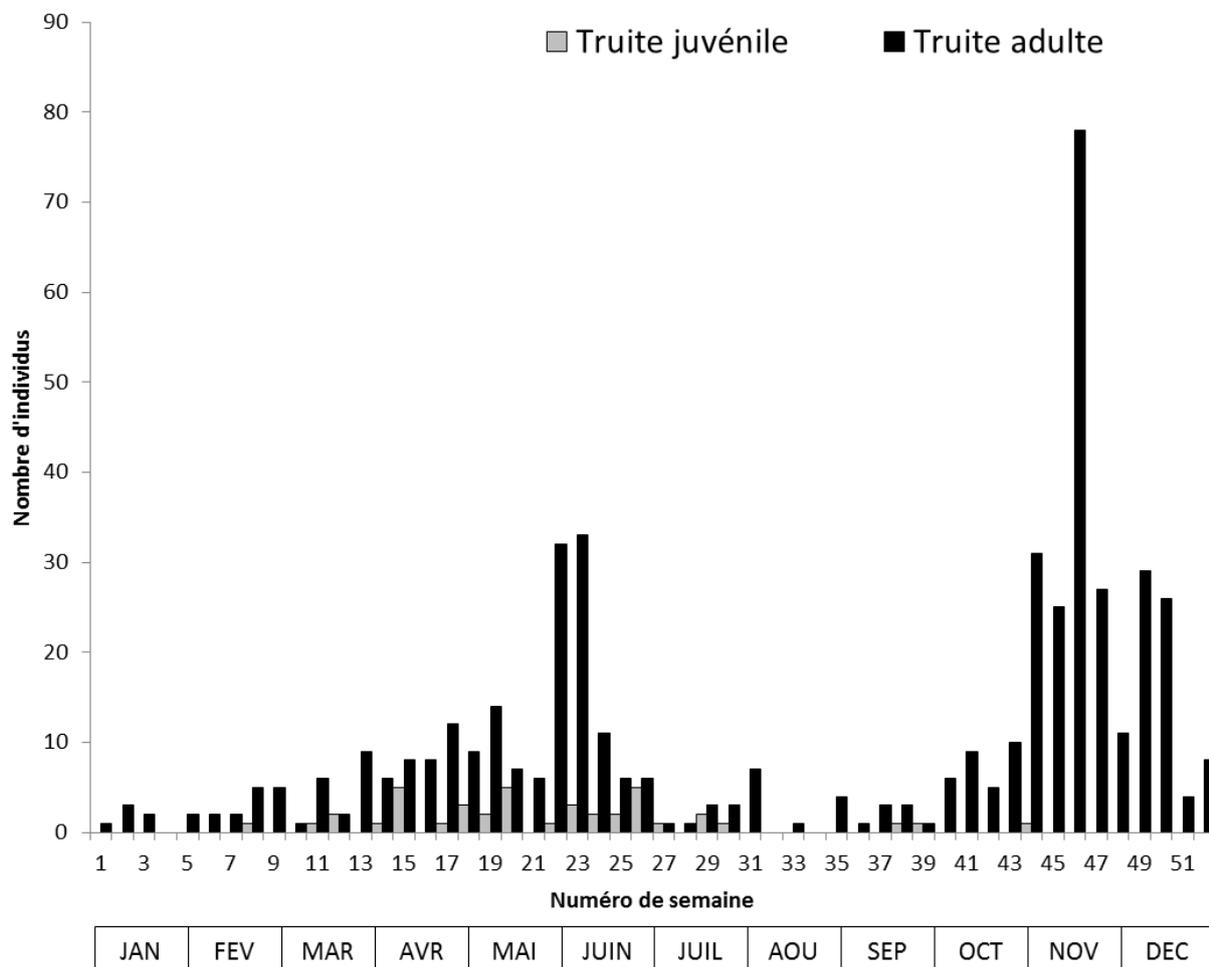


Figure 18 : Répartition saisonnière du nombre de captures de truite commune dans le piège de l'échelle à poissons de Lorcé de novembre 2007 à juin 2013

L'ombre, à une exception près, n'est capturé dans la cage de l'échelle à poissons que durant les 24 premières semaines de l'année avec un pic d'individus adultes (>250mm) en mars-avril durant sa période de migration de reproduction (figure 19). Les individus juvéniles sont plutôt capturés entre avril et juin juste après le pic des individus adultes. Ce constat ne révèle pas un phénomène de migration des juvéniles de l'année (0+) car d'après l'étude des classes de taille, aucun individu

de moins de 160mm n'a été capturé dans le piège. Il résulte de déplacement de juvéniles de 1 à 2 ans recherchant certainement de nouveaux habitats exploitables vers l'amont.

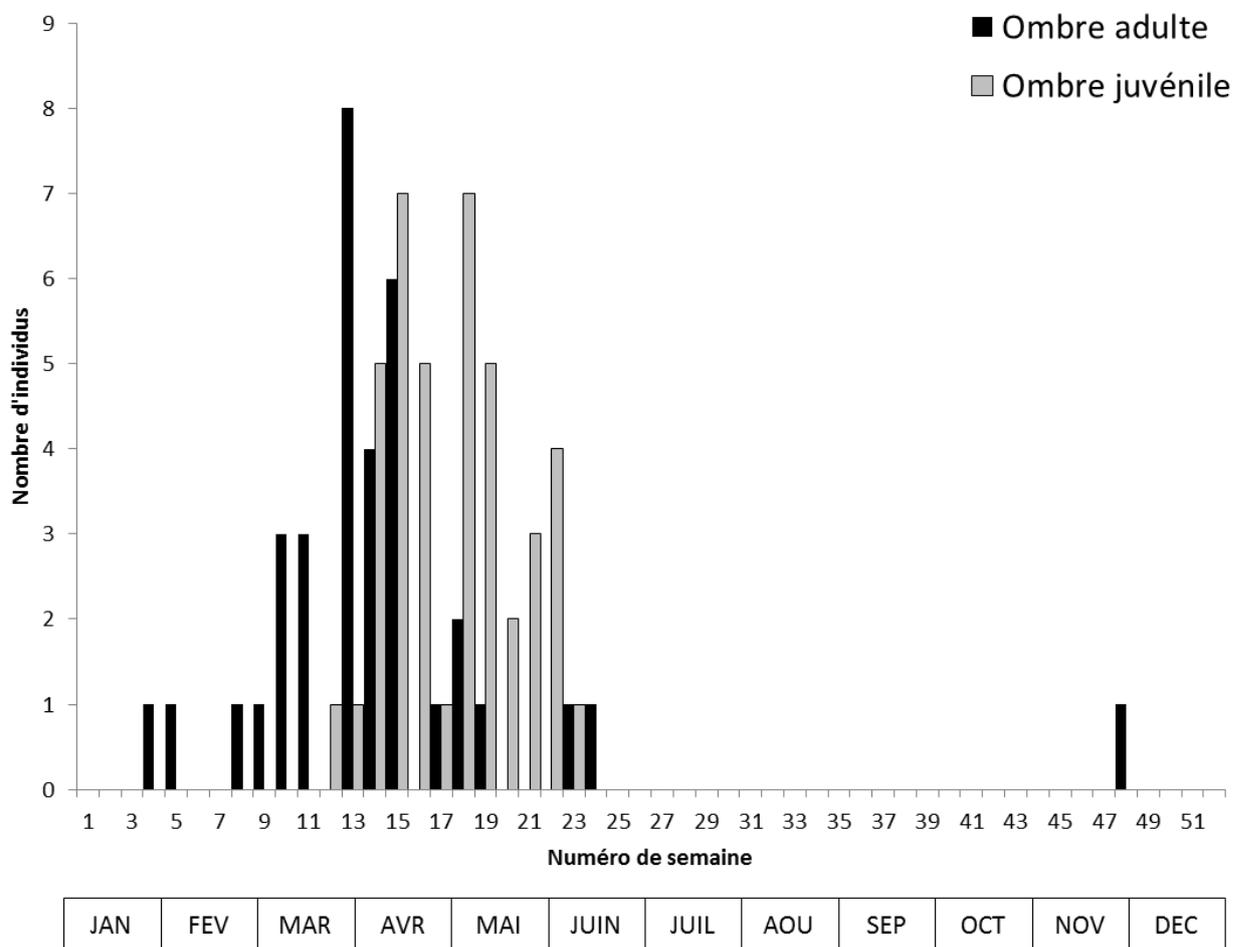


Figure 19 : Répartition saisonnière du nombre de captures d'ombres dans le piège de l'échelle à poissons de Lorcé de novembre 2007 à juin 2013

IV.3.5.3. Cas des grands cyprinidés : Barbeau, chevaine et vandoise

On sait que la plus grande partie des **barbeaux** capturés dans le piège de l'échelle sont des individus de grandes tailles. On observe justement que ces individus adultes (>250mm) sont capturés majoritairement au printemps, de début mai à mi-juin durant leur période de migration de reproduction (figure 20).

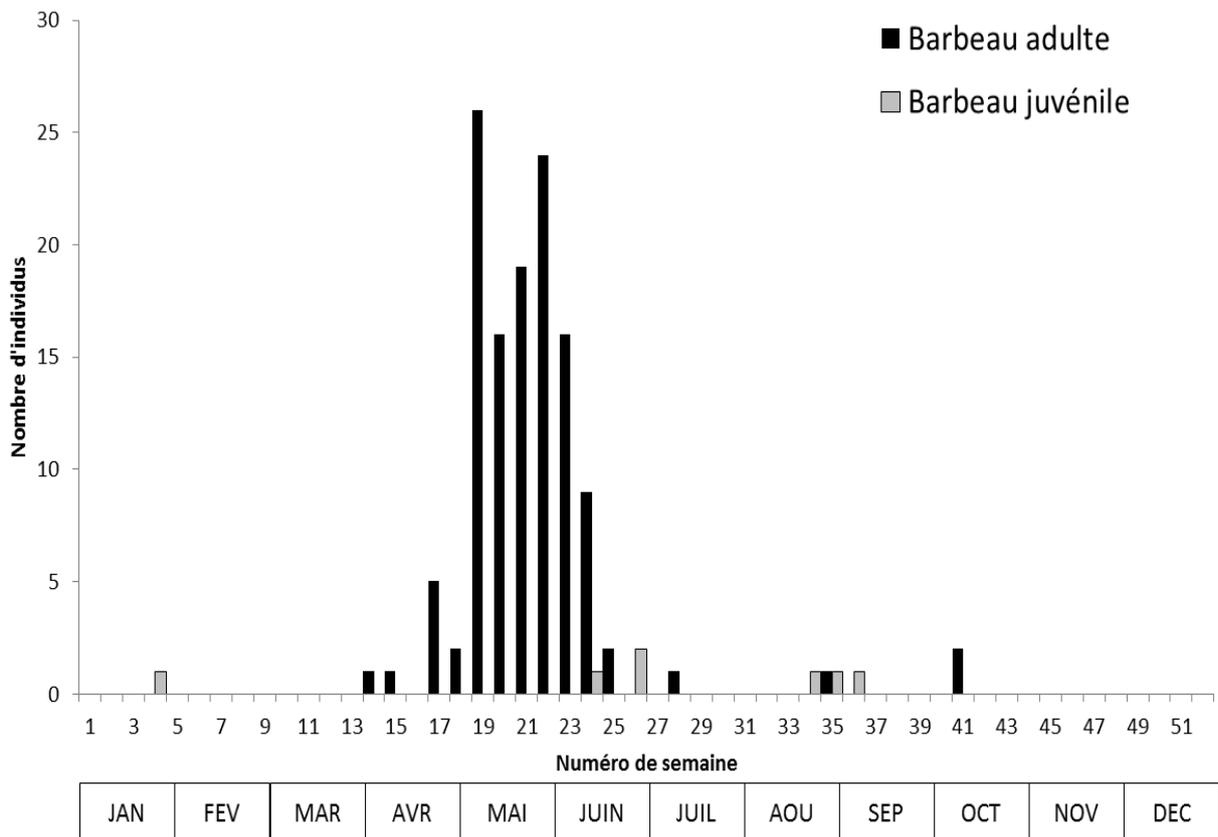


Figure 20 : Répartition saisonnière du nombre de captures de barbeaux dans le piège de l'échelle à poissons de Lorcé de novembre 2007 à juin 2013

Avec une période de reproduction au printemps, les **chevaines** adultes ne sont pas capturés dans le piège de l'échelle de Lorcé uniquement durant cette période (figure 21). Certains le sont en automne et en hiver mais il est difficile d'établir une tendance générale au vu du faible nombre d'individus adultes (>160mm) capturés. En revanche les juvéniles, capturés en plus grand nombre, présentent une période de capture estivale de juin à août. La **vandoise** possède une répartition saisonnière analogue à celle du chevine avec néanmoins un pic de juvéniles plus important au mois de juillet (figure 22).

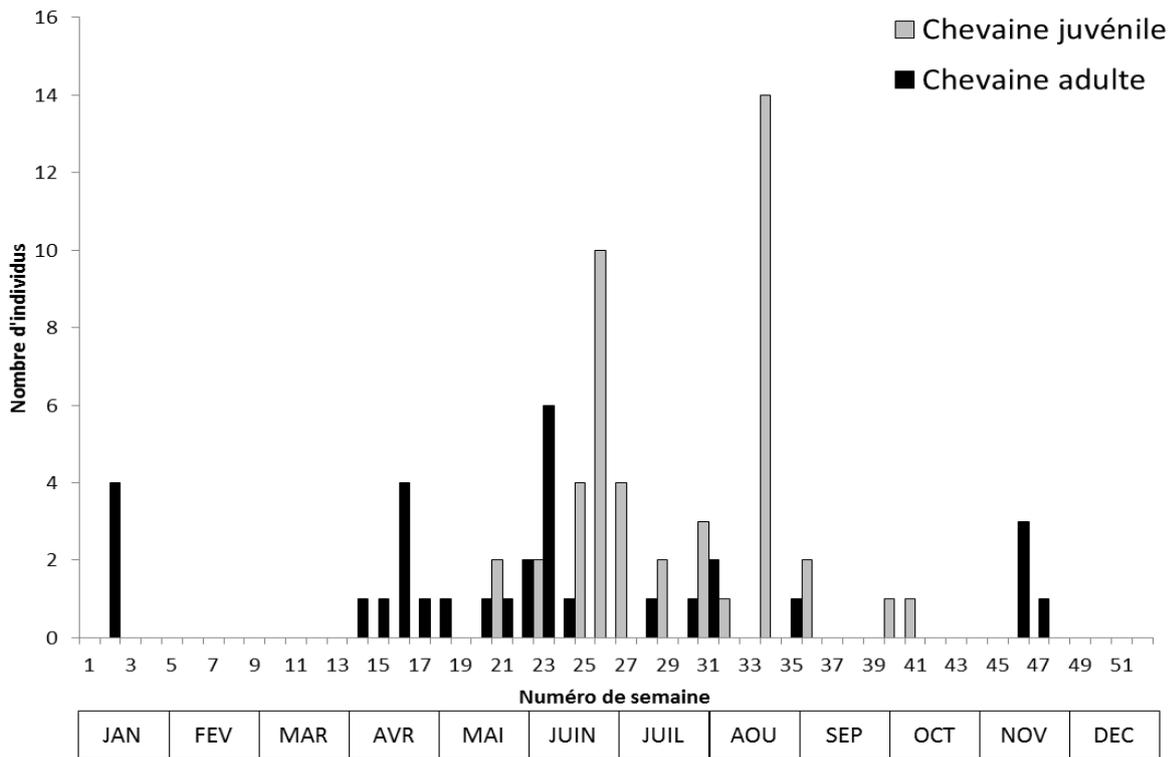


Figure 21 : Répartition saisonnière du nombre de captures de chevaines dans le piège de l'échelle à poissons de Lorcé de novembre 2007 à juin 2013

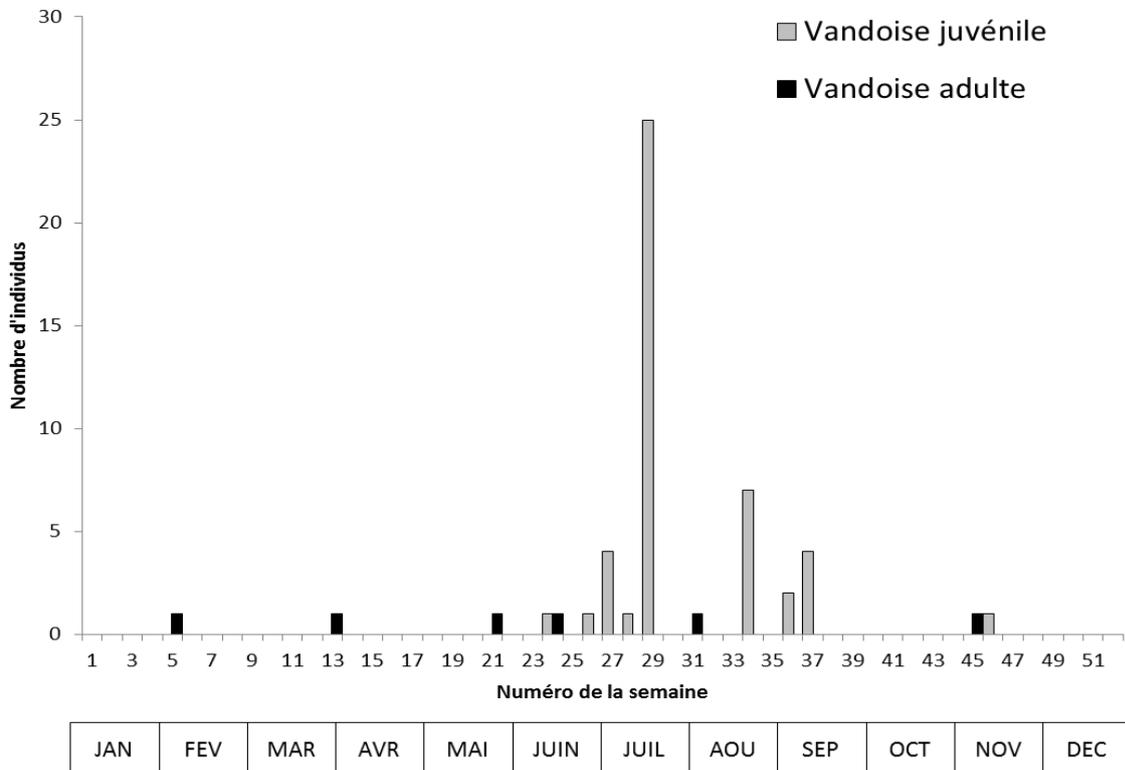


Figure 22 : Répartition saisonnière du nombre de captures de vandoises dans le piège de l'échelle à poissons de Lorcé de novembre 2007 à juin 2013

IV.3.5.4. Cas des petites espèces: Vairon, ablette spirilin et goujon

Le **goujon** possède une période de reproduction printanière qui peut être associée au préalable à une période de migration. Les résultats des captures de goujons selon la période de l'année, confirment la présence d'une migration de reproduction chez le goujon avec un maximum de capture durant le printemps entre mai et juin (figure 23). Il est cependant difficile dans cette analyse de faire une différence précise entre individus matures et immatures.

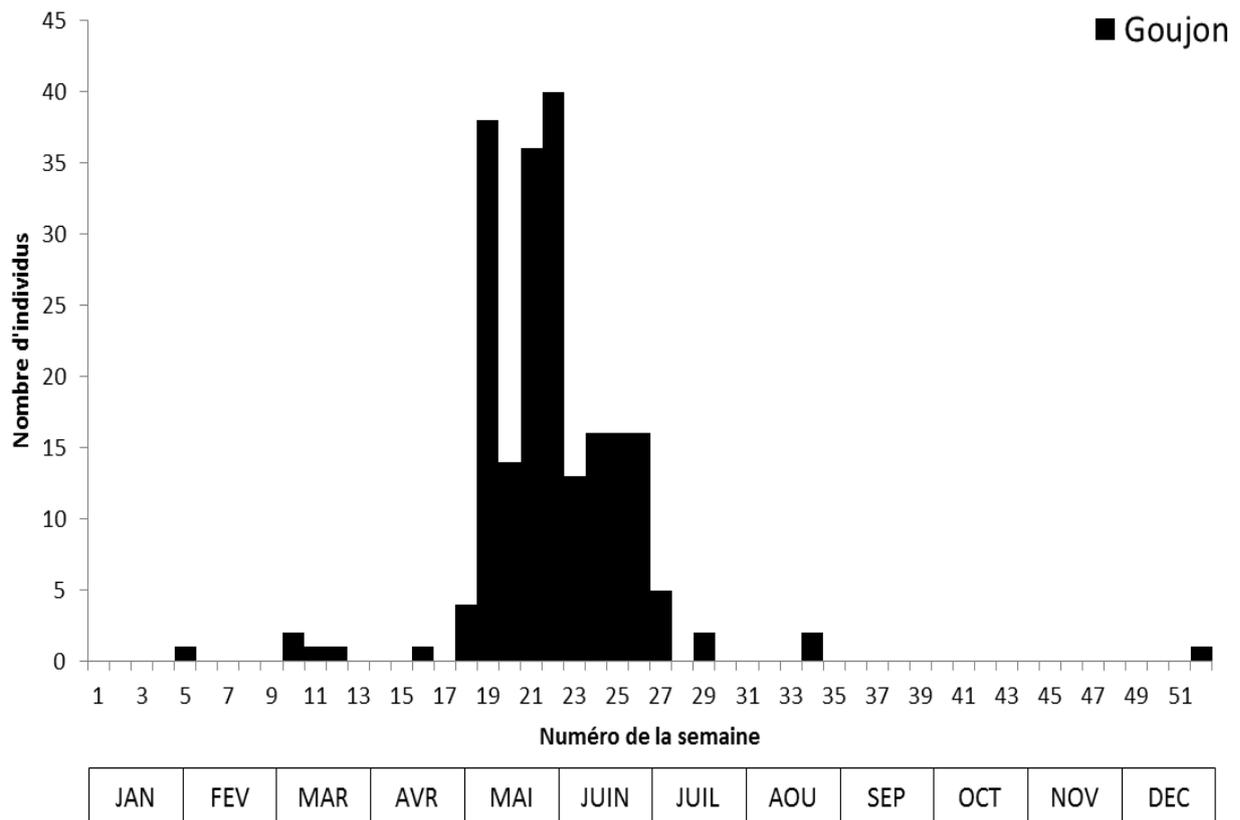


Figure 23 : Répartition saisonnière du nombre de captures de goujons dans le piège de l'échelle à poissons de Lorcé de novembre 2007 à juin 2013

Le **vairon** et l'**ablette spirilin** présentent des profils analogues avec des captures principalement en été et un pic durant le mois de juillet (figures 24 et 25). Le vairon qui possède une période de reproduction entre avril et juin (Philippart & Vranken, 1983), utiliserait donc l'échelle à poisson en post-reproduction. Par contre, l'ablette spirilin qui possèdent une période de reproduction entre avril et juin voire juillet (Etessami, 1982 ; Bless, 1996) utiliserait l'échelle à poissons lors de sa période de reproduction (capture d'individus sexuellement matures) jusque début juillet et ensuite en post-reproduction jusque fin septembre.

IV.3.6. Influence de la température de l'eau et du débit sur les taux de captures

A chaque individu capturé, nous lui avons associé la température maximale et le débit moyen (Q) du jour précédent sa capture afin d'étudier l'impact des facteurs environnementaux sur les taux de capture de l'échelle à poissons de Lorcé. Les températures ont été catégorisées par degré Celsius alors que les débits ont été catégorisés en 5 classes numérotées de 1 à 5 en fonction des quantiles du débit de l'Amblève. Les quantiles de l'Amblève ont été calculés sur les données journalières du débit de l'Amblève (quantile 20= 5,33m³/s ; quantile 40= 9,43m³/s ; quantile 60 = 16,76m³/s et quantile 80 = 28,84m³/s) et le module de la rivière est de 15m³/s. La classe 1 signifie que le débit du jour précédent de la capture est qualifié de très faible (Q capture < Q quantile 20) , la classe 2 où le débit est qualifié de faible (Q quantile 20 < Q capture < Q quantile 40), la classe 3 où le débit est qualifié de moyen (Q quantile 40 < Q capture < Q quantile 60), la classe 4 où le débit est qualifié d'élevé (Q quantile 60 < Q capture < Q quantile 80) et la classe 5 où le débit est qualifié de très élevé (Q quantile 80 < Q capture).

IV.3.6.1. Cas des salmonidés : truite commune et ombre

Les individus adultes de truites communes sont capturés dans une gamme de température très étendue comprise entre 1°C et 21°C et de débit de très faible à très élevé (figure 26). Cependant on constate que les truites communes adultes sont plus stimulées à effectuer des déplacements vers l'amont (donc à utiliser l'échelle à poissons de Lorcé) lorsque la température de l'eau est située entre 7 et 8 °C et que le débit de l'Amblève est qualifié de très élevé. Ces résultats confirment l'utilisation de l'échelle en majorité en période de reproduction lorsque la truite est stimulée par des augmentations de débit et un seuil de température inférieur à 8°C pour débiter leur migration vers l'amont (Ovidio, 1999). Pour les individus juvéniles de truite commune, la gamme de température de l'eau est plutôt comprise entre 5 et 23°C mais avec une préférence pour les températures entre 13 et 17°C et les débits moyens (entre débits faibles et élevés).

L'ombre, capturé dans une gamme de température comprise entre 5 et 12°C et une gamme de débit comprise entre faible et très élevé, montre une stimulation de migration de préférence, pour des températures entre 6 et 10°C et des débits à la fois faibles et élevés voire très élevés. Pour les individus juvéniles les gammes de température et de débit lors des captures montrent qu'à faible température (entre 6 et 11°C), les individus sont capturés à débit élevé et qu'à température plus élevée (entre 14 et 18°C), les individus sont capturés à débit faible.

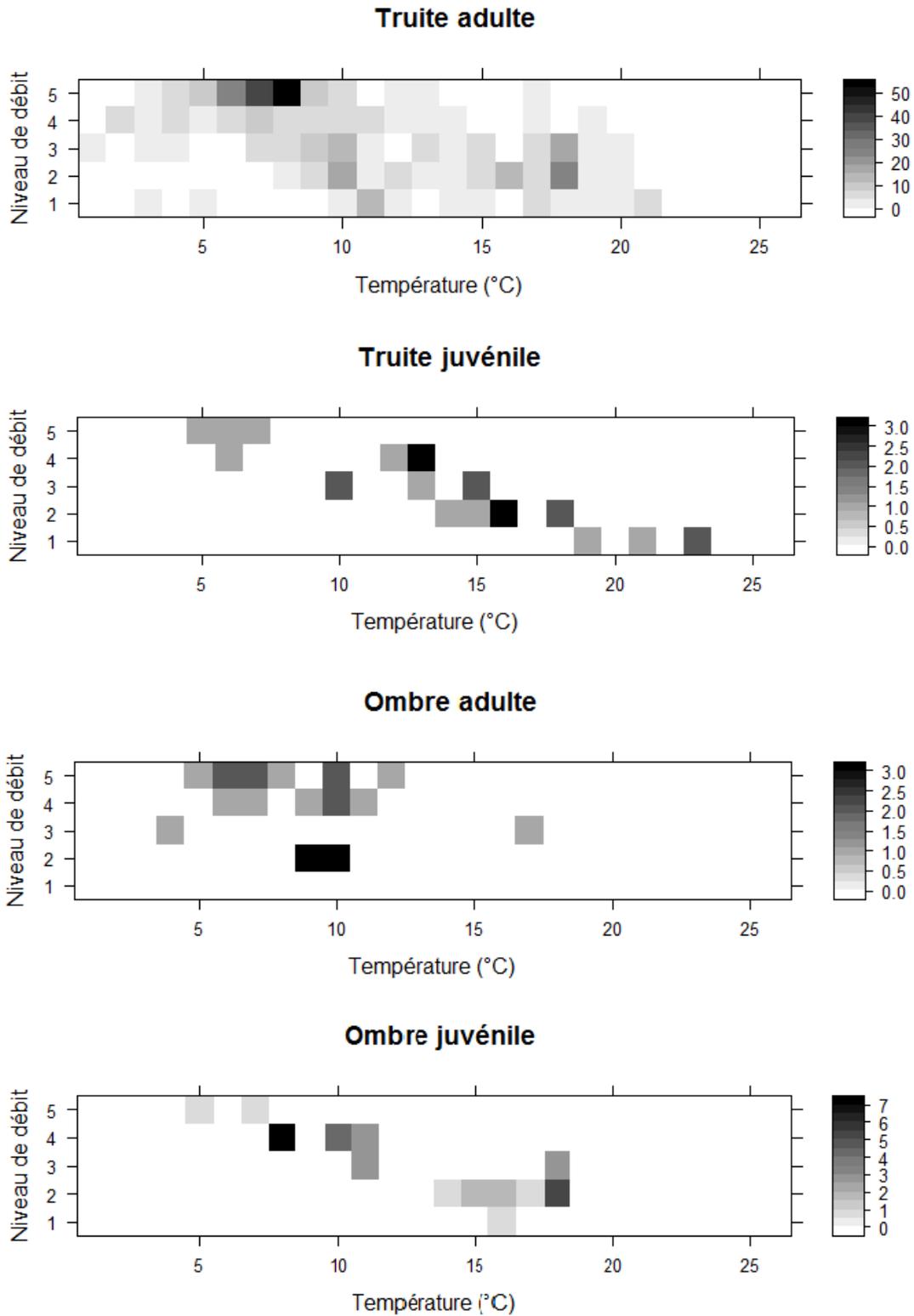


Figure 26 : Représentation graphique (levelplot) de l'influence des températures et des débits sur les taux de captures de salmonidés (truite et ombre) dans l'échelle à poissons de Lorcé.

IV.3.6.2. Cas des grands cyprinidés : Barbeau, chevaine et vandoise

Capturés à des températures comprises entre 7 et 21°C et à des débits très faible à très élevé (figure 27), la gamme de température préférentielle des barbeaux adultes est comprise entre 16 et 19°C lorsque le débit est très faible à faible. Cette observation confirme que les barbeaux en période de migration de reproduction sont stimulés lorsque la température de l'eau est supérieure à 16°C (Baras, 1992). En revanche, les barbeaux ne montrent pas de stimulation particulière par le débit. Le cas des barbeaux juvéniles n'est pas discuté ici car le nombre d'individus capturés est insuffisant.

Le chevaine adulte (figure 27) est capturé dans des gammes de températures comprises entre 7 et 20°C et de débits très faible à très élevé (aucune capture à débit moyen). La gamme de température préférentielle des chevaines est située entre 15 et 20°C et un débit très faible à faible. Pour les immatures, on constate que le maximum de capture s'est produit lorsque la température de l'eau était de 20°C et le débit très faible.

Capturée dans une gamme de température comprise entre 6 et 23°C et un débit très faible à très élevé (figure 27), la vandoise (uniquement les juvéniles) est en majorité capturée lorsque la température de l'eau est compris entre 18 et 20°C et à débit très faible à faible.

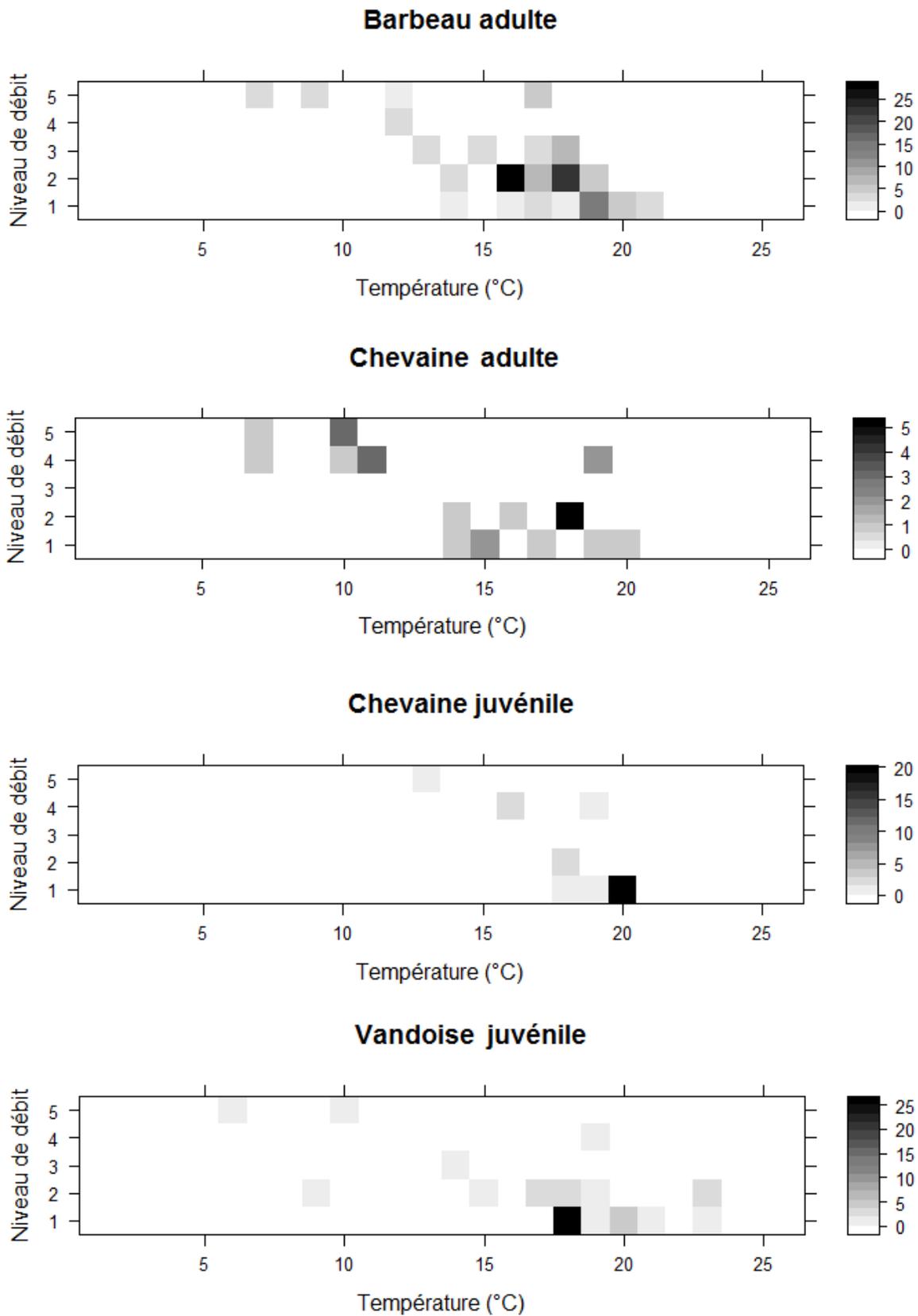


Figure 27 : Représentation graphique (levelplot) de l'influence des températures et des débits sur les taux de captures de cyprinidés (Barbeau, chevaine, vandoise) dans l'échelle à poissons de Lorcé

IV.3.6.3. Cas des petites espèces: Vairon, ablette spirilin et goujon

L'ablette spirilin (figure 28) est capturée dans la gamme de température comprise entre 12 et 23°C et à des débits allant de très faible à fort mais elle est nettement plus stimulée par la gamme de température comprise entre 20 et 23°C et les débits très faibles.

Le vairon montre les mêmes préférences que l'ablette spirilin avec une gamme de température plus stimulante comprise entre 21 et 26°C et des débits très faibles.

Le goujon possède une large gamme de préférence de température (5 à 23°C) et du débit (très faible à très fort) mais possède une préférence pour les températures comprises 15 à 18°C à débit faible.

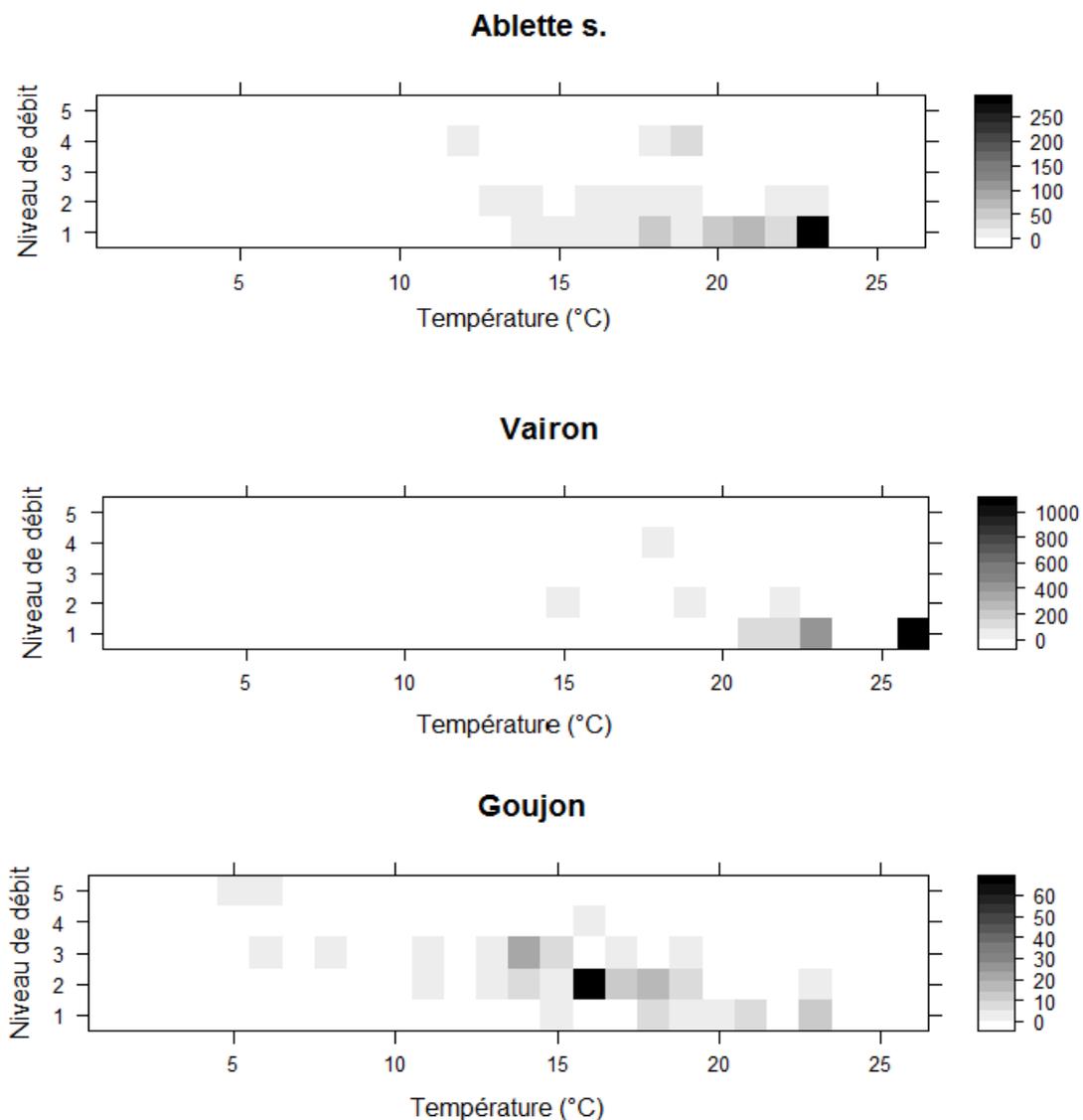


Figure 28 : Représentation graphique (levelplot) de l'influence des températures et des débits sur les taux de captures de petites espèces (Ablette s., vairon, goujon)) dans l'échelle à poissons de Lorcé

IV.4. Discussion

Durant la période de contrôle du piège de capture de l'échelle à poissons de Lorcé (novembre 2010 à juin 2013) dans le cadre de ce projet FEP, **1576 individus** appartenant à **19 espèces** différentes pour une biomasse totale de **127kg** ont été capturés dans le piège de l'échelle à poissons de Lorcé. Ces résultats confirment que le barrage de Lorcé était un frein à la libre circulation des poissons dans ce secteur de l'Amblève et que l'aménagement d'une échelle à poissons multi-espèces sur ce site était fondé. Au total depuis le début du contrôle du piège, en novembre 2007, **3502 individus** appartenant à **23 espèces** différentes pour une biomasse totale de **400 kg** ont été capturés dans le piège. A sa mise en fonction, sur deux mois de temps, 117 truites ont été capturées démontrant que l'échelle a été rapidement exploitée par les salmonidés. L'année 2008 a été riche en capture, avec notamment 131 truites et 62 barbeaux et une biomasse totale des captures de 143 kg. En 2009, on assiste à une forte chute des passages, 70 truites et à peine 6 barbeaux, avec une biomasse totale de seulement 34 kg. 2010 est une année intermédiaire, 85 truites et 30 barbeaux pour une biomasse totale de 70 kg. L'année 2011 est également une année intermédiaire mais moins riche qu'en 2010 avec la capture de 23 barbeaux et 47 truites pour une biomasse totale de 66kg. En revanche, en 2012, le taux de capture est le plus faible jamais enregistré à Lorcé sur une année complète avec uniquement 5 barbeaux, 39 truites et une biomasse totale de 23kg. Ce faible taux de capture en 2012 est observé pour d'autres échelles à poissons en Région Wallonne (exemple : échelle à poissons de Lixhe, en Meuse). L'année 2013 est plus encourageante que 2012 avec une biomasse totale à la mi-année, de 27kg mais avec uniquement 6 barbeaux capturés. Il est possible que les résultats très positifs des premières années de suivi soient le reflet de l'effet immédiat d'ouverture de l'axe migratoire après plus de 70 ans de blocage mais il est probable qu'il s'agisse tout simplement du reflet des fluctuations naturelles du recrutement des populations de poissons dans l'Amblève. Cette diversité interannuelle des captures démontre l'importance des suivis sur le long terme pour bien caractériser les effectifs des individus migrants et mieux comprendre la dynamique de migration des poissons.

Parmi les espèces les plus sensibles, considérées comme prioritaires au plan de la restauration de leurs habitats (Philippart & Ovidio, 2007), la truite et le barbeau sont les plus fortement représentés et constituent à eux seuls plus de 70% de la biomasse des poissons capturés. La

présence de l'ombre et du hotu est encourageante, mais les quantités capturées sont faibles par rapport aux effectifs présents en aval. À peine, n=4 hotus ont été capturés en 7 années de contrôles. N=79 ombres ont été capturés, mais les effectifs restent assez faibles par rapport au potentiel aval. Ces deux espèces qui affectionnent particulièrement les coulées profondes sont peut-être les plus perturbées par le manque d'attractivité du tronçon court-circuité de l'Amblève qui doit impérativement être emprunté par les poissons en migration pour arriver au pied de l'échelle s'ils sont originaires de l'aval de Heid de Goreux. Le chevaine est assez bien représenté, même si les habitats situés en amont de Lorcé sont probablement moins favorables (notamment thermiquement) que ceux qui sont situés dans le cours inférieur de l'Amblève. La présence d'une espèce comme la vandoise qui est assez rarement capturée au stade adulte lors de pêches électriques dans cette partie de l'Amblève est un signe positif qui signifie qu'il subsiste encore dans ce cours d'eau des géniteurs qui ont un comportement migratoire marqué.

Chez les espèces de petite taille, c'est principalement le goujon, l'ablette spiralin et le vairon qui ont été capturés. En comparaison avec les autres échelles à poissons des cours d'eau non-navigables, on peut juste souligner la présence assez exceptionnelle, mais en très faible quantité, du chabot et de la loche franche. Ces espèces n'avaient été capturées que très rarement dans des échelles à poissons ailleurs en Wallonie. A titre expérimental, le substrat de fond placé dans les bassins n'a pas été fixé. Après quelques semaines de fonctionnement, en automne 2008, une bonne partie du substrat a été mobilisée, surtout au niveau des échancrures entre les bassins. Cette alternance de zones avec et sans substrat a certainement provoqué une perte d'efficacité de l'échelle pour la remontée des petites espèces benthiques. Il serait intéressant de résoudre ce problème à l'avenir (exemple : fixation du substrat sur le fond). On peut supposer aussi que ces poissons ne sont pas systématiquement retenus par les grilles du piège. Quelques tacons de saumons atlantiques réintroduits ont également été capturés, ce qui confirme leur potentiel à se déplacer occasionnellement sur de longues distances à ce stade de leur développement (Ovidio et al., 2007). Enfin signalons la présence étonnante de trois cyprinidés d'eau lente, la carpe commune, la brème commune et la brème bordelière probablement échappés de lacs artificiels (lacs de Robertville et Bütgenbach sur la Warche, lac des Doyards sur la Salm) ou d'étangs divers (agrément, pisciculture) qui bénéficient ou ont bénéficié de repeuplements avec d'autres espèces. Qualitativement, cette diversité d'espèces capturées, comprenant des salmonidés, des thymallidés, des cyprinidés (rhéophiles, ubiquistes, et d'eau lente) aussi bien des individus

adultes que des juvéniles et des petites espèces pélagiques ou benthiques, confirme le caractère « multi-espèces » de l'échelle à poissons de Lorcé.

Depuis le début du contrôle de l'échelle à poissons de Lorcé en novembre 2007, aucune analyse poussée des périodicités de capture n'a été réalisée, ni l'évaluation de l'influence des conditions environnementales de l'Amblève sur l'utilisation de l'échelle à poissons. L'analyse par espèce a pu mettre en évidence les déterminants environnementaux qui influencent les patrons de migration vers l'amont et l'origine fonctionnelle de ces mouvements (reproduction ou trophique). Certaines espèces de poissons comme le barbeau, l'ombre, le goujon ou encore l'ablette spirilin utilisent l'échelle principalement en période de migration de reproduction, d'autres comme le vairon et de nouveau l'ablette spirilin l'utilisent en période de post-reproduction durant l'été. Enfin, la truite commune utilise l'échelle à poissons durant toute l'année avec une préférence en automne durant sa période de migration de reproduction. Grâce à l'étude de la périodicité de capture dans l'échelle, on constate que les individus adultes d'une même espèce empruntent parfois l'échelle à poissons à des périodes différentes des individus juvéniles avec, comme exemple assez marqué, le chevaine (les adultes entre la 14^e et la 23^e semaine de l'année et les juvéniles entre la 25^e et la 35^e semaine). La périodicité de capture pour une espèce n'est pas l'unique résultat de la variation de la photopériode. De précédentes études en Wallonie ont démontré l'influence de la température et du débit dans le déclenchement de migration (Baras, 1992 ; Ovidio, 1999 ; Lucas & Baras, 2001 ; Ovidio et al., 2009). Nous avons donc établi des gammes préférentielles de température et de débit stimulant un phénomène de migration (ou de déplacement) par espèce capturée dans l'échelle. On observe que les salmonidés (truite et ombre) sont stimulés par les températures comprises entre 7 et 10°C lorsque le débit peut être qualifié de fort à très fort (>17m³/s). Les juvéniles de ces deux espèces présentent des profils différents aux individus adultes, avec une stimulation par une gamme de température entre 13 et 17°C et des débits moyens. Les cyprinidés (barbeau, chevaine, vandoise, goujon) ont plutôt tendance à être stimulés par des températures comprises entre 15 et 20°C (gamme de température stimulant la migration de reproduction de nombreux cyprinidés) lorsque le débit est généralement faible (pas de stimulation évidente du débit). Enfin les petites espèces comme le vairon et l'ablette spirilin montre une stimulation de migration lorsque la température de l'eau est supérieure à 20°C et que le débit est très faible. Il serait intéressant de poursuivre le contrôle du piège de capture dans les années à venir afin d'établir avec certitude

les timings d'utilisation de l'échelle à poissons de Lorcé et le rôle des facteurs environnementaux dans l'optique d'améliorer la gestion de sites hydroélectriques en fonction des comportements migratoires des poissons. L'installation d'un piège de capture à la sortie de l'exutoire du barrage de Lorcé permettra de réaliser les mêmes analyses de périodicité de migration mais en dévalaison. Le barrage de Lorcé représentera ainsi un site unique en Belgique d'étude de flux migratoires dans le sens de la montaison et dans le sens de la dévalaison pour un même site.

V. CARACTERISATION DES PATRONS DE MIGRATION DE POISSONS RADIO-PISTES DANS L'AXE LORCE-COO ET ANALYSE FINE DE COMPORTEMENT DE POISSONS BLOQUES AU PIED DE LA CASCADE DE COO.

V.1. Introduction

Cette action consiste à caractériser par radio-pistage sur un tronçon perturbé de l'Amblève, les patrons de migrations de plusieurs espèces de poissons (truite commune, barbeau et hotu) qui font partie des espèces considérées comme prioritaires par les scientifiques et les gestionnaires en rapport avec le rétablissement de la libre circulation piscicole (Philippart et Ovidio, 2007). Ce tronçon d'étude est l'axe Lorcé-Coo (figure 1), long de 17 km, et est situé entre le barrage de prise d'eau de Lorcé et la cascade de Coo, deux sites hydroélectriques de l'Amblève.

Le premier objectif de cette action est de contribuer à l'amélioration des connaissances sur les phénomènes de mobilité et de migration de ces espèces, sur cet axe historiquement fragmenté, plus particulièrement durant la période circum-reproduction, lorsque les poissons doivent impérativement trouver des sites de reproductions malgré la présence de la cascade de Coo. Il s'agit notamment de vérifier que les espèces visées ont encore une impulsion migratrice, malgré la présence des ouvrages hydroélectriques qui ont fortement perturbé leurs mouvements au cours de ces dernières décennies.

Le second objectif est d'analyser le comportement de recherche de voies de passage par des poissons confrontés à la cascade de Coo. En effet, dans le cadre du rétablissement de la libre circulation dans l'axe Meuse-Ourthe-Amblève, cette caractérisation comportementale est essentielle pour mieux concevoir le futur dispositif de contournement de la cascade de Coo, et optimiser son emplacement pour le rendre le plus attractif. Notons que pour répondre à ces objectifs, nous avons également transloqué des poissons de la basse Amblève vers le site de la cascade de Coo pour les placer dans un contexte exploratoire et tenter de les forcer à s'approcher de la cascade. Les travaux de cette 2^{ème} action se situent dans la continuité de suivis déjà réalisés dans le passé et notamment les suivis de migrations de poissons capturés sur le site de l'échelle à poissons de Lorcé et qui avaient démontré l'effet bénéfique de la réouverture de l'axe migratoire (Ovidio et al., 2012).

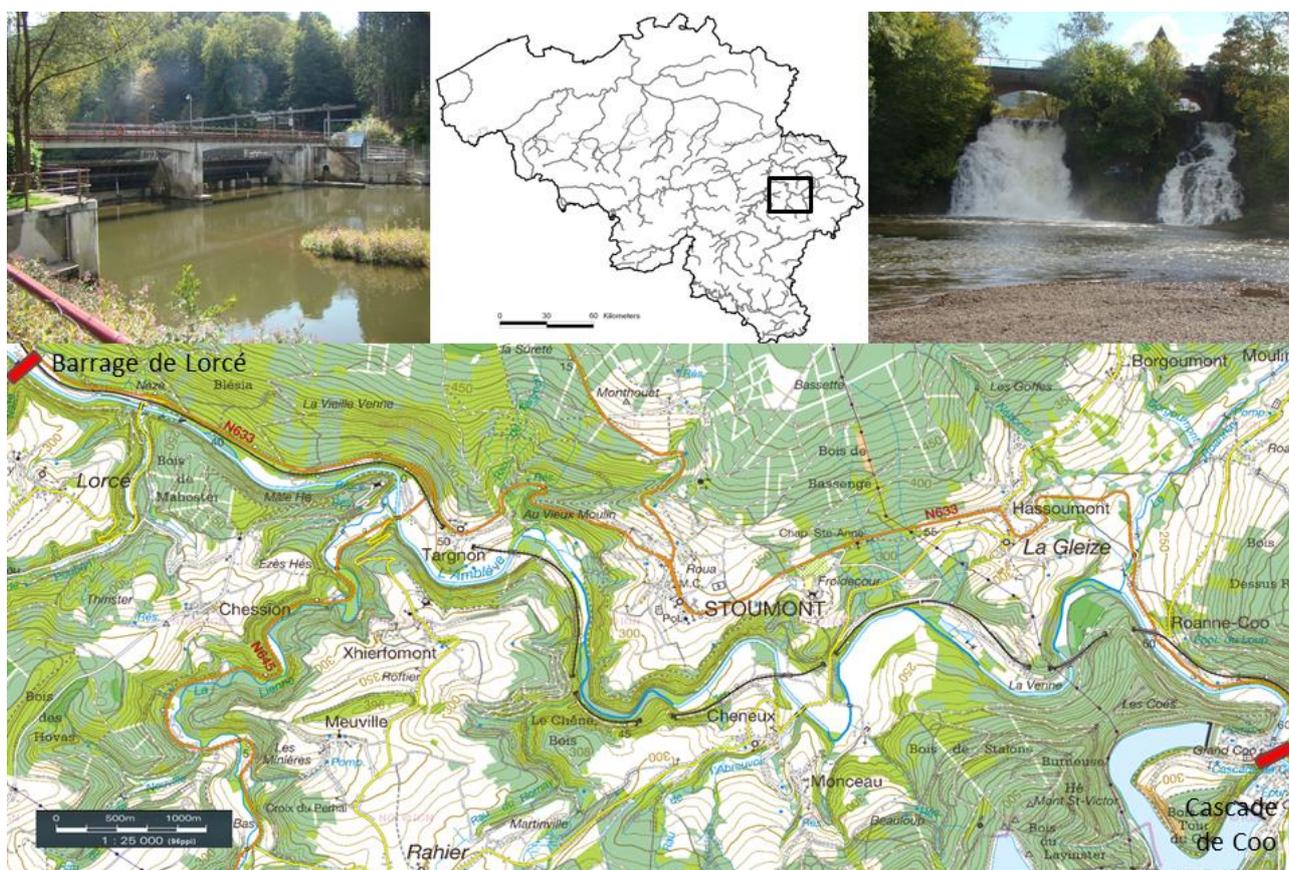


Figure 1 : Situation géographique et tracé du secteur d'étude de 17km situé entre le barrage de Lorcé (à gauche) et la cascade de de Coo (à droite)

V.2. Méthodologie

V.2.1. Espèces radio-pistées

L'étude a porté sur l'analyse des patrons de mobilité de 19 poissons rhéophiles appartenant à 3 espèces différentes : 5 truites communes (figure 2) capturées fin 2010 et suivies jusqu'au printemps 2011, 6 barbeaux (figure 3) capturés début 2011 et suivis jusqu'à l'été 2012 et 8 hotus (figure 4) capturés début 2011 et suivis jusqu'à l'été 2012.



Figure 2 : truite commune capturée et marquée le 19 octobre 2010



Figure 3 : barbeau capturé et marqué le 30 mars 2011



Figure 4 : hotu capturé et marqué le 23 février 2011

Ces trois espèces de poissons représentent de bons modèles biologiques dans le cadre de cette action car elles possèdent de bonnes capacités de nage et peuvent réaliser des migrations de reproduction potentiellement importantes (Ovidio & Philippart, 2002 et 2008). Leurs périodes de reproduction sont décalées dans le temps, ce qui autorise un suivi plus intensif sur les individus d'une seule espèce à la fois. La période de reproduction de la truite commune se déroule en automne lorsque la température de l'eau passe sous les 8°C. Celle du barbeau se déroule au printemps entre mi-mai et début juin lorsque l'eau atteint les 15°C et celle du hotu se déroule plutôt vers le début du printemps entre mars et avril lorsque l'eau atteint les 10°C.

V.2.2. Captures, marquages et suivis téléométriques

V.2.2.1 Captures et lieu de déversement des poissons radio-pistés

Les quatre premières truites ont été capturées lors d'une pêche électrique effectuée le 19/10/2010 en aval de la cascade de Coo (figure 5, tableau 1) et ont été relâchées au même endroit, à la même date. Une cinquième truite commune a été capturée le 29/11/2010 dans l'échelle à poisson du barrage de Lorcé. Elle a été relâchée le 30/11/2010 (figure 5, tableau 1) au niveau du pont de Naze (déplacement forcé de 1120m en amont). Quatre barbeaux ont été attrapés le 10/03/2011 à Heid de Goreux (figure 5, tableau 1) et relâchés, à la même date, à 1179m en aval de la cascade de Coo (déplacement forcé d'environ 25km vers l'amont). Deux autres barbeaux fluviaux ont été attrapés et relâchés le 30/03/2011 en aval de la cascade de Coo. Les 8 hotus ont été capturés lors de 2 sessions de pêche, le 23 février 2011 au pied du barrage de Belle-Roche à Comblain-au-Pont (n=6) et le 10 mars 2011 dans la zone de rejet de la centrale hydroélectrique de Heid de Goreux (n=2) et relâchés, respectivement aux mêmes dates de capture, à 1179m en aval de la cascade de Coo. Cette translocation permet d'étudier les patrons de mobilité de poissons qui n'ont pas été confrontés à la cascade de Coo au cours de leur vie, et donc d'augmenter les chances d'observer des essais de recherches de voies de passage. Plus particulièrement pour les hotus, cette translocation permet également d'étudier le comportement d'une espèce qui n'était plus naturellement présente dans l'axe Lorcé-Coo avant sa réouverture en 2007 via l'échelle à poissons de Lorcé.

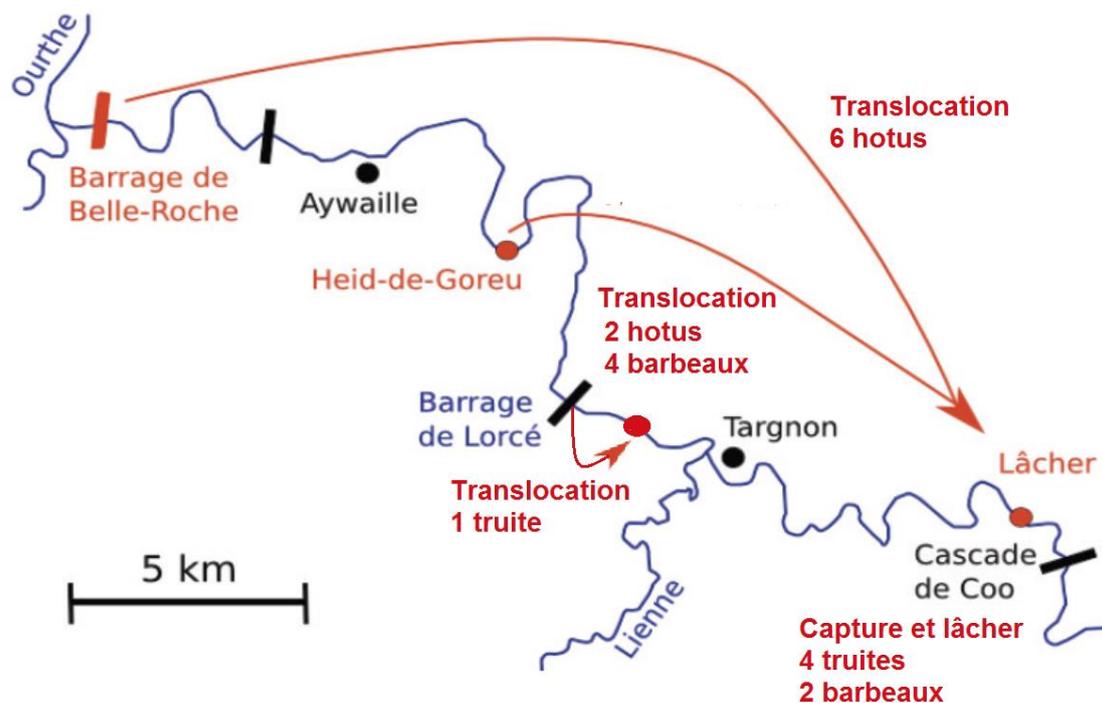


Figure 5 : Lieux de capture et de déversement des poissons radio-pistés sur l'Amblève. Six hotus capturés au barrage de Belle-Roche et deux hotus capturés à Heid de Goreux ont été marqués et transloqués jusqu'à 1km en aval de la cascade de Coo. Pour les barbeaux marqués, quatre provenaient de Heid de Goreux et deux, juste en aval de la cascade de Coo. Les truites ont été capturées et relâchées en aval de la cascade de Coo sauf une, capturée dans l'échelle à poisson de Lorcé et relâchée à 1km en amont du barrage de Lorcé

V.2.2.2. Marquage

Les truites ont été marquées avec un émetteur radio interne muni d'une antenne externe d'un poids de 6g (ATS®) (figure 6). Quant aux barbeaux et hotus, ils ont été marqués avec un émetteur d'un poids de 14g (ATS®) (figure 6). Le poids de l'émetteur doit idéalement représenter 2-3% du poids du poisson afin de ne pas influencer le comportement du poisson (Winter, 1983; Jepsen et al., 2002). Cette règle a bien été respectée pour tous les individus marqués avec un radio émetteur durant ces suivis comportementaux. Les émetteurs de 6g ont une durée de vie théorique de 56 jours alors que ceux de 14g ont une durée de vie théorique de 502 jours. Les émetteurs sont munis d'une étiquette comprenant le numéro de série, la date d'achat, la fréquence d'émission ainsi que le numéro de téléphone de la personne responsable.

L'insertion de l'émetteur est exécutée par voie chirurgicale (figure 7) selon la méthode proposée par Ovidio (1999) pour la truite commune et par Baras (1992) pour le barbeau fluviatile et Ovidio & Philippart (2008) pour le hotu. Les poissons sont placés sur le dos dans un bac opératoire, la

tête baignant dans une solution anesthésiante (2-phénoxyéthanol à 0,2ml/l). Une incision de 2-3 cm est effectuée en arrière des nageoires pelviennes et l'émetteur est inséré dans la cavité intrapéritonéale. L'antenne est ressortie latéralement par rapport à l'incision. La zone d'incision est ensuite désinfectée et le poisson est placé dans un bac de réveil afin de retrouver une activité normale (+/- 20 minutes) avant d'être relâché (selon la méthodologie utilisée dans Ovidio et Philippart, 2008). Le sexe de chaque individu a pu être déterminé par observation des gonades lors de l'incision. Tous les individus marqués ont été mesurés, pesés, sexés et marqués sur le lieu de capture (tableau 1).



Figure 6 : Emetteur radio de 6g utilisé pour les truites communes (à gauche) et émetteur radio de 14g utilisé pour les barbeaux et hotus (à droite)



Figure 7 : Insertion de l'émetteur radio par incision chirurgicale, dans cet exemple, insertion d'un émetteur de 14g dans un barbeau à la cascade de Coo

Tableau 1 : Caractéristiques des poissons radio-pistés avec l'espèce, la taille (lf), le poids du poisson, le poids de l'émetteur utilisé, le tag ratio, le sexe, les dates et les lieux de capture et de relâché.

Espèce	Taille à la fourche (mm)	Poids (g)	Poids émetteur (g)	Tag ratio (%)	Sexe	Date et lieu de capture	Date et lieu de relâché
Truite 1	304	280	6	2,14	-	19/10/2010 Chenal de fuite à Coo	19/10/2010 Chenal de fuite à Coo
Truite 2	323	347	6	1,73	-	19/10/2010 Aval cascade de Coo	19/10/2010 Aval cascade de Coo
Truite 3	323	356	6	1,68	M	19/10/2010 Aval cascade de Coo	19/10/2010 Aval cascade de Coo
Truite 4	324	390	6	1,54	M	19/10/2010 Aval cascade de Coo	19/10/2010 Aval cascade de Coo
Truite 5	278	225	6	2,67	M	29/11/2010 Passe à poisson Lorcé	30/11/2010 Pont de Naze (1029m amont Lorcé)
Barbeau 1	555	2360	14	0,59	F	10/03/2011 Heid de Goreux	10/03/2011 1179m aval Cascade de Coo
Barbeau 2	524	2151	14	0,65	F	10/03/2011 Heid de Goreux	10/03/2011 1179m aval Cascade de Coo
Barbeau 3	544	2128	14	0,66	F	10/03/2011 Heid de Goreux	10/03/2011 1179m aval Cascade de Coo
Barbeau 4	482	1464	14	0,96	M	10/03/2011 Heid de Goreux	10/03/2011 1179m aval Cascade de Coo
Barbeau 5	488	1672	14	0,84	F	30/03/2011 Aval cascade de Coo	30/03/2011 Aval cascade de Coo
Barbeau 6	475	1452	14	0,96	F	30/03/2011 Aval cascade de Coo	30/03/2011 Aval cascade de Coo
Hotu 1	490	2002	14	0,69	F	23/02/2011 Barrage Belle-Roche	23/02/2011 1179m aval cascade de Coo
Hotu 2	465	1786	14	0,78	F	23/02/2011 Barrage Belle-Roche	23/02/2011 1179m aval cascade de Coo
Hotu 3	462	1561	14	0,89	F	23/02/2011 Barrage Belle-Roche	23/02/2011 1179m aval cascade de Coo
Hotu 4	475	1625	14	0,86	F	23/02/2011 Barrage Belle-Roche	23/02/2011 1179m aval cascade de Coo
Hotu 5	484	1625	14	0,86	F	23/02/2011 Barrage Belle-Roche	23/02/2011 1179m aval cascade de Coo
Hotu 6	509	1885	14	0,74	F	23/02/2011 Barrage Belle-Roche	23/02/2011 1179m aval cascade de Coo
Hotu 7	456	1546	14	0,9	M	10/03/2011 Heid de Goreux	10/03/2011 1179m aval Cascade de Coo
Hotu 8	476	1621	14	0,86	M	10/03/2011 Heid de Goreux	10/03/2011 1179m aval Cascade de Coo

V.2.2.3. Suivis télémétriques

Chaque émetteur émet une fréquence particulière, qui identifie chaque poisson individuellement, via un signal pulsé sous la forme d'ondes électromagnétiques. L'impulsion est amplifiée par un récepteur et le signal est rendu perceptible pour l'oreille humaine sous la forme de bips sonores. Sur le terrain, l'observateur est donc équipé d'un récepteur radio mobile relié à une antenne. Deux types d'antennes sont successivement utilisés :

- Une antenne de type «fouet» (figure 8), placée sur le toit d'un véhicule. Ce type d'antenne permet de localiser le poisson à distance, depuis la route. Elle ne permet cependant pas de définir une direction précise.
- Une antenne «directionnelle» (figure 8), manipulée par un opérateur à pied. Une fois que l'opérateur s'est approché au maximum du cours d'eau, ce type d'antenne permet de préciser la localisation du poisson par biangulation.

La perception et la qualité du signal varient selon la distance à la rivière et selon le relief. Dans certaines zones très accidentées, la localisation à distance en voiture est impossible et doit se faire uniquement à pied, avec une antenne directionnelle, sur des distances atteignant souvent plusieurs kilomètres.



Figure 8 : Antennes de détection des émetteurs radio, à gauche une antenne de toit et à droite une antenne directionnelle

La localisation des poissons est faite à partir d'un point zéro qui correspond au pied de la Cascade de Coo. Les localisations sont ensuite traitées avec le programme Google Earth. Ce programme répertorie des photos satellites géo-référencées où la résolution est suffisante pour nous permettre de distinguer des points de repères du paysage très précis, tels que des arbres, des poteaux ou des rochers aux abords et dans la rivière pris sur le terrain lors des sessions de radio-pistage. Une fois les repères identifiés, la position du poisson est déterminée par des coordonnées géographiques (en degrés décimaux) puis la distance avec la localisation précédente est calculée. Cette analyse nous permet de calculer ensuite :

- Le **déplacement** qui correspond à la distance séparant 2 localisations successives.
- Le **domaine vital longitudinal** qui correspond à la distance séparant la localisation la plus en amont et la plus en aval au cours d'un certain temps. Le domaine vital peut-être journalier, mensuel, saisonnier ou pour une autre période de temps.
- Un **habitat** qui correspond à un ensemble des éléments du biotope dont une espèce se sert pour satisfaire ses besoins (Blondel, 1979). La caractérisation des habitats a été réalisée sur base de la clé de détermination des **faciès d'écoulement** de Malavoi et Souchon (Malavoi et Souchon, 2002).

V.2.3. Données environnementales

La température de l'eau (températures journalières maximales, minimales et moyennes) a été enregistrée en continu par des enregistreurs de température installés à Lorcé et à Coo par le LDPH-ULg. Le débit de l'Amblève a été enregistré par un limnigraphe du SETHY (SPW), installé à Targnon en amont de la confluence avec la Lienne. Les données ont été récoltées à un rythme d'une mesure toutes les 1h.

V.3. Résultats

V.3.1. Conditions environnementales pendant la durée du radio-pistage

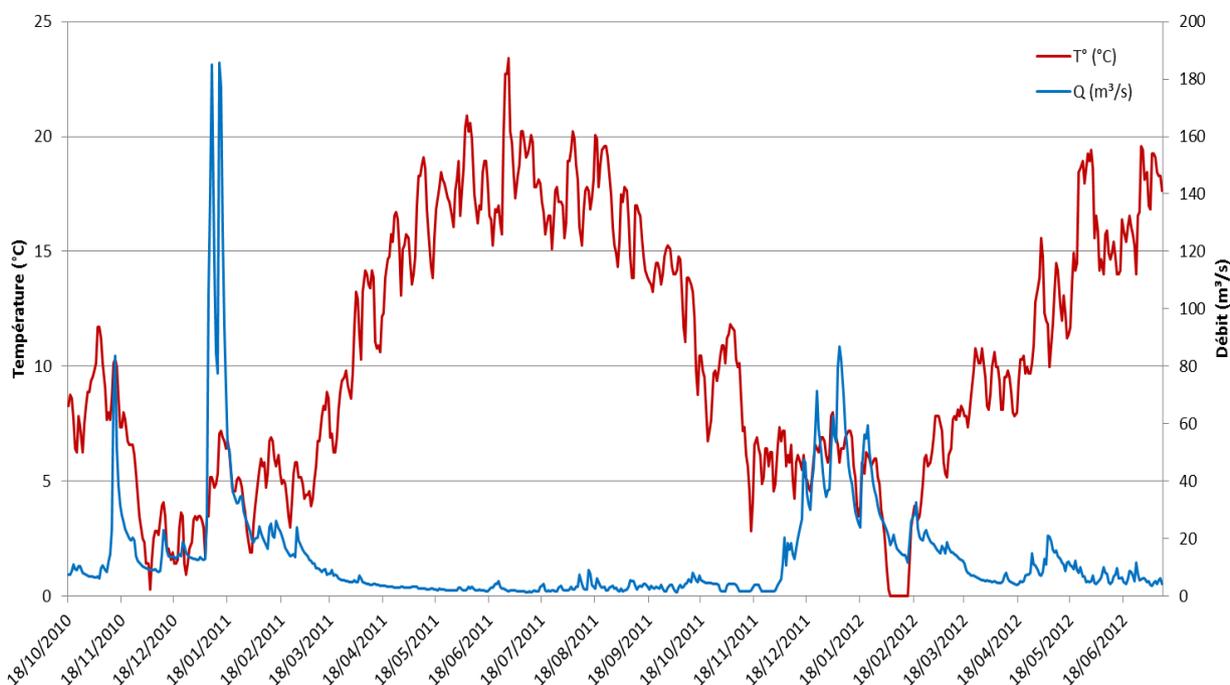


Figure 9 : Enregistrements des températures à Lorcé (données Ulg-LDPH) et des débits à Targnon (données SETHY) pendant la durée des suivis d'épèces radio-pistées sur l'Ambième du 18 octobre 2010 au 2 juillet 2012

V.3.2. Suivis des truites communes

Pour les truites 1, 2 et 5, marquées et relâchées le même jour, la durée des suivis est homogène avec respectivement des durées de vie d'émetteur de 78, 78 et 92 jours (tableau 2). Au contraire pour les truites 3 et 4, le faible nombre de localisations peut être dû à un phénomène de prédation ou à un disfonctionnement de l'émetteur car ces poissons ont été recherchés à plusieurs reprises jusqu'à l'embouchure avec l'Ourthe sans aucun succès.

Tableau 2 : Résultats globaux du suivi des truites communes avec la date de la première localisation (qui correspond à la date de la remise à l'eau) et de la dernière localisation, le nombre total de localisation, le déplacement total effectué par chaque individu et le domaine vital

Individus	Date de la première localisation	Date de la dernière localisation	Nombre de localisation	Déplacement total effectué (m)	Domaine vital (m)
Truite 1	19/10/2010	5/01/2011	24	8860	8020
Truite 2	19/10/2010	5/01/2011	26	37620	35500
Truite 3	19/10/2010	8/11/2010	10	1330	1300
Truite 4	19/10/2010	22/10/2010	2	0	0
Truite 5	30/11/2010	30/03/2011	27	1620	1085

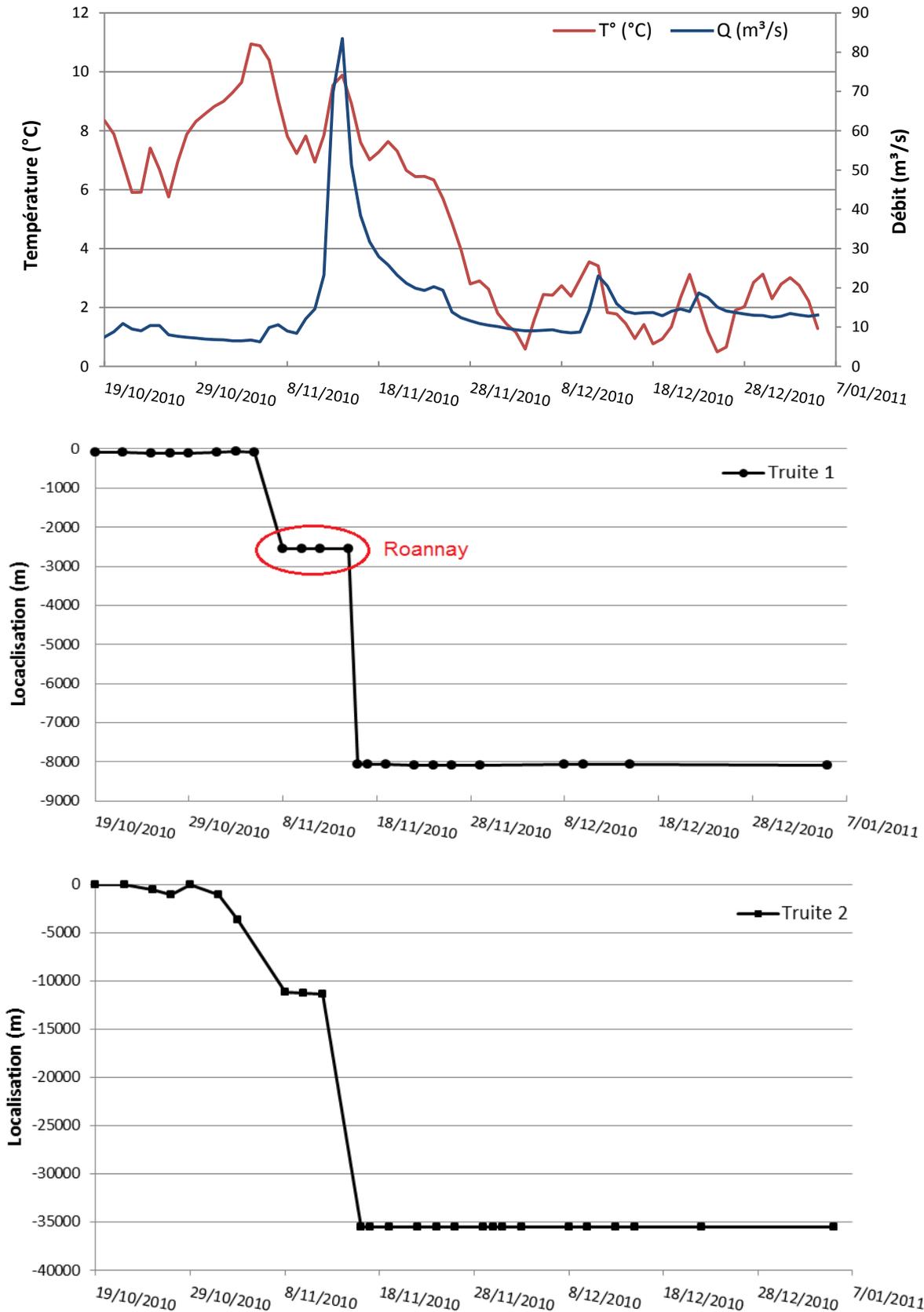


Figure 10 : Représentations graphiques des déplacements réalisés par les truites 1 et 2 pour la période du 19 octobre 2010 au 7 janvier 2011 par rapport à la cascade de Coo (point 0 m) ainsi que les données de températures (à Coo, en rouge) et de débits (à Targnon, en bleu) de l'Ambième pour cette période

La **truite n°1** (figure 10) est restée stable les 17 premiers jours après son marquage (du 19/10/2010 au 05/11/2010). Durant cette période, elle était située dans le chenal de restitution de la CHE de Coo-dérivation où elle a effectué de petits mouvements ne dépassant pas 40m. Elle a ensuite accompli un déplacement de 2500m vers l'aval et a quitté l'Amblève pour remonter un de ses affluents (le Roannay) sur une distance de 220m (08/11/2010). Ce premier déplacement s'est réalisé à la faveur d'une diminution de la température de presque 3°C (de 11°C à 8°C) et d'une augmentation du débit de 4m³/s (de 6m³/s à 10m³/s). Elle a ensuite quitté le Roannay (15/11/2010) pour rejoindre l'Amblève et a entamé une descente de 5700m (16/11/2010). Ce second déplacement s'est réalisé à la faveur d'un pic de débit (jusqu'à 85m³/s). Ensuite, elle est restée stable (au niveau de Chêne, 8000m en aval de la cascade) mais a néanmoins effectué des mouvements de faibles amplitudes ne dépassant pas 70m. La date de sa dernière localisation est le 05/01/2011, elle était située à 8050m de son site de lâcher dans l'Amblève.

La **truite n°2** (figure 10) a d'abord effectué un déplacement à partir de la cascade de Coo vers l'aval de 550m (25/10/2010) et deux jours plus tard, elle poursuit son déplacement vers l'aval pendant 500m (27/10/2010). Le 29/10/2010, elle est remontée jusqu'à son site de capture (site de la Cascade de Coo) et est redescendue le 01/11/2010 pour rejoindre la zone précédemment occupée. Entre le 01/11/2010 et le 08/11/2010, elle a continué son mouvement vers l'aval de 10km pour se stabiliser au niveau du village de Targnon, côté amont (11km en aval de la cascade de Coo). Elle s'est stabilisée dans ce secteur jusqu'au 12/11/2010 en effectuant néanmoins un déplacement vers l'aval de 200m. A la faveur d'un pic de débit (de 10 à 80m³/s), elle a réalisé un déplacement d'un peu moins de 25km vers l'aval (16/11/2010) en passant par les vannes mobiles du barrage de Lorcé. Elle se stabilise alors dans un secteur situé à Halleux à 35500m du site de déversement (la cascade de Coo) où les deux localisations les plus éloignées et enregistrées dans cette zone, sont séparées de 60m. La date de sa dernière localisation est le 05/01/2011

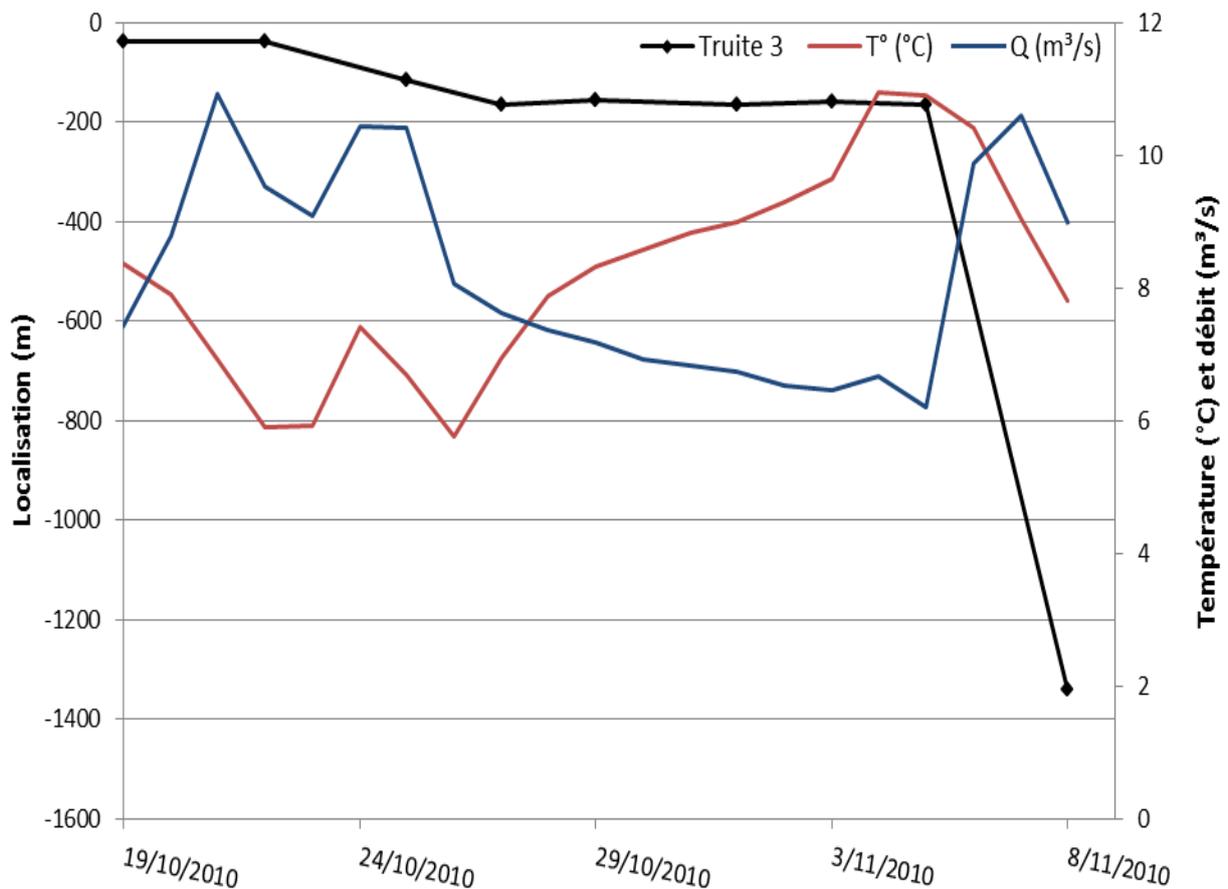


Figure 11 : Représentations graphiques des déplacements réalisés par la truite 3 pour la période du 19 octobre 2010 au 8 novembre 2010 par rapport à la cascade de Coo (point 0 m) ainsi que les données de températures (à Coo, en rouge) et de débits (à Targnon, en bleu) de l’Amlève pour cette période

La **truite n°3** (figure 11) a d’abord réalisé un déplacement à partir du site de la cascade de Coo vers l’aval de 100m (25/10/2010). Elle a ensuite poursuivi sa descente sur 50m (27/10/2010) et s’est stabilisée dans ce secteur (au niveau de la passerelle de Plopsa-Coo) jusqu’au 05/11/2010. Elle effectue un mouvement vers l’aval de 1150m suite à une augmentation du débit (de 6 à 11 m³/s) le 5/11/2010. Son signal est alors perdu après le 8 novembre 2010.

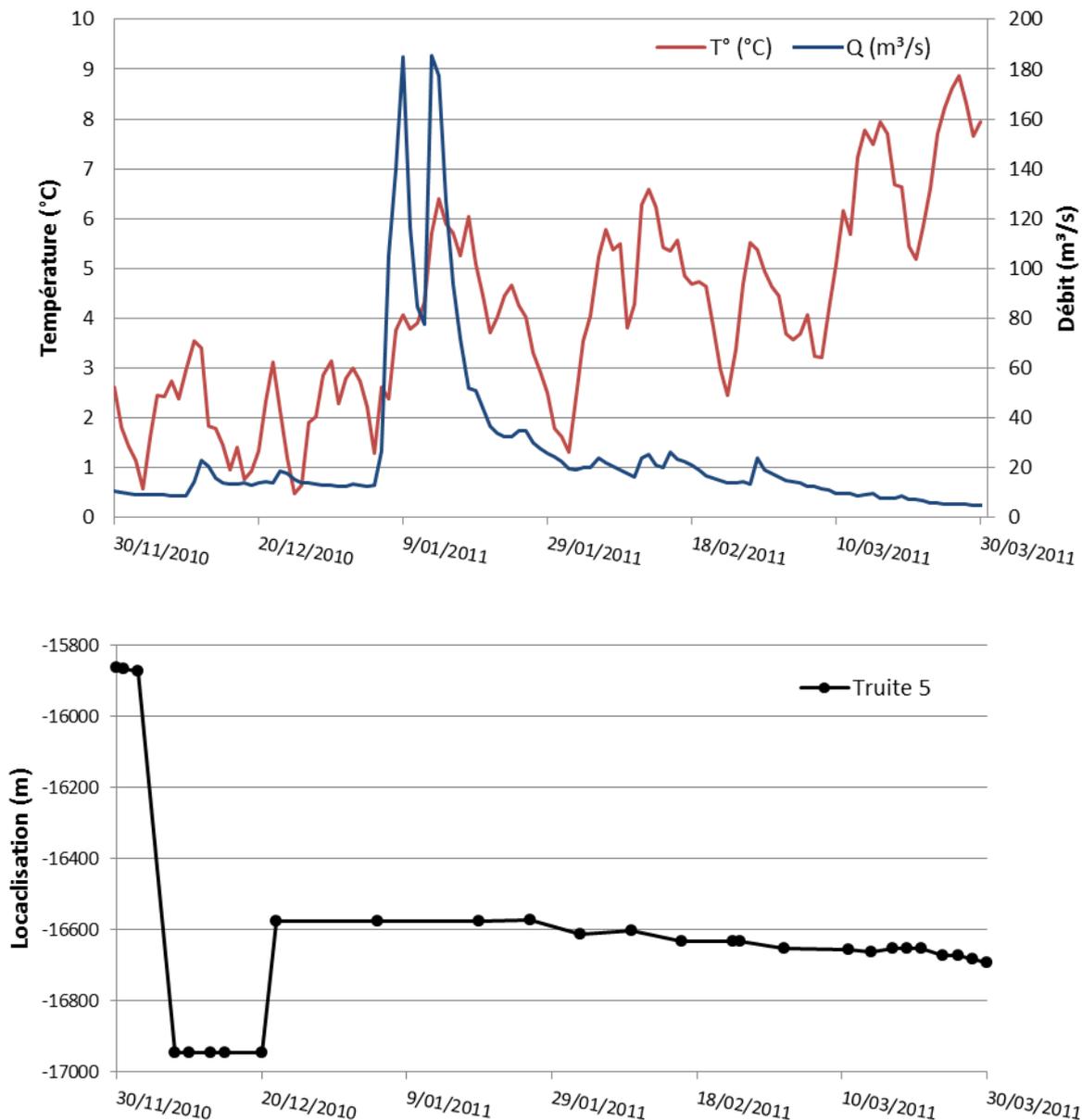


Figure 12 : Représentations graphiques des déplacements réalisés par la truite 5 pour la période du 30 novembre 2010 au 30 mars 2011 par rapport à la cascade de Coo (point 0 m) ainsi que les données de températures (à Coo, en rouge) et de débits (à Targnon, en bleu) de l’Amlève pour cette période

La **truite n°5** (figure 12), truite capturée dans l’échelle à poisson du barrage de Lorcé et déversé un peu plus de 1km en amont de ce barrage, est restée stable du 30/11/2010 au 03/12/2010 (site du pont de Naze). Elle réalise ensuite un déplacement de 1100m vers l’aval (08/12/2010) et se stabilise alors dans ce secteur (plan d’eau amont du barrage de Lorcé ; 200m en amont). Le 20/12/2012, elle réalise un déplacement d’un peu plus de 300m vers l’amont où elle effectue des petits déplacements de 5 à 20 m, jusqu’au 30/03/2011, date de sa dernière détection.

En résumé, d'un individu à l'autre, on observe que les déplacements totaux des truites communes sont très variables allant (tableau 2) d'un kilomètre à plusieurs dizaines de kilomètres. En revanche, la différence entre la distance totale parcourue et le domaine vital est faible. Les truites ont donc effectué peu de déplacements après avoir réalisé un long déplacement. Ce constat signifie qu'elles se sont montrées peu mobiles entre de longs déplacements. Les domaines vitaux calculés sont très variable entre les individus avec un domaine vital minimum de 1085m et maximum de 35500m. Aucun mouvement n'a été constaté pour les 5 individus entre la première et la seconde localisation réalisée de un (truite 5) à trois jours plus tard (truite 1-2-3-4). Ceci peut être dû à la nécessité d'un temps de récupération suite à l'implantation de l'émetteur. Les différents individus montrent ensuite des patrons de mobilité d'amplitudes variables, analysés en relation avec les données environnementales (figures 10, 11 et 12) à l'exception de ceux de la truite 4, dû au manque de données récoltées pour celle-ci (seulement deux localisations).

V.3.3. Suivis des barbeaux

Quatre barbeaux ont été marqués le 11 mars 2011 et 2 autres barbeaux l'ont été le 30 mars 2011 (tableau 3). Dans l'ensemble, la durée de vie des émetteurs radios est la même avec près d'un an de suivi voir plus, mis à part pour le barbeau 1. L'émetteur du barbeau 1 a été retrouvé le 14 juillet 2011 à 1,1km de l'Amblève près d'un étang artificiel signe que le barbeau a dû être pêché et l'émetteur jeté.

Tableau 3 : Résultats globaux du suivi des barbeaux avec la date de la première (qui correspond à la date de la remise à l'eau) et dernière localisation, le nombre total de localisation, le déplacement total effectué par chaque individu et le domaine vital

Individus	Date de la première localisation	Date de la dernière localisation	Nombre de localisation	Déplacement total effectué (m)	Domaine vital (m)
Barbeau 1	11/03/2011	4/07/2011	53	12491	1653
Barbeau 2	11/03/2011	1/03/2012	115	38407	5593
Barbeau 3	11/03/2011	18/06/2012	142	32662	6488
Barbeau 4	11/03/2011	21/05/2012	135	29029	5122
Barbeau 5	30/03/2011	21/06/2012	131	7780	1255
Barbeau 6	30/03/2011	2/07/2012	133	1592	98

Capturé à Heid de Goreux et transloqué à 1179m en aval de la cascade le 10 mars 2011, le **barbeau 1** (figure 13) a été localisé le lendemain de sa capture à 616m de la cascade. Entre le 11 mars et le 5 avril 2011, il se maintient dans une zone située entre 600 et 1200m en aval de la cascade. Le 8 avril 2011, il est localisé proche de la cascade (47m en aval) après un mouvement vers l'amont de 600m. Cette approche de la cascade s'est produite à la faveur d'une augmentation de la température de près de 4°C (maximum durant la journée = 14°C). Après cette première approche de la cascade, le barbeau 1 a entamé un déplacement vers l'aval de 1210m, proche de son site de déversement. Le 6 juin 2011, il réalise une seconde approche de la cascade de Coo (à 34m) à la faveur d'une augmentation de la température de l'Amblève (>19°C) pour ensuite être localisé le 8 juin 2011 à 1200m en aval de la cascade jusqu'au 04/07/2011 (perte du signal). Suite à ce second déplacement vers l'aval après une confrontation avec la cascade de Coo, le barbeau 1 a très bien pu se reproduire sur le secteur du lieu de déversement (figure 14 et zone 1 de la figure 15), zone de plat courant présentant toutes les caractéristiques requises pour une zone de frai.

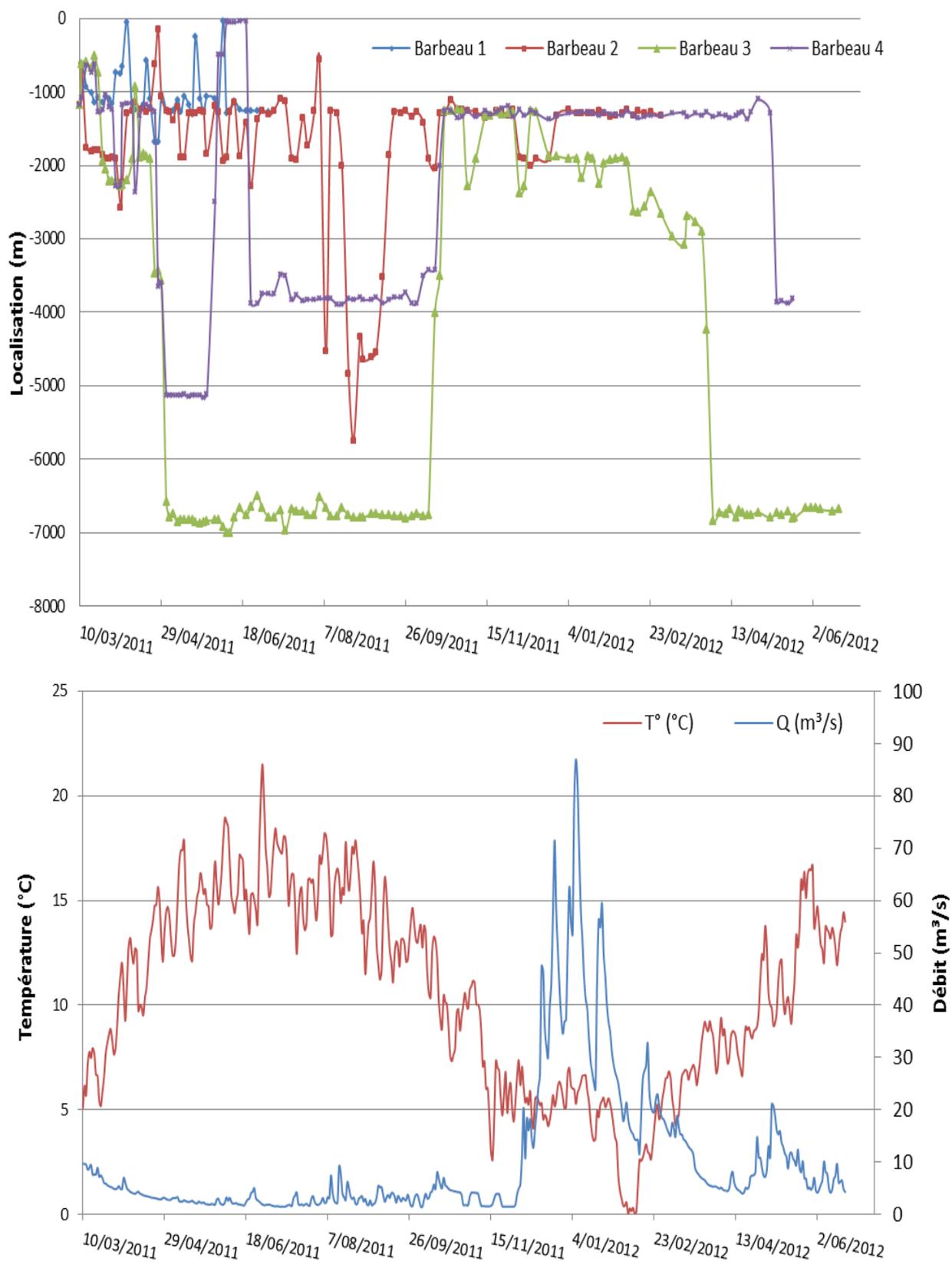


Figure 13 : Représentations graphiques des déplacements (au-dessus) réalisés par les barbeaux 1 à 4 pour la période du 10 mars 2011 au 8 juillet 2012 par rapport à la cascade de Coo (point 0m) ainsi que les données de températures (en-dessous) (à Coo, en rouge) et de débits (à Targnon, en bleu) de l'Amblève pour cette période



Figure 14 : Photo de la zone du point de déversement située à 1179m en aval de la cascade de Coo et caractérisée comme une zone de *plat courant* et potentiellement utilisée par les barbeaux 1 et 2 comme zone de reproduction (ou de « frai »)



Figure 15 : Schéma du secteur d'étude (17km) situé entre la cascade de Coo et le barrage de Lorcé sur l'Amblyve où les points rouges représentent les zones potentielles de reproduction. Zone 1 (club kayak, 1179m aval cascade) : barbeau 1 et 2 ; zone 2 (Vaulx-Renard, 7000m aval cascade): barbeau 3 ; zone 3 (la Venne, 3800m aval cascade) : barbeau 4 et zone 4 (amont passerelle Plopsa-coo, 100m aval cascade): barbeau 5 et 6

De la même manière que le barbeau 1, le **barbeau 2** (figure 13) a été localisé à 636m en aval de la cascade de Coo le lendemain de son déversement, le 11 mars 2011. Il s'est ensuite montré beaucoup plus mobile que le barbeau 1, en effet, il a réalisé plusieurs fois entre le 11 mars 2011 et le 01/08/2011 des allers-retours entre son lieu de déversement (1179m aval Coo) et un habitat situé à 1800m en aval de la cascade (au niveau du pont ferroviaire de Roanne-Coo). Le 25 avril 2011, il a entamé une approche de la cascade avec une localisation à 150m en aval, le 27

avril 2011 (après que l'eau soit passée au-dessus de la barre des 15°C) suivi d'un déplacement vers l'aval de 1000m (secteur proche du lieu de déversement). Entre les 29 avril 2011 et le 1^{er} août 2011, il est localisé sur ce secteur compris entre 1100m et 2000m en aval de la cascade de Coo et a probablement utilisé le même habitat que le barbeau 1 comme zone de frai (figure 14 et zone 1 de la figure 15) début juin 2011 lorsque la température était comprise entre 16 et 19°C (localisation du barbeau 2 et du barbeau 1 au même endroit début juin). Le 04/08/2011, il réalise dans un premier temps un déplacement vers l'amont de 700m (550m en aval de la cascade) avec dans un second temps un déplacement plus important vers l'aval de 4000m où il est localisé dans un habitat de type radiers (4500m aval de la cascade) en aval du pont de Venne. Du 11 au 18 août 2011, il est de nouveau localisé sur le secteur situé entre 1200 et 2000m en aval de la cascade de Coo. Il entame encore une migration vers l'aval, pour se retrouver le 22 août 2011 en aval du pont de Venne (4800m aval de la cascade) jusqu'au 9 septembre 2011. Finalement, il réalise un déplacement vers l'amont le 16 septembre 2011 jusqu'au secteur du lieu de déversement où il réalise quelques déplacements entre ce secteur et le pont ferroviaire de Roanne-Coo (2000m aval cascade de Coo) jusqu'au 1/03/2012, date de sa dernière localisation.

Le **barbeau 3** (figure 13) également capturé à Heid de Goreux et relâché le 10 mars 2011 à 1179m en aval de la cascade, a été localisé le lendemain à 617m en aval de la cascade. Il est resté dans cette zone jusqu'au 21 mars 2011 et a ensuite entamé un déplacement vers l'aval jusqu'au pont ferroviaire de Roanne-Coo (2000m aval cascade) où il est localisé jusqu'au 22 avril 2011. Ensuite, il entame un déplacement de près de 4000m suite à une augmentation de la température de près de 4°C (10 à 14°C) vers l'aval jusqu'au lieu-dit Vaulx-Renard à 7000m en aval de Coo où il est localisé du 2 mai 2011 au 10 octobre 2011. Deux radiers, zones potentielles de reproduction, sont présents sur ce secteur (en amont et en aval du pont de la propriété présente à Vaulx-Renard) (figure 16 et zone 2 de la figure 15). Après un déplacement vers l'amont, il est localisé le 20 octobre 2011 au niveau du lieu de déversement (1179m aval cascade), il réalise plusieurs déplacements entre ce lieu et le pont ferroviaire de Roanne-Coo (2000m aval cascade) jusqu'au 9 février 2012. Suite à un faible déplacement vers l'aval, il est localisé en aval de l'embouchure du Roannay (environ 3000m en aval de Coo) jusqu'au 29 mars 2012. Enfin, il réalise un déplacement vers l'aval pour se retrouver à nouveau au lieu-dit Vaulx-Renard à 7000m en aval de la cascade, zone potentielle de reproduction (phénomène de fidélité interannuelle au site de reproduction) jusqu'à 18 juin 2012, date de la dernière localisation.



Figure 16 : Photo de la zone à Vaulx-Renard située à 7000m en aval de la cascade de Coo et caractérisée comme une zone de *plat courant* et potentiellement utilisée par le barbeau 3 comme zone de reproduction (ou de « frai »). Secteur amont du pont en haut et secteur aval du pont en bas

Le **barbeau 4** (figure 13) est le quatrième et dernier barbeau à avoir été capturé à Heid de Goreux et relâché à 1179m en aval de la cascade de Coo le 10 mars 2011. Le lendemain, il a été localisé au niveau du site de déversement et ensuite, il est localisé dans entre 650 et 750 m en aval de la cascade entre le 14 mars et le 19 mars 2011. Entre le 23 mars et le 25 avril 2011, le barbeau 4 est localisé dans la zone située entre le pont du chemin de fer de Roanne-Coo (2000m aval cascade) et le site de déversement avec une majorité de localisation au niveau de ce dernier. Le 26 avril (la température de l'eau atteint près de 16°C), il entame un mouvement de dévalaison en deux paliers, avec un premier arrêt à 3600m en aval de Coo entre le 27 et le 29 avril 2011 (lieu-dit : la Venne) et un second arrêt, plus en aval (à 5200m en aval de la cascade : au niveau de la pisciculture de la Venne) où il est localisé jusqu'au 27 mai 2011. Après cette date, il amorce un mouvement de montaison pour arriver au niveau de la cascade le 6 juin 2011, jusqu'au 20 juin 2011. Le 23 juin, il est de nouveau localisé à la Venne (figure 17 et zone 3 de la figure 15), zone potentielle de reproduction (entre 3600m et 3800m en aval de la cascade) jusqu'au 14 octobre 2011. Ensuite, il entame un mouvement vers l'amont pour atteindre la zone de déversement où il est localisé jusqu'au 7 mai 2012. Enfin, il se déplace vers l'aval jusqu'à la Venne, zone potentielle de reproduction (3800m aval de la cascade), de nouveau l'observation d'une fidélité interannuelle au site de reproduction, jusqu'au 22 mai 2012, date de sa dernière détection.



Figure 17 : Photo de la zone à la Venne située à 3600m en aval de la cascade de Coo et caractérisée comme une zone de *plat courant* et potentiellement utilisée par le barbeau 4 comme zone de reproduction (ou de « frai »)

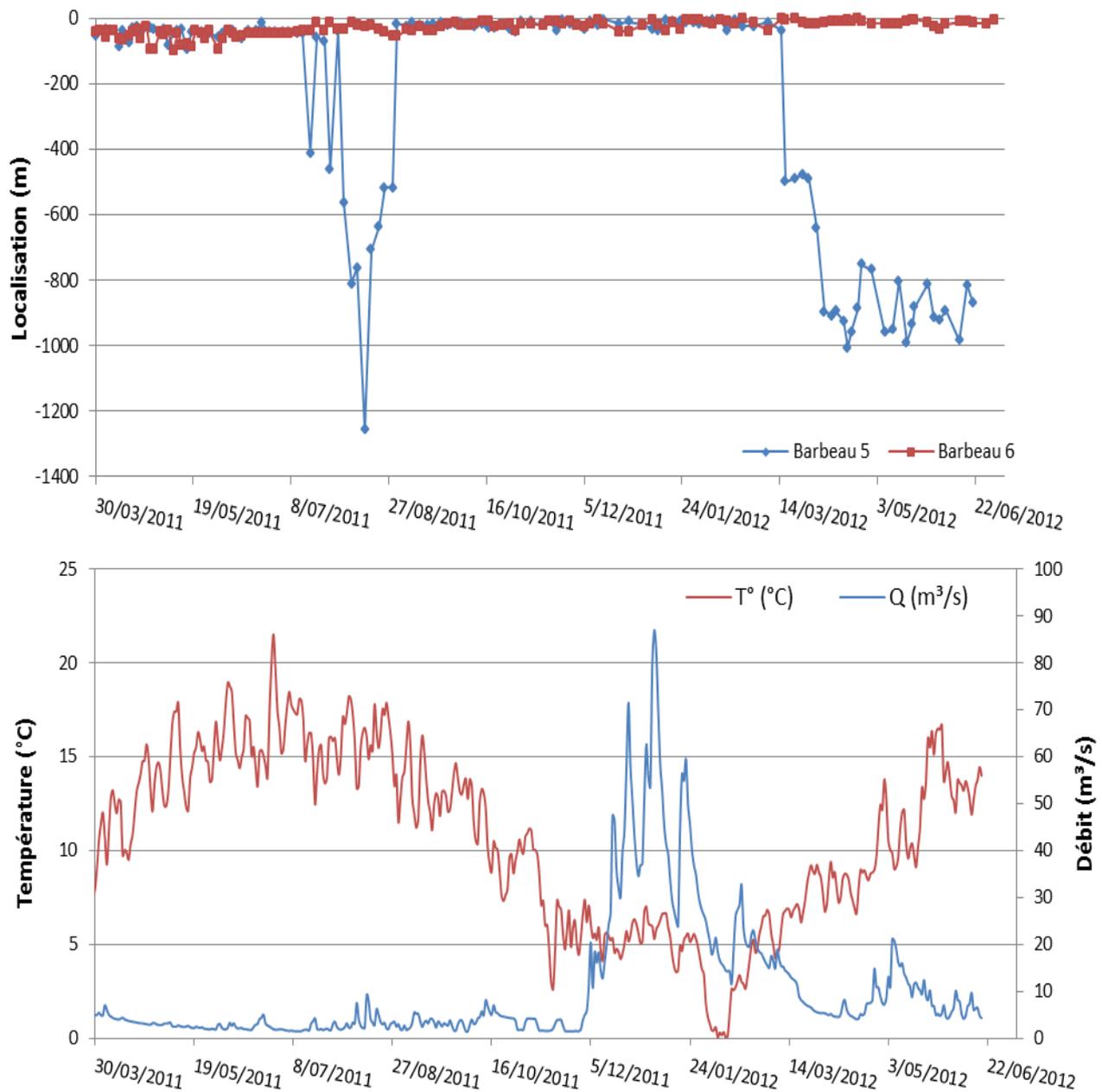


Figure 18 : Représentations graphiques des déplacements (au-dessus) réalisés par les barbeaux 5 et 6 pour la période du 30 mars 2011 au 8 juillet 2012 par rapport à la cascade de Coo (point 0m) ainsi que les données de températures (en-dessous) (à Coo, en rouge) et de débits (à Targnon, en bleu) de l'Amblève pour cette période

Les deux derniers barbeaux, le **barbeau 5** et le **barbeau 6** (figure 18) ont été capturés le 30 mars 2011 en aval de la cascade lors de la pêche électrique réalisée ce même jour. Ils ont été marqués et relâchés le 30 mars à environ 40m en aval de la cascade de Coo. Le barbeau 5 est resté proche de la cascade jusqu'au 14 juillet 2011. En effet le 18 juillet 2011, il est localisé une première fois à 400m en aval de la cascade puis du 21 au 25 juillet 2011, il est encore localisé proche de la cascade. Il entame un déplacement vers l'aval le 28 juillet 2011, date à partir de laquelle il réalise

plusieurs déplacements dans une zone située entre 500 et 1000m en aval de la cascade jusqu'au 29 août 2011. Ensuite il revient au niveau de la cascade jusqu'au 15 mars 2012 pour finalement être localisé dans la zone aval située entre 500 et 1000m jusqu'au 21 juin 2012, date de sa dernière localisation. En revanche, le **barbeau 6** a été localisé durant tout son suivi proche de la cascade avec une distance maximale de 100m en aval et une distance minimale de 4m. Notons qu'il a réalisé 2 intrusions dans le canal de fuite de la centrale de Coo dérivation, fin avril et mi-mai. Ces deux barbeaux ont certainement utilisé le secteur aval de la cascade de Coo comme zone de reproduction (figure 19 et zone 4 de la figure 15) comme en atteste la capture de juvéniles lors de nos recensements en aval de la cascade (cf. chapitre III).



Figure 19 : Photo aérienne de la zone aval de la cascade (au niveau de la passerelle de Plopsa-Coo) située à 100m en aval de la cascade de Coo et caractérisée comme une zone de *plat courant* et potentiellement utilisée par les barbeaux 5 et 6 comme zone de reproduction (ou de « frai »)

V.3.4. Suivis des hotus

Pour rappel, 6 hotus (femelles) ont été marqués et relâchés le 23 février 2011 à 1179m en aval de la cascade de Coo et 2 autres individus (mâles), le 10 mars 2011 (tableau 4). Mis à part les hotus 4 et 6 (respectivement 7 et 5 mois de suivi), le suivi des hotus a été réalisé sur un cycle annuel complet, et même plus pour certains individus.

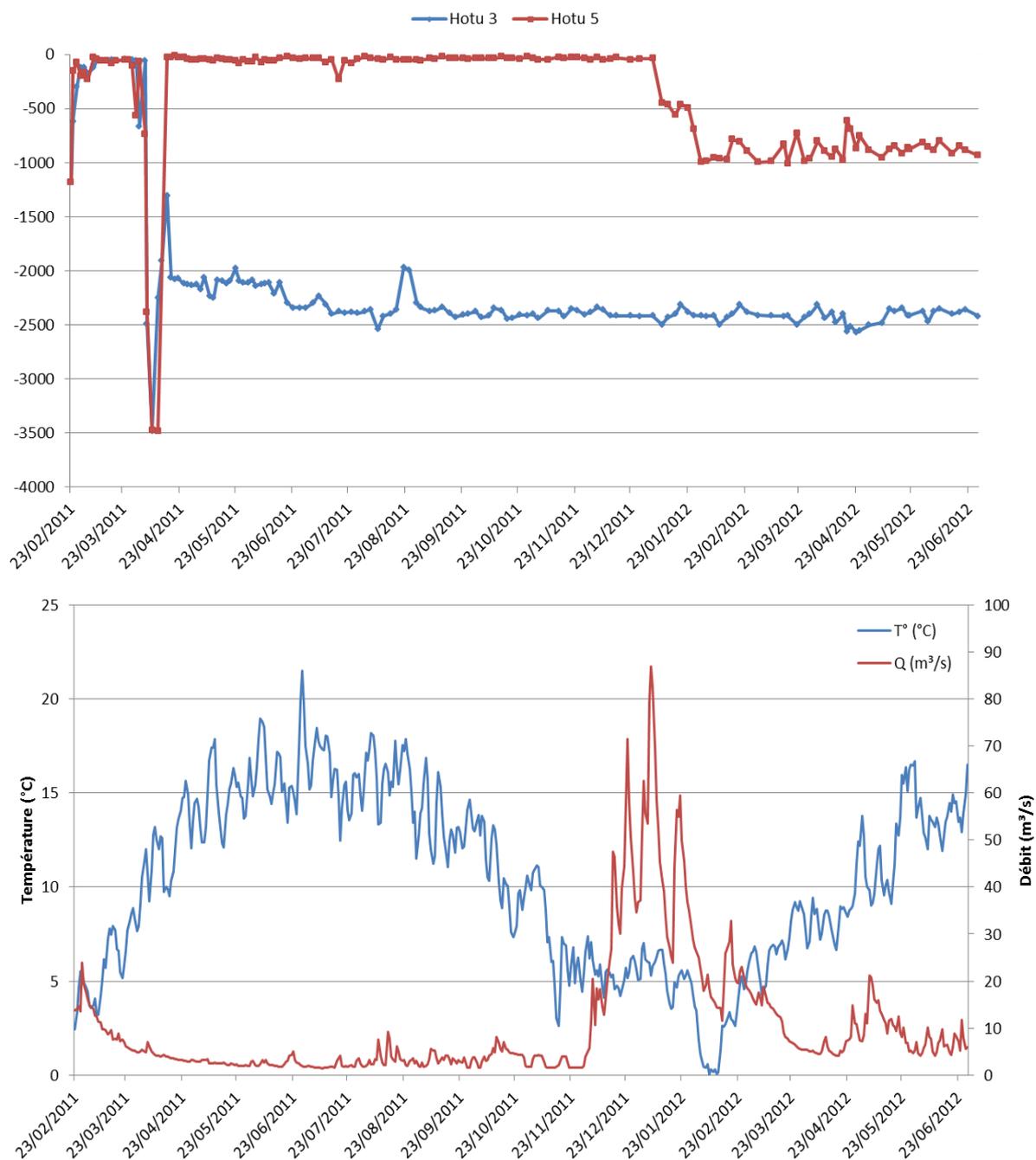


Figure 20 : Représentations graphiques des déplacements (au-dessus) réalisés par les hotus 3 et 5 pour la période du 28 février 2011 au 23 juin 2012 par rapport à la cascade de Coo (point 0m) ainsi que les données de températures (en-dessous) (à Coo, en rouge) et de débits (à Targnon, en bleu) de l'Ambève pour cette période

Tableau 4 : Résultats globaux du suivi des hotus avec la date de la première (qui correspond à la date de la remise à l'eau) et dernière localisation, le nombre total de localisation, le déplacement total effectué par chaque individu et domaine vital.

Individus	Date de la première localisation	Date de la dernière localisation	Nombre de localisation	Déplacement total (m)	Domaine vital (m)
Hotu 1	23/02/2011	20/02/2012	119	17006	9852
Hotu 2	23/02/2011	1/03/2012	144	186691	16970
Hotu 3	23/02/2011	28/06/2012	158	15744	3441
Hotu 4	23/02/2011	5/09/2011	82	19558	16938
Hotu 5	23/02/2011	28/06/2012	160	15629	3473
Hotu 6	23/02/2011	14/07/2011	67	12280	8249
Hotu 7	10/03/2011	19/03/2012	116	38606	9170
Hotu 8	10/03/2011	22/05/2012	131	97027	36195

Les **hotus 3 et 5**, capturés le 23 février 2011 au barrage de Belle-Roche ont été transloqués et relâchés le même jour à 1179m en aval de la cascade de Coo (même lieu de déversement que les barbeaux transloqués). On observe (figure 20) qu'après quelques jours (3 à 10 jours), ils atteignent la cascade de Coo pour y rester jusque fin mars. Lors de leurs séjours en aval de la cascade, les hotus étaient peu mobiles et occupaient préférentiellement la zone de coulée profonde situé à l'embouchure du chenal de restitution de la CHE de Coo-dérivation avec l'Amblève. D'autres suivis comportementaux ont été réalisés au printemps 2013 spécifiquement lors d'approche de la cascade de Coo (cf. V.3.6.). Le 1^{er} avril 2011 et le 30 mars 2011, les hotus respectivement 3 et 5 entament un déplacement vers l'aval correspondant à une migration de reproduction. Ces poissons sont alors tous les deux localisés au niveau du pont du chemin de fer à la Venne le 8 avril 2011 à 3600m en aval de la cascade, zone potentielle de reproduction, identique à celle du barbeau 4 (figure 17, zone 1 de la figure 21). Après leur localisation à la Venne, le **hotu 5** est remonté jusqu'à la cascade le 16 avril 2011 et y est resté jusqu'au 4 janvier 2012 pour finalement occuper une zone située de 500 à 1000m en aval de la cascade jusqu'au 28 juin 2012, date de sa dernière localisation. Le **hotu 3** est remonté jusqu'à 1300m en aval de la cascade le 16 avril 2011 pour ensuite redescendre au niveau de l'embouchure du Roannay (2350m en aval de la cascade), zone dans laquelle il est localisé jusqu'au 28 juin 2012, date de sa dernière localisation. On notera l'absence de déplacement lors du second printemps de suivi pour les deux hotus (pas de fidélité interannuelle de reproduction) mais pour le hotu 3, la zone qu'il occupait durant cette période (aval Roannay, figure 22 et zone 2 de la figure 21), a pu être utilisée comme zone de reproduction (présence de radiers ou de plat courant sur la zone).



Figure 21 : Schéma du secteur d'étude (17km) situé entre la cascade de Coo et le barrage de Lorcé sur l'Ambève où les points rouges représentent les zones potentielles de reproduction. Zone 1 (la Venne, 3800m aval cascade) : hotus 3(2011), 5 et 2(2012) ; zone 2 (aval Roannay, 2000m aval cascade) : hotu 3(2012) ; zone 3 (Vaulx-Renard, 7000m aval cascade) : hotus 4, 6, 2(2012), 1 et 8 ; zone 4 (Zabonprés, 15000m aval cascade) : hotu 2 ; zone 5 (club kayak, 1100m aval cascade) : hotus 1, 7 et 8



Figure 22 : Vue aérienne de la zone aval du Roannay (2400m aval cascade de Coo) avec la zone potentielle de reproduction du hotu lors du printemps 2012 (2^{ème} année de suivi)

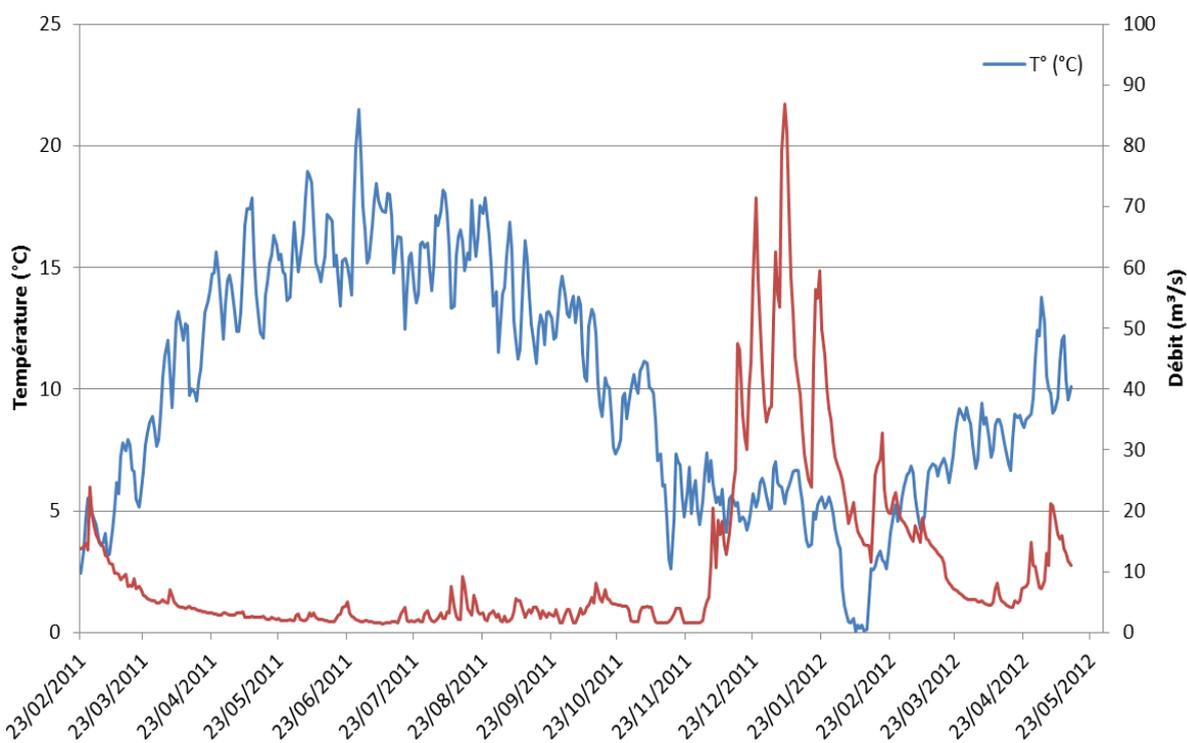
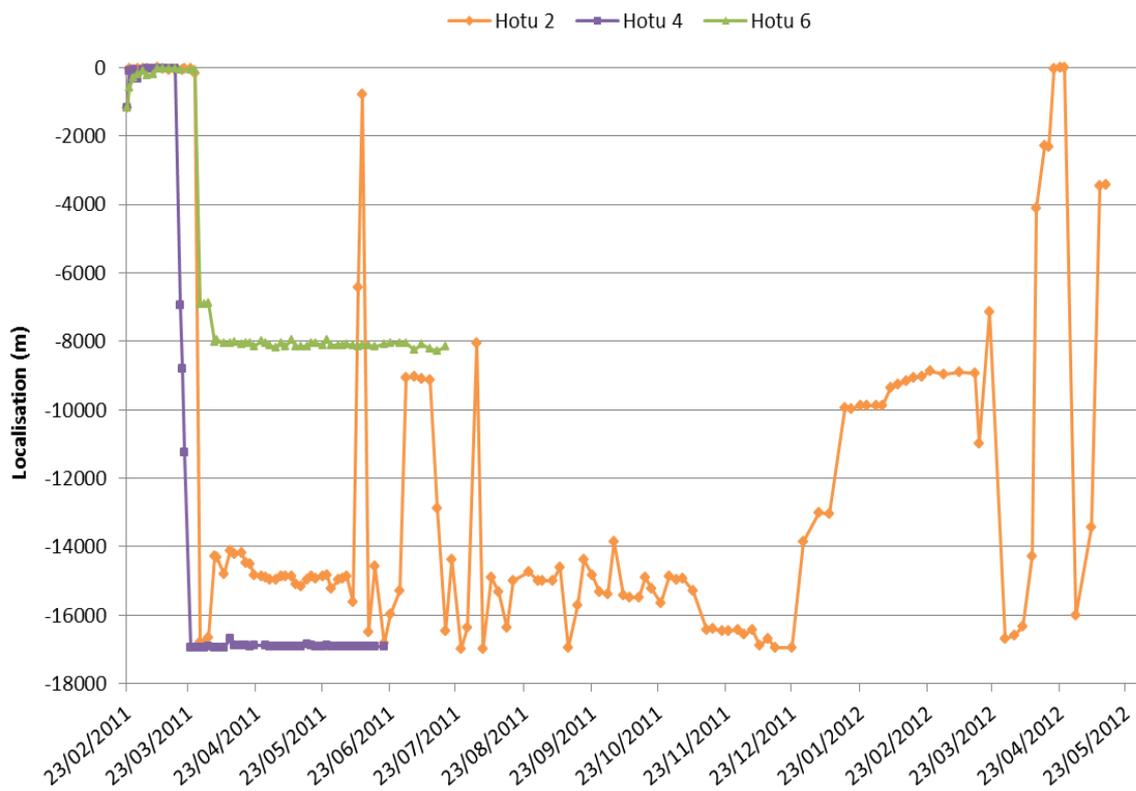


Figure 23 : Représentations graphiques des déplacements (au-dessus) réalisés par les hotus 2, 4 et 6 pour la période du 28 février 2011 au 23 mai 2012 par rapport à la cascade de Coo (point 0m) ainsi que les données de températures (en-dessous) (à Coo, en rouge) et de débits (à Targnon, en bleu) de l'Amblève pour cette période

Les **hotus 2, 4 et 6** ont été capturés, comme les hotus 3 et 5, au barrage de Belle-Roche le 23 février 2011, transloqués et relâchés à 1179m en aval de la cascade le même jour. Les **hotus 2, 4 et 6**, ont entamé tous les 3 un déplacement vers l'amont pour être localisés juste en aval de la cascade quelques jours plus tard (entre le 26 février et le 2 mars 2011).

Le **hotu 4** a entamé le 17 mars 2011, un déplacement important vers l'aval pour se retrouver à 7000m en aval de la cascade le 19 mars 2011, plus précisément au lieu-dit Vaulx-renard. Cette zone a certainement pu être utilisée comme zone de reproduction comme pour le barbeau 3 (figure 16, zone 3 de la figure 21). Les jours suivants, le hotu 4 a poursuivi son déplacement vers l'aval (en possible dévalaison post-reproduction) jusqu'à être localisé aux abords du barrage de Lorcé le 24 mars 2011 où il a été localisé jusqu'au 20 juin 2011, date de sa dernière localisation. Après cette date, l'émetteur fonctionnait toujours mais il a été localisé à une centaine de mètres en aval du barrage de Lorcé au niveau de la berge en rive droite de l'Amblève mais il n'a pu être retrouvé. Cette observation signifie que le poisson est mort et/ou a été capturé par un prédateur ou un pêcheur car on ne distinguait aucune activité.

Les **hotus 2 et 6** ont entamé leur déplacement vers l'aval quelques jours après le hotu 4, le 26 mars 2011, jusqu'au barrage de Lorcé (17km en aval de la cascade, le 28 mars 2012) pour le hotu 2 et au lieu-dit Vaulx-Renard (7000m en aval de la cascade le 28 mars 2011) pour le hotu 6. Celui-ci a certainement utilisé cette zone comme zone de reproduction (idem hotu 4 et barbeau 3) (zone 3 de la figure 21). Le **hotu 6** réalise 4 jours plus tard un second déplacement vers l'aval beaucoup moins important jusqu'au début du chemin pédestre menant à Targnon, à 8000m en aval de la cascade, secteur dans lequel il est localisé jusqu'au 18 juillet 2011, date de sa dernière localisation.

Quant au **hotu 2**, hotu le plus mobile, après avoir atteint le barrage de lorcé, il a effectué un déplacement vers l'amont afin de se stabiliser dans un secteur situé entre 14 et 15km (à Zabonprés) en aval de la cascade, du 4 avril 2011 au 6 juin 2011. Cette zone a probablement été utilisée par le hotu 2 comme zone de reproduction car elle était principalement caractérisée par un radier (figure 24 et zone 4 figure 21). Après cette date, il réalise un déplacement important vers l'amont jusqu'à 760m en aval de la cascade (le 10 juin 2011) suivi d'un déplacement vers l'aval jusqu'au barrage de Lorcé (le 13 juin 2011). Cet aller-retour représente un déplacement

total de 31km en 13 jours. Entre le 13 juin et le 23 décembre 2011, il est localisé dans le secteur situé entre 14000m en aval de la cascade et le barrage de Lorcé, où il montre une activité importante avec des déplacements de 1000 à 2000m et deux aller-retour plus importants le 26 juin 2011 et le 1^{er} août 2011, respectivement jusqu'à 9000m et 8000m en aval de la cascade. Après le 23 décembre 2011, il entame une nouvelle fois un déplacement vers l'amont, jusqu'à Targnon, sur un secteur situé entre 9000 et 11000m en aval de la cascade. Localisé à Targnon jusqu'au 17 mars 2012, le hotu 2 se montre à nouveau beaucoup plus mobile et réalise d'abord un déplacement de 3000m vers l'amont jusqu'à Vaulx-Renard, 7000m en aval de la cascade (première zone potentielle de reproduction en 2012), pour ensuite redescendre jusqu'au barrage de Lorcé (le 29 mars 2012). Il réalise un aller-retour jusque la cascade (du 10 avril au 30 avril 2012) dont 3 localisations à 20m en aval de la cascade (du 20 au 25 avril 2012) et enfin, le 25 avril, il entame un dernier déplacement vers l'aval pour se retrouver à 3500m en aval de la cascade à la Venne (deuxième zone potentielle de reproduction en 2012), où il fut localisé pour la dernière fois le 15 mai 2012.

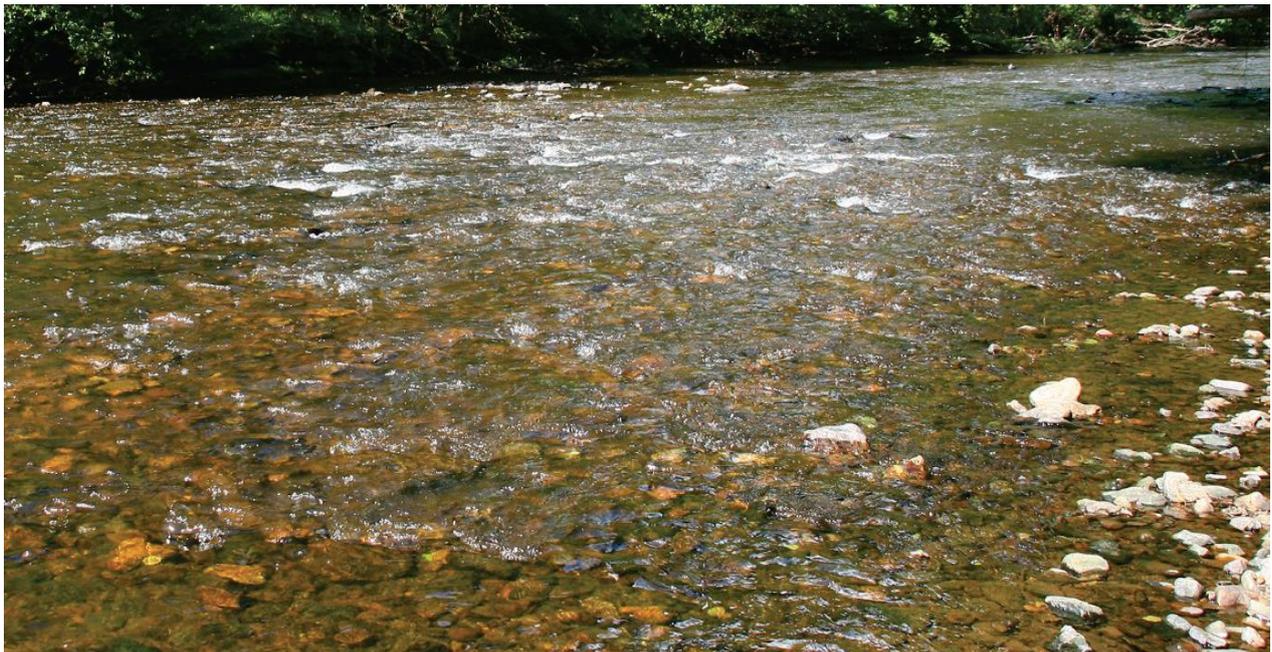


Figure 24 : Photo de la zone à la Zabonprés située à 15000m en aval de la cascade de Coo et caractérisée comme une zone de *plat courant* et potentiellement utilisée par le hotu 2 comme zone de reproduction (ou de « frai »)

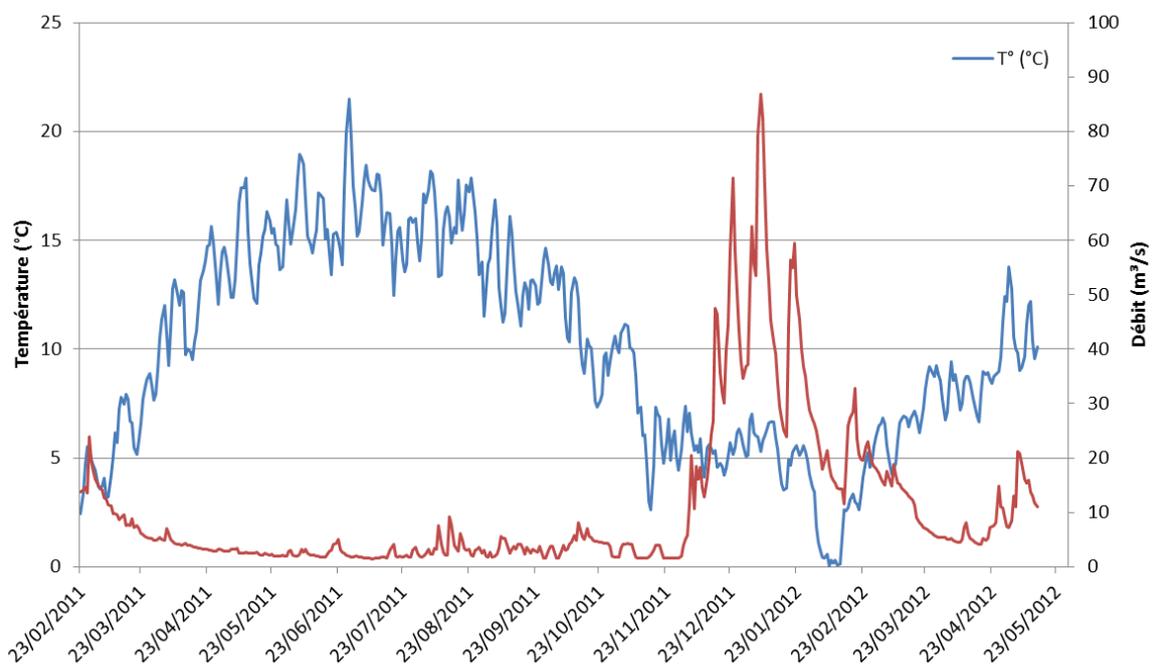
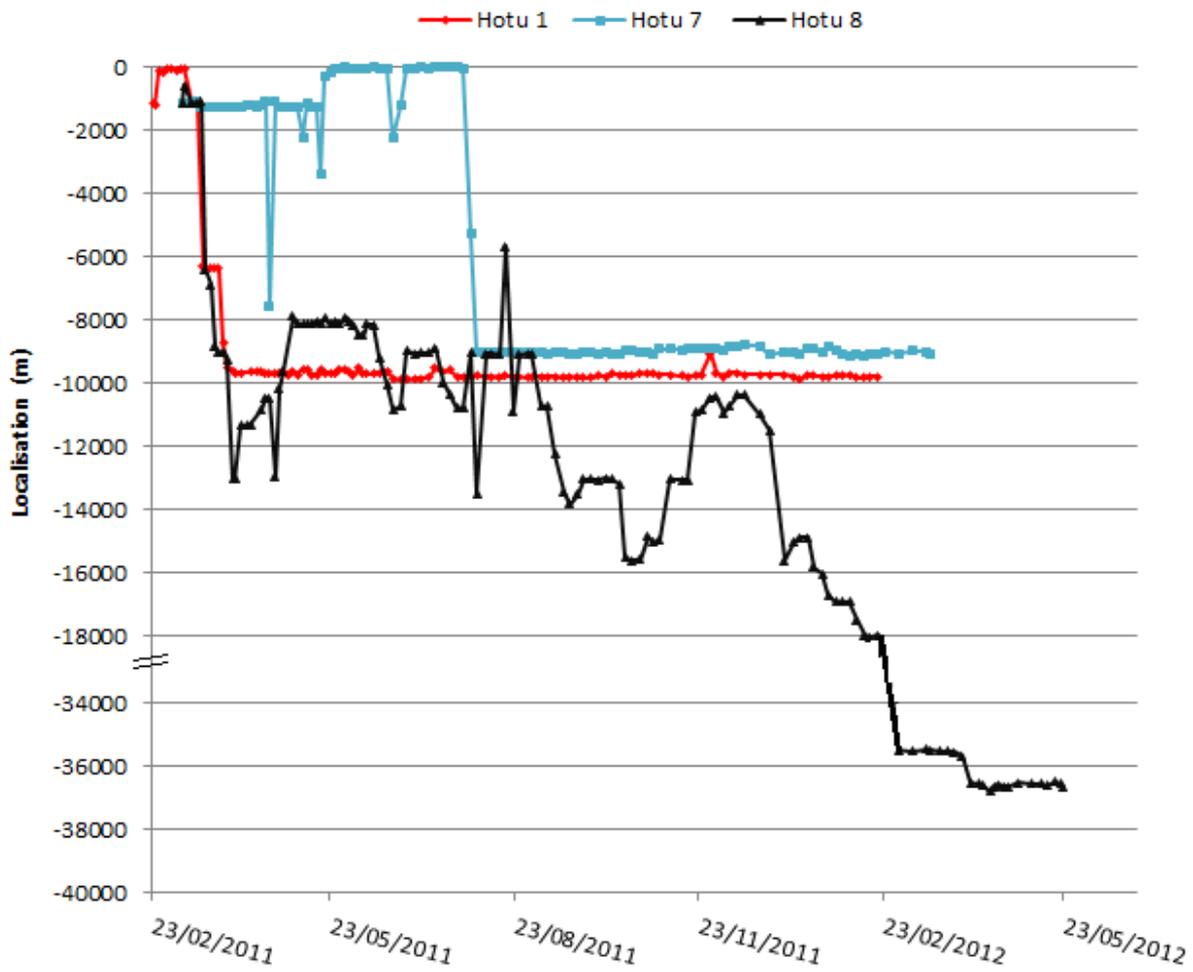


Figure 25 : Représentations graphiques des déplacements (au-dessus) réalisés par les hotus 1, 7 et 8 pour la période du 28 février 2011 au 23 mai 2012 par rapport à la cascade de Coo (point 0m) ainsi que les données de températures (en-dessous) (à Coo, en rouge) et de débits (à Targnon, en bleu) de l'Amblève pour cette période

Le **hotu 1**, marqué le 23 février 2011, a été localisé la première fois au pied de la cascade le 2 mars 2011 (figure 25). Il y est resté une dizaine de jours pour ensuite entamer un déplacement vers l'aval (du 14 mars au 17 mars 2011) au niveau du point de déversement où il rejoint les **hotus 7 et 8** (premier zone potentielle de reproduction).

Les **hotus 7 et 8** (figure 25), pour rappel, sont les seuls individus mâles, et ont été capturés à Heid de Goreux le 10 mars 2011, transloqués et relâchés à 1179m en aval de la cascade le même jour. Accompagné du **hotu 8**, le **hotu 1** continue son déplacement vers l'aval après le 17 mars 2011 où ils sont localisés à 7000m en aval de la cascade au lieu-dit Vaulx-Renard (seconde zone potentielle de reproduction), respectivement pendant dix jours pour le hotu 1 et quatre jours pour le hotu 8.

Le **hotu 1** a continué son déplacement vers l'aval après le 30 mars 2011 pour arriver dans un secteur situé légèrement en amont du village de Targnon à environ 10000m en aval de la cascade de Coo. Il a été localisé dans ce secteur jusqu'au 20 février 2012, date de sa dernière localisation. Le **hotu 8**, en compagnie du hotu 1 durant 4 jours à Vaulx-renard, a continué son déplacement le 24 mars 2011 vers l'aval pour arriver le 4 avril 2011 proche de l'embouchure avec la Lienne à près de 13000m en aval de la cascade de Coo. Après cette date, le hotu 8 s'est montré très mobile avec des déplacements aussi bien vers l'amont que vers l'aval de généralement 3000 à 5000m. Cette période de forte activité a été constatée jusque fin décembre 2011. Après cette date, le hotu 8 a entamé un déplacement vers l'aval jusqu'au niveau du barrage de Lorcé (26 janvier au 6 février 2012). Il franchit le barrage via les vannes mobiles, entre le 7 et 8 février 2012 où il a été localisé plusieurs fois à 1000m en aval du barrage. Finalement, il réalise un déplacement vers l'aval très important jusqu'à 35km (1^{er} mars 2012) en aval de la cascade à Halleux, c'est-à-dire près de 17 km en aval du barrage de Lorcé. Il a été localisé dans ce secteur jusqu'au 22 mai 2012, date de sa dernière localisation.

Le **hotu 7** a été localisé jusqu'au 16 mai 2011 dans le secteur du lieu de déversement, mais durant cette période, il a effectué 3 aller-retour vers l'aval jusqu'à 7500m, 2200m et 3500m en aval de la cascade respectivement le 22 avril 2011, le 9 mai 2011 et le 18 mai 2011. Ensuite, il a entamé un déplacement vers l'amont pour se retrouver juste en aval de la cascade du 25 mai au 27 juillet 2011. Durant cet intervalle de temps, il réalise un aller retour jusqu'à 2300m en aval de

la cascade du 23 au 27 juin 2011. Finalement, il entame un déplacement important vers l'aval jusqu'à 9000m en aval de la cascade, secteur dans lequel il fut localisé jusqu'au 17 mars 2012, date de sa dernière localisation.

V.3.5. Identification de zones potentielles de reproduction pour les hotus

La translocation de hotus radio-marqués dans ce secteur d'étude de 17km (Lorcé-Coo), nous a permis via leurs suivis, d'identifier plusieurs zones de fraies potentielles. Suite à l'identification de ces zones pour les hotus (figure 21), nous avons sélectionné les zones potentielles de frai où ont été localisés au même moment des individus mâles et femelles (figure 26). Dans ce tronçon de 17km, le hotu n'est normalement plus présent, ce qui implique que chaque juvénile capturé lors de recensements par pêches électriques proviendrait de phénomène de reproduction des individus transloqués et radio-pistés. Trois zones potentielles de frai (déterminées par radio-pistage) ont donc été sélectionnées afin de vérifier la présence de juvéniles de hotu. Ces trois zones sont :

- La zone du lieu de déversement (zone 1 figure 26) au niveau du club de kayak à 1100m en aval de la cascade de Coo
- La zone du lieu-dit la Venne (zone 2 figure 26) à 3800m en aval de la cascade de Coo
- La zone du lieu-dit Vaulx-Renard (zone 3 figure 26) à 7000m en aval de la cascade de Coo.

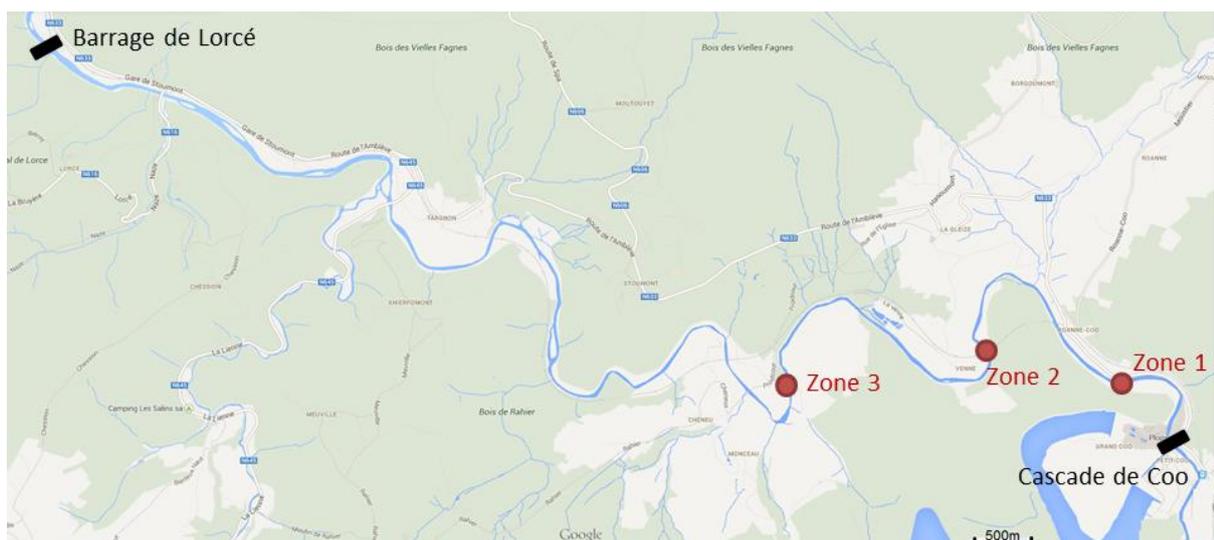


Figure 26 : Schéma du secteur d'étude (17km) situé entre la cascade de Coo et le barrage de Lorcé sur l'Amblève où les points rouges représentent les zones potentielles de reproduction sélectionnées (zones avec la présence simultanée d'individus mâles et femelles). Zone 1= zone du lieu de déversement à 1100m en aval de cascade ; zone 2= zone de la Venne à 3800m en aval de la cascade et zone 3 = zone de Vaulx-Renard à 7000m en aval de la cascade

Lors de ces recensements réalisés le 21 septembre 2011, un seul groupe électrogène a été utilisé. Une personne était à l'anode, une autre avec une époussette et enfin une troisième personne avec une manne.



Figure 27 : Photo du site lors du recensement par pêche électrique afin de trouver d'éventuels juvéniles de hotus. Pêche réalisée le 21 septembre 2011 au niveau de la zone 2, à la Venne à 3800m en aval de la cascade de Coo (Amblève)

Lors du recensement au niveau de la zone 1 (figure 26) (lieu de déversement à 1100m en aval de la cascade), aucun juvénile de hotu n'a été capturé. Pour la zone 2 (la Venne à 3800m en aval de la cascade, figure 27), 15 juvéniles de hotu ont été capturés (figure 28). Enfin, pour la zone 3, un seul juvénile de hotu a été capturé au lieu-dit Vaulx-Renard à 7000m en aval de la cascade de Coo. Ces captures de juvéniles au niveau des zones 2 et 3, prouvent qu'il y a bien eu reproduction de hotus sur ces deux zones. Afin de confirmer la paternité des hotus radio-pistés, des échantillons d'ADN (prélèvement d'un bout de la nageoire caudale) ont été prélevés sur chaque juvénile de hotu (figure 29) et permettront de comparer avec les échantillons d'ADN des hotus radio-pistés. Ces analyses ADN seront probablement réalisées dans le cadre du projet FEP

repeuplement en barbeaux et hotus (CEFRA-ULg) fin 2013, début 2014. La taille et le poids de chaque juvénile capturé sont donnés dans le tableau 5.



Figure 28 : Photos d'un juvénile de hotu capturé le 21 septembre 2011 à 3800m en aval de la cascade de Coo (Amblève) au niveau de la zone potentielle de reproduction n°2. Avec une vue global d'un individu en haut et un zoom sur son « museau » en bas



Figure 29 : Prélèvements de nageoire caudale des juvéniles de hotus capturés dans des zones de reproduction potentielle sur le tronçon Coo-Lorcé (Amblève). Ces prélèvements serviront d'échantillons d'ADN pour des analyses ultérieures

Tableau 5 : Caractéristiques des juvéniles de hotus capturés le 21 septembre 2011 sur l'Amblève au niveau du tronçon Lorcé-Coo où on retrouve la zone de capture, la taille en mm (Lf) et le poids en g.

Zone de capture	Taille (mm, Lf)	Poids (g)
zone 2	52	1,2
zone 2	52	1,4
zone 2	54	1,8
zone 2	53	1,5
zone 2	50	1,2
zone 2	48	0,9
zone 2	54	1,7
zone 2	54	1,5
zone 2	58	1,7
zone 2	53	1,4
zone 2	61	2,1
zone 2	54	1,7
zone 2	62	2,3
zone 2	53	1,4
zone 2	52	1,3
zone 3	53	1,1

V.3.6. Analyse du comportement des poissons en approche de la cascade

Résultats du suivi des barbeaux et hotus en 2011 et 2012

Dans le but d'aider à évaluer la position idéale de la future passe à poissons qui sera installée à la cascade de Coo (figure 30), des localisations intensives et plus précises ont été réalisées juste en aval de la cascade lorsque les poissons étaient présents. Uniquement les positions à moins de 100m en aval de la cascade ont été prises en compte. La majorité des approches de la cascade se sont produites en période de pré-reproduction. Pour les hotus (figure 31), on observe un maximum de détection au niveau de la coulée créée par le rejet de Coo-dérivation via le chenal de restitution avec près de 80% de détection. On constate néanmoins quelques approche de la cascade (minimum 15m : hotu 5) et deux intrusions à l'entrée du chenal de restitution. Tous les hotus radio-pistés ont réalisé une approche de la cascade mis à part le hotu 8 dont le point de localisation le plus proche de la cascade se situe à 604m en aval.

Pour les barbeaux (figure 32), on observe le même comportement à l'approche de la cascade, avec une majorité des localisations au niveau de la coulée. Néanmoins, il faut mentionner la présence d'un nombre plus important de localisations très proches de la cascade pour les barbeaux 5 et 6 (barbeaux capturés et relâchés au niveau de la cascade). Ces localisations ont été principalement réalisées en période post-reproduction et en période d'hivernage, ce qui implique peut être une utilisation de l'habitat différente par rapport à un individu en recherche d'une voie de passage lors de sa période de pré-reproduction, mais il n'est pas du tout exclu que des individus cherchent à remonter en dehors de la période de reproduction pour changer d'habitat fonctionnel. Il est possible aussi que des approches plus franches ou différentes à ce qui a été observé, de la cascade ou du chenal de restitution, ont pu être réalisées par des poissons hors des sessions de pistages.



Figure 30 : Vue aérienne du secteur aval de la cascade de Coo où l'on observe la veine de courant provenant de la cascade vers le chenal de restitution et la coulée formée en aval du rejet de ce chenal

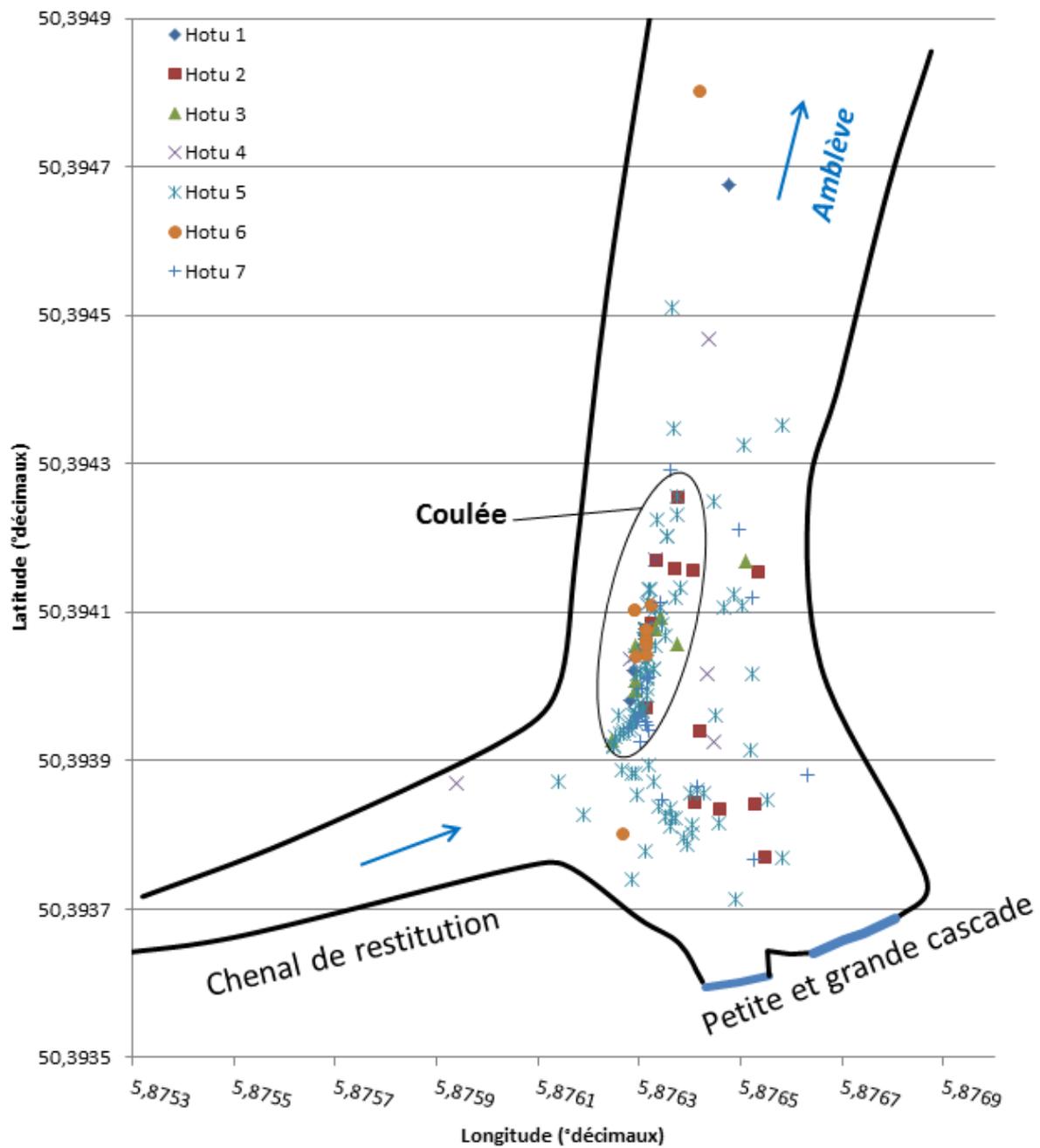


Figure 31 : Schéma de l'aval de la cascade de Coo montrant l'utilisation de l'espace des hotus radio-pistés en 2011 et 2012 sur le tronçon Coo-Lorcé (Amblève). Les localisations et les limites de l'Amblève sont représentées selon les coordonnées géographiques en degrés décimaux

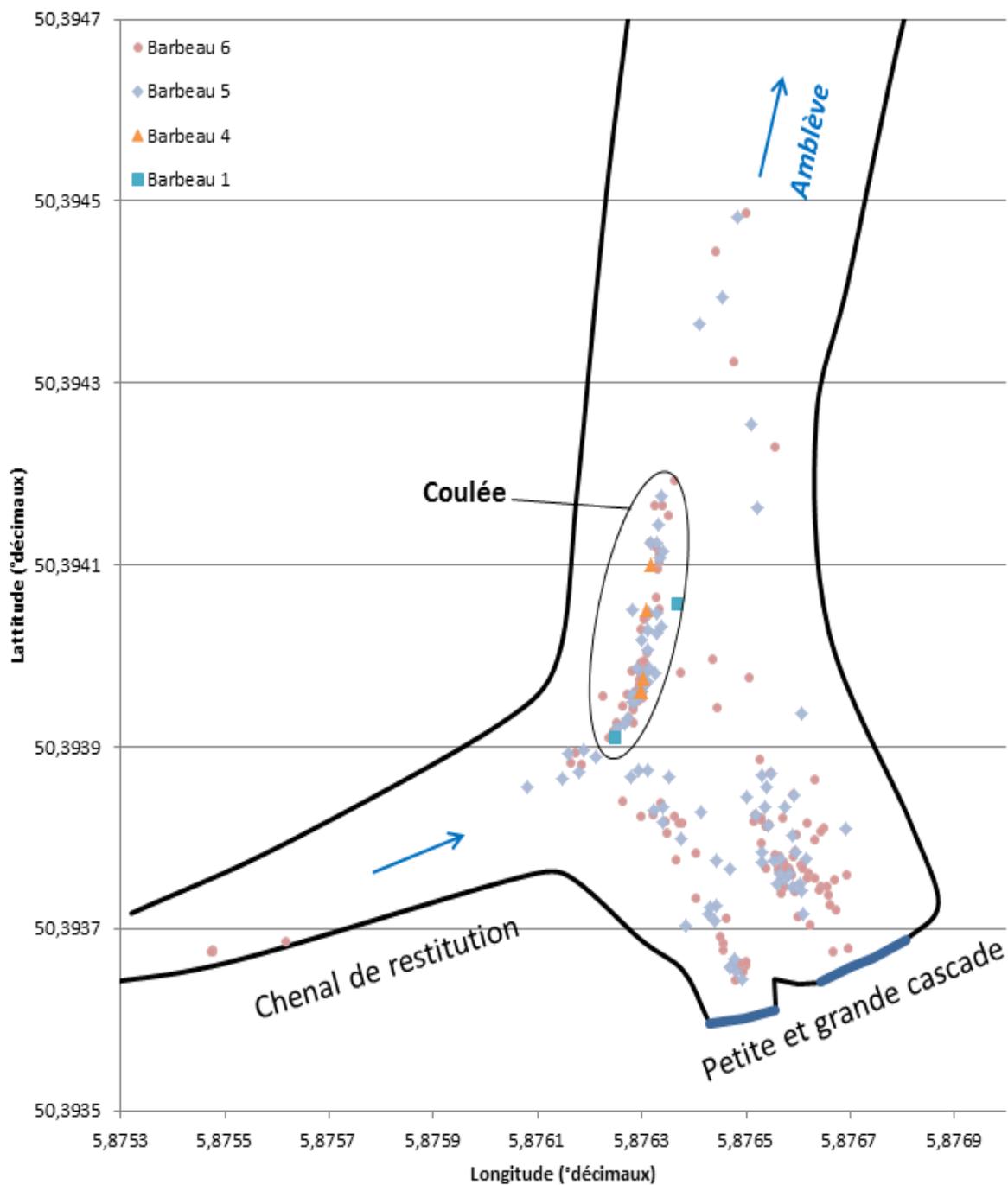


Figure 32 : Schéma de l'aval de la cascade de Coo montrant l'utilisation de l'espace des barbeaux radio-pistés en 2011 et 2012 sur le tronçon Coo-Lorcé (Amblève). Les localisations et les limites de l'Amblève sont représentées selon les coordonnées géographiques en degrés décimaux

Résultats complémentaires de suivis des barbeaux en 2013

Pour ces suivis comportementaux complémentaires, 5 barbeaux ont été marqués avec un radio-émetteur (tableau 6). Trois barbeaux proviennent de Heid de Goreux (Amblève), secteur située en aval du barrage de Lorcé. Ils ont été capturés par pêche électrique le 5 juin 2013, marqués et relâchés le même jour. Les deux autres individus ont été capturés dans l'échelle à poissons de Lorcé le 10 juin 2013. Après une nuit de stockage dans un vivier, ils ont été marqués et relâchés le 11 juin 2013. Ces 5 barbeaux ont été transloqués et relâchés à proximité de la cascade à 200m en aval de la cascade (aval de la passerelle de Plopsa-Coo) afin de faciliter un comportement de recherche d'une voie de passage lorsque le poisson se retrouve face à la cascade. Lors de sessions intensives de localisation, la position de chaque individu présent à la cascade a été relevée toutes les 1 à 5 minutes. Lorsque le poisson était peu actif, sa position était relevée toutes les 10 minutes.

L'analyse complémentaire du comportement des 5 barbeaux radio-pistés au printemps 2013, a permis de suivre 4 barbeaux au pied de la cascade dont 4 durant la journée et 3 durant la nuit. Nous avons donc réalisé 174 localisations (n=196 au total) au pied de la cascade dont 51 localisations de nuit. Il est indispensable de mentionner que les conditions hydrauliques étaient différentes lors de ce suivi. En effet, suite à des travaux de maintenance, **la turbine de la micro-centrale de Coo fut à l'arrêt durant le mois de juin 2013 conduisant au court-circuitage complet du canal d'amenée ainsi que du chenal de restitution** (figures 33 et 34) de la micro-centrale de Coo-dérivation. Ce court-circuit implique que **les poissons n'ont pas eu la possibilité d'emprunter le chenal de restitution lors de leur recherche d'une voie de passage** durant leur suivi comportemental en aval de la cascade et que la totalité de l'eau de l'Amblève empruntait la cascade.



Figure 33 : Photos du canal d'aménée court-circuité de la CHE de Coo-dérivation lors de travaux de maintenance en juin 2013 durant les suivis complémentaires en aval de la cascade



Figure 34 : Photo du chenal de restitution court-circuité de la CHE de Coo-dérivation lors de travaux de maintenance en juin 2013 empêchant l'accès aux poissons lors de leur recherche d'une voie de passage

Tableau 6 : Caractéristiques des barbeaux radio-pistés en 2013 avec l'individu, la taille (lf), le poids du poisson, le poids, le canal de l'émetteur-radio, le sexe, les dates et les lieux de capture et de relâché, le nombre total de localisations et le nombre de localisations réalisées en aval de la cascade

Individus	Taille (mm)	Poids (g)	Canal émetteur (fréquence)	sexe	Date et lieu de capture	Date et lieu de relâché	Nombre totale de localisation	Nombre de localisation à la cascade
Barbeau 7	509	1867	13 (40MHz)	F	5/06/2013 Heid de Goreux	5/06/2013 265m aval cascade de Coo	5	0
Barbeau 8	485	1628	14 (40MHz)	M	5/06/2013 Heid de Goreux	5/06/2013 265m aval cascade de Coo	62	56
Barbeau 9	515	1891	15 (40MHz)	F	10/06/2013 Echelle de Lorcé	11/06/2013 265m aval cascade	74	73
Barbeau 10	477	1428	16 (40MHz)	F	5/06/2013 Heid de Goreux	5/06/2013 265m aval cascade de Coo	40	32
Barbeau 11	558	2130	16 (49MHz)	F	10/06/2013 Echelle de Lorcé	11/06/2013 265m aval cascade	15	13
Total							196	174

Suite à l'analyse de l'ensemble des localisations au pied de la cascade de ces suivis complémentaires (figure 36), nous constatons qu'une voie de recherche de passage préférentielle est située dans la veine de courant créée par la jonction de l'eau provenant d'une part de la petite cascade et d'autre part de la grande cascade (figure 35) mais également un nombre conséquent de localisation au niveau de la coulée habituellement alimentée par l'eau provenant du chenal de restitution. Il faut noter qu'entre ces localisations au pied de la cascade, les barbeaux 8 et 10 ont réalisé des déplacements vers l'aval jusqu'à 2000m pour ensuite remonter au niveau de la cascade. Plus précisément, on constate que le barbeau 8 était principalement présent au plus proche de la cascade avec des localisations à 2m en aval de la grande cascade. Les barbeaux 9 et 10 ont été localisés à la fois très proche de la cascade (respectivement au minimum à 2m et 10m en aval) et à la fois au niveau de la coulée principale avec une préférence pour cette dernière. En revanche le barbeau 11 s'est montré peu actif et a été localisé uniquement au niveau de la coulée principale.

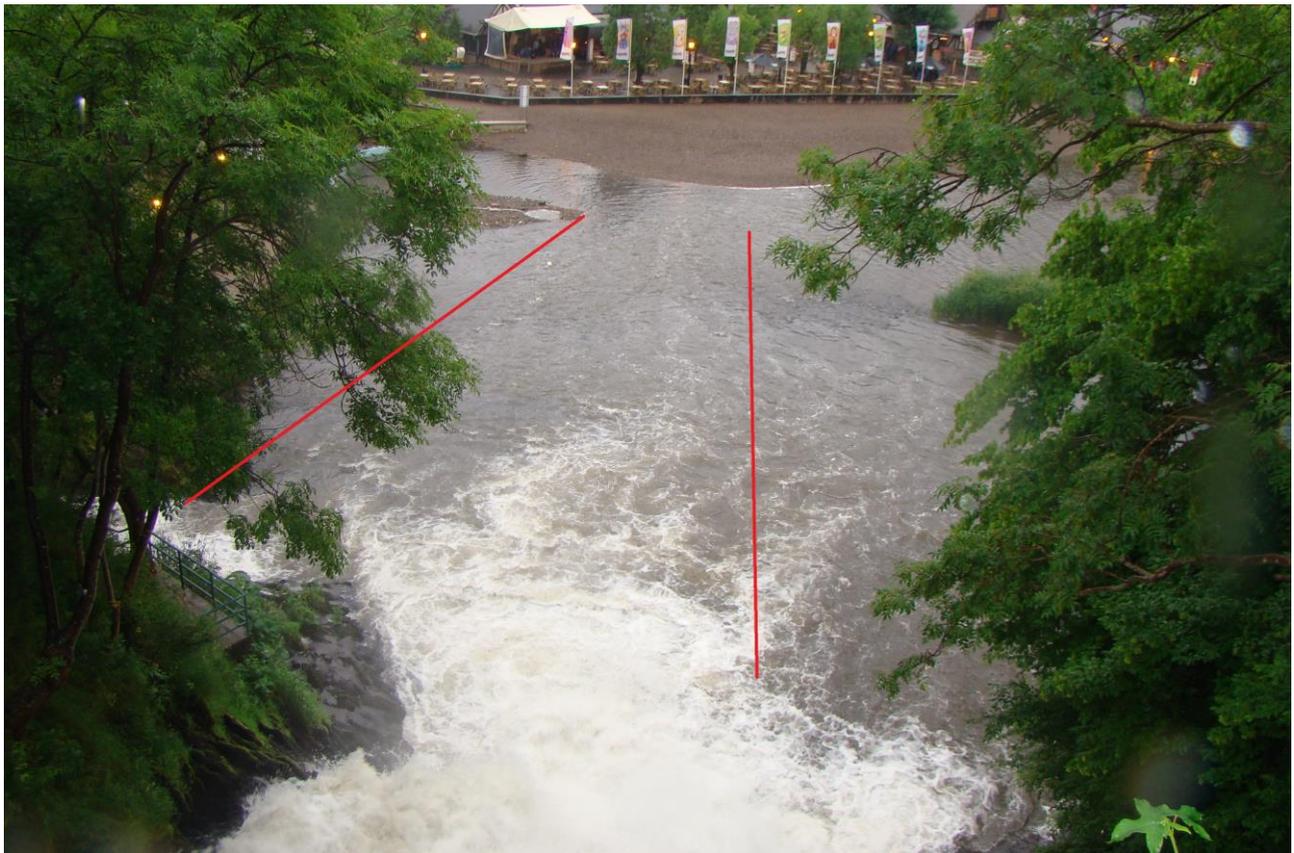


Figure 35 : Photo de l'aval de la cascade de Coo où l'on observe une veine de courant située entre la petite et la grande cascade, partant en oblique vers la rive gauche

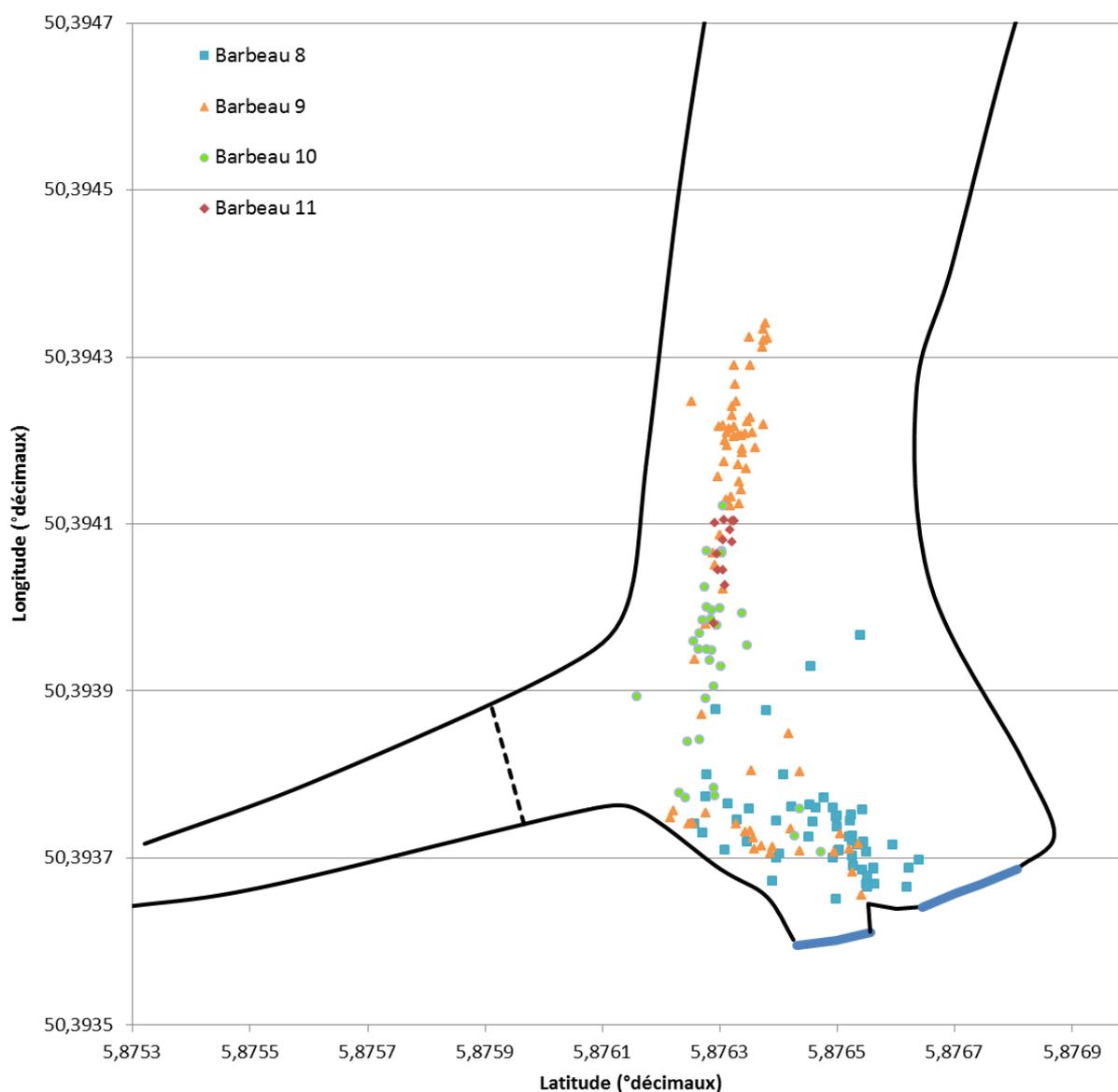


Figure 36 : Schéma de l'aval de la cascade de Coo montrant l'utilisation de l'espace des barbeaux radio-pistés en 2013 (Amblève) incluant toutes les localisations. Les localisations et les limites de l'Amblève sont représentées selon les coordonnées géographiques en degrés décimaux

La comparaison entre les localisations réalisées lors de sessions de suivis de jour et de nuit (figures 37 et 38), nous montre que les barbeaux recherchent des voies de passage aussi bien le jour que la nuit mais nos résultats montrent que la coulée située en aval du rejet du chenal de Restitution n'est occupée que le jour. En effet, lors des sessions de suivis de nuit, peu de localisations ont été effectuées au niveau de la coulée mais il faut rappeler que les conditions hydro-morphologiques étaient différentes avec les suivis de hotus et de barbeaux en 2011-2012.

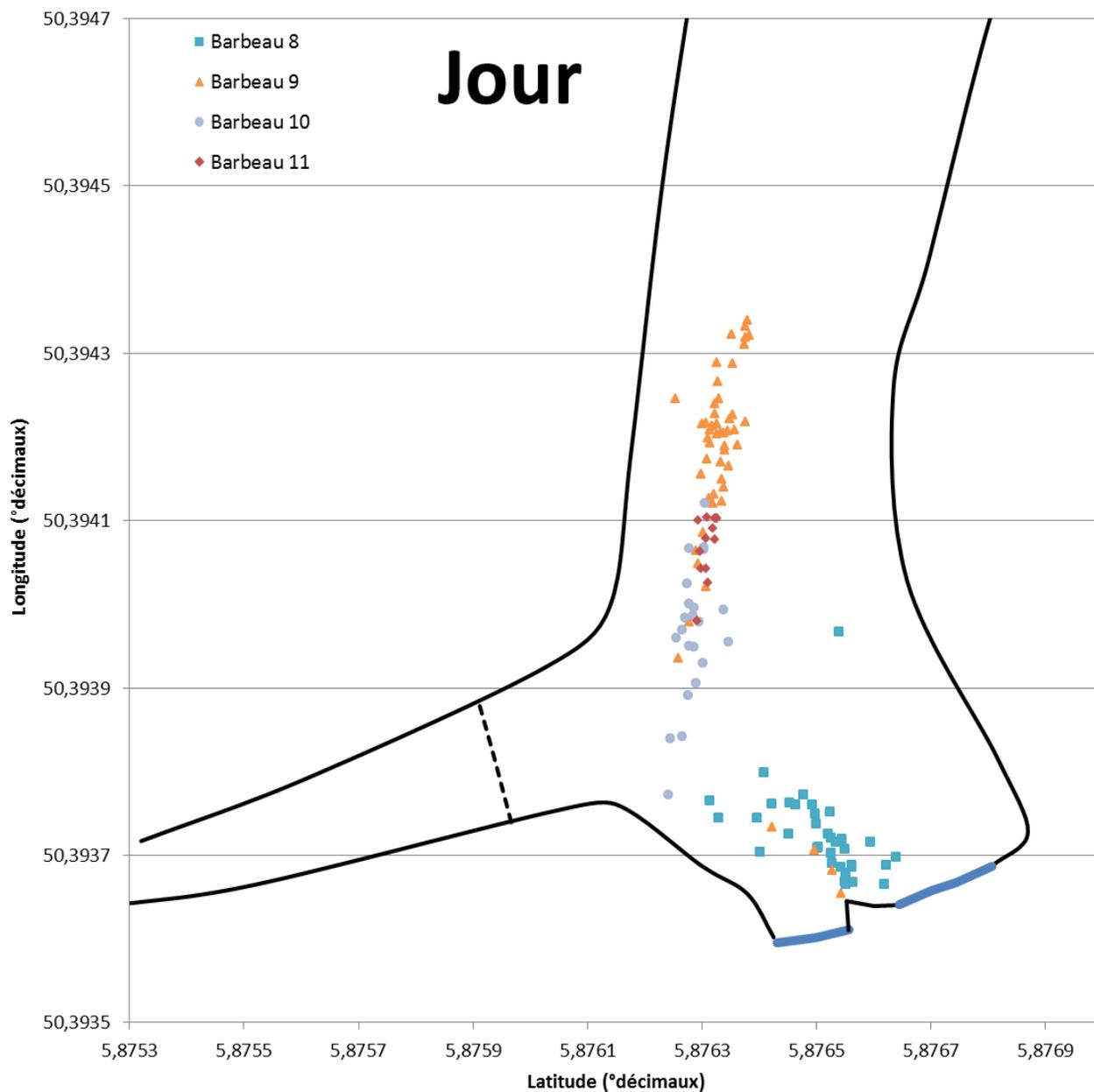


Figure 37 : Schéma de l'aval de la cascade de Coo montrant l'utilisation de l'espace des barbeaux radio-pistés en 2013 (Ambève) incluant uniquement les localisations de jour. Les localisations et les limites de l'Ambève sont représentées selon les coordonnées géographiques en degrés décimaux

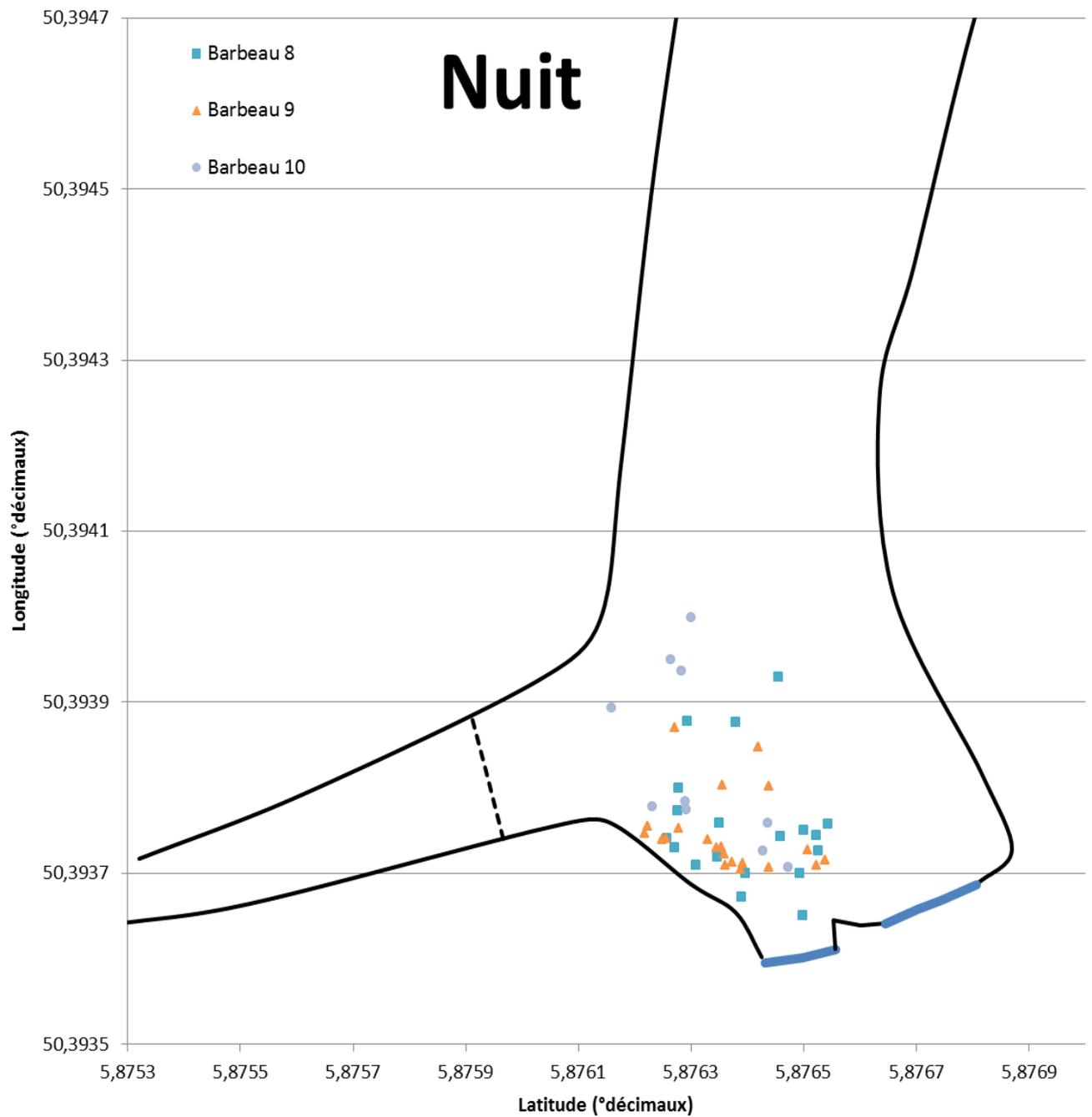


Figure 38 : Schéma de l'aval de la cascade de Cooc montrant l'utilisation de l'espace des barbeaux radio-pistés en 2013 (Ambève) incluant uniquement les localisations de nuit. Les localisations et les limites de l'Ambève sont représentées selon les coordonnées géographiques en degrés décimaux

V.4. Discussion

Les poissons des trois espèces holobiotiques potamodromes étudiées (la truite commune, le barbeau et le hotu) ont exprimé des comportements migratoires assez marqués après avoir été relâchés à 1km en aval de la cascade pour certains et juste au pied de la cascade pour d'autres. Le suivi comportemental individuel par biotélémetrie, a permis de mettre en évidence des réponses comportementales aux variables de l'environnement et particulièrement à l'approche d'un obstacle infranchissable en l'occurrence ici, la cascade de Coo.

Cas de la truite commune

Les suivis comportementaux par radio-pistage de 5 truites communes réalisés dans le cadre de cette étude montrent que des individus capturés au pied de la cascade de Coo ($n=4$) et suivis pendant la période de reproduction ont tous eu une tendance marquée à la dévalaison pour la recherche de sites de reproduction. Habituellement dans le sens de la montaison (Ovidio, 1999 ; Ovidio & Philippart, 2002), la migration de reproduction vers l'aval est l'expression d'un comportement probablement lié à la présence d'un obstacle infranchissable (la cascade de Coo). L'ensemble des individus radio-pistés s'est montré peu mobile entre deux localisations éloignées comme en témoigne la faible différence entre la distance totale parcourue et le domaine vital longitudinal. Parmi les faits marquants de ces suivis, une truite est rentrée dans le Roannay (embouchure à 2200m en aval de la cascade de Coo) et y est restée quelques jours pour ensuite dévaler. Cette observation représente un phénomène de dévalaison post-reproducteur comme observé lors des suivis de truites communes sur ce tronçon en 2007-2008 (Ovidio et al., 2009). Une autre truite a réalisé une migration vers l'aval de plus de 35km, franchissant le barrage de Lorcé lors de l'abaissement des vannes mobiles du barrage à la faveur d'un pic de débit ($80\text{m}^3/\text{s}$). La cinquième truite commune suivie a été capturée dans l'échelle de Lorcé et a été marquée et relâchée à 1km en amont du barrage. Ce suivi a mis en évidence le comportement sédentaire de cet individu, même en pleine période de reproduction et lors de la très forte hausse du débit (jusqu'à $80\text{m}^3/\text{s}$). Les suivis en 2007-2008, de truites communes capturées dans l'échelle à poissons de Lorcé, marquées et relâchées en amont du barrage ont révélé un comportement beaucoup plus « exploratoire » (intrusions d'individus dans des affluents de l'Amblève, par

exemple la Lienne). L'existence d'individus appartenant à la catégorie « explorateur » (démontrée par ces suivis en 2007-2008) au sein d'une population est stratégiquement intéressante et permet de rétablir plus rapidement une continuité biologique (Ovidio et al., 2009).

L'analyse croisée des variables environnementales et des données comportementales souligne l'influence combinée du débit (hausse de débit de 4 à 80m³/s) et de la température (diminution de la température de 10°C à 8°C) dans le développement d'un comportement de migration de reproduction pour tous les individus.

Le suivi comportemental juste en aval de la cascade montre une faible activité des truites communes qui traduirait l'absence d'activité de recherche de voies de passage vers l'amont. Bien que les données acquises ne sont pas complètement représentatives des populations de truites communes présentes sur ce secteur pour en tirer des conclusions, une première hypothèse pour expliquer ce comportement pourrait être que les individus marqués dans le cadre de cette étude avaient une bonne connaissance du milieu aux alentours de la cascade de Coo et donc de l'impossibilité de migrer vers l'amont. Dans ce cas, la meilleure stratégie est de ne pas s'épuiser au pied de la cascade et immédiatement rechercher un site de reproduction vers l'aval ou dans un affluent. Ce constat implique que certaines espèces de poissons ont probablement intégré la présence de la cascade dans leur habitat. Cependant, la recherche de voies de passage n'a peut-être pas pu être mise en évidence à cause de l'absence de données comportementales en période de nuit. Ces résultats suggèrent néanmoins, qu'il subsiste chez des individus de truites communes présents dans ce tronçon Coo-Lorcé, un instinct migratoire prononcé malgré le blocage complet par la cascade de Coo.

Cas du barbeau

Quatre barbeaux ont été capturés en mars 2011 à Heid de Goreux, juste en aval du rejet des turbines de la centrale hydroélectrique. Deux autres barbeaux ont été capturés également en mars 2011 juste en aval de la cascade de Coo. Après un marquage avec un radio-émetteur, ces six barbeaux ont été suivis par radio-pistage pendant plus d'un cycle annuel (jusqu'à 16 mois de suivi). La translocation des individus capturés à Heid de Goreux et relâchés à 1km en aval de la cascade de Coo a permis de comparer le comportement d'individus qui n'ont jamais été

confrontés à la cascade par rapport à des individus déjà présents sur le secteur d'étude. Ces suivis à long terme ont permis de mettre certains comportements en évidence :

- Au printemps 2011, la plupart des barbeaux transloqués (3 sur 4) et relâchés à 1km en aval de la cascade de Coo, ont entamé un déplacement vers l'amont jusqu'à la cascade. Après plusieurs localisations (durant 1 à 5 jours) dans la zone en aval de la cascade, principalement au niveau de la coulée créée par le rejet du chenal de restitution de la CHE de Coo-dérivation, tous les barbeaux ont entamé un déplacement vers l'aval dans l'optique de trouver un habitat propice à la reproduction. Par la présence de la cascade de Coo et de son blocage imperméable à la migration vers l'amont, les poissons ont réalisé une migration de reproduction vers l'aval plutôt que vers l'amont comme le plus souvent observé dans la littérature (Baras, 1992 ; Ovidio et al., 2007). Ce comportement de migration vers l'aval a également été observé chez le seul individu non localisé au niveau de la cascade de Coo. Il est probable aussi que cet individu a tenté une approche rapide de la cascade en dehors des sessions de radio-pistage.
- La période de migration en 2011 s'est déroulée entre fin mai et début juin suite à un cumul de journée où la température de l'eau était supérieure au seuil de 15°C (Baras, 1992). Aucun lien avec le débit n'a pu être mis en avant suite au débit très faible présent tout le printemps 2011. Lors des migrations de reproduction vers l'aval, des zones potentielles de frai ont pu être déterminées. En tout, 4 zones potentielles ont été déterminées. Ces zones sont situées à 100m (amont passerelle Plopsa-Coo), 1200m (zone du lieu de déversement), 3800m (à la Venne) et 7000m (à Vaulx-Renard) en aval de la cascade et sont toutes caractérisées par des zones de plat courant. Malheureusement aucune observation visuelle de reproduction n'a été possible. Cependant, il s'est avéré que ces zones ont également été utilisées par les hotus en période de reproduction mis à part la zone amont du pont de Plopsa-Coo proche de la cascade. L'identification de zones potentielles de reproduction supplémentaires par rapport aux suivis d'individus réalisés en 2007-2008 au départ du barrage de Lorcé, confirme la bonne qualité du bief situé entre Coo et Lorcé (17km) par sa quantité d'habitats biologiquement exploitables par les poissons et donc la nécessité de la défragmentation de l'habitat.

- En période hivernale, lorsque la température est descendue sous la barre des 10°C, trois barbeaux radio-pistés ont effectué un déplacement vers l'amont vers un site d'hivernage commun, à 1200m en aval de cascade de Coo (zone proche du lieu de déversement) distinct des sites habituellement utilisés au printemps et en été, présentant des caractéristiques d'un milieu calme à zones plus profondes.
- Grâce à ces suivis à long terme, sur deux printemps, pour deux barbeaux, des phénomènes d'observation de fidélité interannuelle de reproduction ont été observés. En effet, deux barbeaux ont exploité au printemps, le même habitat durant deux années successives sans connaître au préalable le secteur d'étude (poissons transloqués). En revanche, lors du second printemps de suivi, aucun des barbeaux transloqués ne s'est confronté à la cascade, ils ont entamé directement une migration de reproduction vers l'aval. Ce comportement témoigne de la capacité des poissons à s'imprégner et/ou s'adapter rapidement à leur milieu de vie.
- Les barbeaux se sont montrés bien plus mobiles que les truites lorsque l'on compare les distances totales parcourues, mais rappelons que la durée du suivi était plus importante pour les barbeaux. Ceux-ci ont utilisés des domaines vitaux longitudinaux entre 1700m et 6500m pour les barbeaux transloqués, et entre 100 et 1300m pour les barbeaux capturés en aval de la cascade. Cette différence entre individus transloqués et natifs est probablement due à l'adaptation comportementale des barbeaux natifs de ne plus réaliser de migration vers l'amont et à l'utilisation des habitats présents juste en aval. Le choix de la zone de reproduction a donc été différent pour les individus « natifs » et « transloqués ».

Cas du hotu

Six hotus ont été capturés en février 2011 au barrage de Belle-roche et deux autres hotus ont été capturés en mars 2011 à Heid de Goreux, juste en aval du rejet des turbines de la centrale hydroélectrique. Après un marquage avec un radio-émetteur, ces 8 hotus ont été transloqués, déversés à 1km en aval de la cascade et suivis par radio-pistage à long terme pendant plus d'un cycle annuel pour certains (jusqu'à 16 mois de suivi). Les hotus ne sont normalement plus

présents sur ce bief de 17 km (Lorcé-Coo), cette étude a permis d'analyser le comportement d'individus d'une espèce en phase de recolonisation du bief mais aussi de vérifier sa capacité d'accueil. Ces suivis à long terme ont permis de mettre certains comportements en évidence :

- De la même manière que les barbeaux, la majorité des hotus radio-pistés (6 sur 8) ont entamé un déplacement vers l'amont et ont été localisés juste en aval de la cascade durant plusieurs jours (de 10 à 30 jours). Ensuite, ils ont tous entrepris une migration de reproduction vers l'aval. Comme pour le barbeau, la migration de reproduction se produit habituellement vers l'amont (Ovidio et al., 2009). Cependant, la cascade représente un obstacle infranchissable et sa zone aval ne représente pas une zone potentielle de reproduction (aucune localisation dans cette zone durant la période de reproduction). En 2011, suite à l'analyse du comportement d'individus radio-pistés, la période de reproduction s'est déroulée entre mi-mars et mi-avril, résultats semblables à une étude sur le Danube (Berger, 2009). En 2012, il est plus compliqué de déterminer cette période de reproduction car le signal de la moitié des individus a été perdu (n=4) et l'activité des individus restant était faible durant la période habituelle de reproduction. Ce manque d'activité peut s'expliquer par le fait, que les zones utilisées par les hotus avant la période de reproduction présentaient un bon milieu pour la reproduction. Si on se base sur le seul individu ayant présenté un pic d'activité en 2012 durant le printemps, la période de reproduction aurait débuté mi-mars aussi.
- Durant cette étude, nous avons observé plusieurs départs en migration de reproduction pour une même période de reproduction. Deux pics de migration de hotus ont été observés en 2011 comme observé dans d'autres études (Rakowitz et al., 2007 ; Ovidio et al., 2009). Ces déplacements plus importants se sont produits lorsque la température de l'Amblève était comprise entre 8-10°C (Lucas & Baras, 2001). Lors de ces migrations de reproduction vers l'aval des zones potentielles de frai ont pu être identifiées. Au total, 5 zones potentielles de reproduction ont été identifiées dont 3 zones communes aux barbeaux. Ces zones communes sont le lieu de déversement (1km en aval de la cascade), la Venne (3800m aval cascade) et le lieu-dit Vaulx-Renard (7000m aval cascade). Les autres zones identifiées sont l'aval du Roannay (2200m aval cascade) et à Zabonprés (14km en aval de la cascade). Cette dernière a été identifiée comme zone potentielle de

reproduction lors de précédents suivis en 2007-2008 pour des barbeaux et des hotus (Ovidio et al., 2009).

- Parmi les zones potentielles de frai, des pêches électriques ont été effectuées dans les zones où des individus mâles et femelles ont été localisés en même temps lors de la période de reproduction. Sur les 3 zones prospectées (lieu de déversement, la Venne et Vaulx-Renard), des juvéniles de hotus (n=16) ont été capturés au niveau de deux zones (la Venne, n=15 et Vaulx-Renard, n=1). Dans le bief de l'Amblève étudié (Lorcé-Coo), la présence du hotu est qualifiée de rare voire inexistante. Ce résultat implique plusieurs choses : 1) l'identification de zones potentielles de reproduction grâce aux suivis comportementaux a pu être confirmée, 2) le bief étudié présente des habitats propices à la reproduction du hotu et possède donc un potentiel de recolonisation. 3) Avec seulement 10 individus transloqués dans la zone d'étude (8 marqués et 2 non marqués) et en admettant l'absence préalable du hotu, la capacité du hotu à repeupler un environnement où il n'est plus présent semble réelle. Grâce à des prélèvements d'ADN à la fois sur les juvéniles et les adultes transloqués, des analyses ADN de paternité sont possibles et pourraient confirmer ou infirmer nos hypothèses.
- D'un point de vue mobilité générale, les hotus se sont montrés très actifs avec une distance totale parcourue maximale pour un seul hotu de près de 187km en 12 mois. Cet individu a réalisé à plusieurs reprises des allers retours entre les deux obstacles délimitant le bief étudié de 17 km, c'est-à-dire la cascade de Coo et le barrage de Lorcé. Un autre individu a réalisé au total près de 97km de déplacement. A l'inverse du premier, celui-ci a été capable de dévaler 17km en aval du barrage mobile de Lorcé, profitant d'un pic de débit pour passer via les vannes mobiles du barrage. Suite à ce déplacement vers l'aval, ce hotu s'est stabilisé dans une zone située à 35km en aval de la cascade de Coo (à Halleux) situé près de 10km en aval de son lieu de capture. Cet habitat était probablement son lieu de résidence avant sa capture à Heid de Goreux lors d'une migration de reproduction vers l'amont. Dans l'ensemble, les hotus possèdent des domaines vitaux longitudinaux de 3,5km à 36km, preuve de leur capacité à réaliser des déplacements ou migrations de grandes amplitudes.

- Des individus présentant un comportement de dévalaison en post-reproduction ou une activité importante, ont dévalé jusqu'au barrage de Lorcé. Plusieurs localisations en amont du barrage de Lorcé, ont démontré une impossibilité de dévaler étant donné la configuration du barrage lorsque toute l'eau est turbinée. En effet, lors d'un phénomène de crue ($Q > 80 \text{ m}^3/\text{s}$, $\text{module} = 15 \text{ m}^3/\text{s}$), le franchissement du barrage de Lorcé vers l'aval a pu être possible pour un individu. En revanche, un hotu qualifié de très mobile, s'est présenté face au barrage plusieurs fois en 2012 alors que l'exutoire de dévalaison était en fonctionnement (cf. chapitre VII). Aucune localisation proche de l'exutoire n'a été réalisée. L'efficacité de l'exutoire a été évaluée durant deux années consécutives sur des smolts de saumon atlantique (espèce amphibiotique, cycle biologique eau douce-eau de mer) mais ces résultats doivent être affinés lors d'un second projet consistant à piéger tous les poissons dévalant. Ce projet apportera également beaucoup d'informations très utiles sur le comportement d'espèces holobiotiques tels que le hotu, le barbeau et la truite et définira leur capacité à utiliser un dispositif de dévalaison.

Implication des résultats obtenus à la conception d'une passe à poissons au niveau de la cascade de Coo

Les suivis par radio-pistage en 2011-2012, des hotus et des barbeaux ont permis d'acquérir un ensemble de données sur le comportement des poissons face à la cascade de Coo lors de phénomènes de migration et/ou de déplacement vers l'amont. Pour des raisons évoquées plus haut, les truites communes n'ont pas effectué de recherches de voies de passages à la cascade de Coo et leur comportement n'a donc pas été pris en compte dans cette analyse. Au total sur les 14 individus radio-pistés (barbeaux et hotus), 11 individus ont été localisés juste en aval de la cascade (4 barbeaux et 7 hotus).

L'analyse du comportement des barbeaux (2011-2012) indique une utilisation de l'habitat différente selon que ce soit un individu « natif » (capturé et relâché en aval de la cascade montrant peu de signe d'activité durant tout le suivi) ou un individu « non-natif » (transloqué et relâché à 1km en aval de la cascade) et qui se sont montrés plus explorateurs. Les individus explorateurs ont uniquement occupé la coulée créée par le rejet de la CHE de Coo-dérivation. Aucune approche des chutes de la cascade n'a été enregistrée. En revanche, l'utilisation de

l'habitat pour les deux barbeaux « natifs » est très différente, avec des localisations au niveau de la coulée mais aussi proche de la cascade ainsi que deux localisations dans le chenal de restitution de la CHE de Coo-dérivation. Cette différence de comportement indique que des barbeaux en recherche de voies d'accès vont être attirés par la coulée (zone profonde à courant fort) alors que des individus résidents vont exploiter la multitude d'habitats disponible dans cette zone aval incluant la zone profonde juste en aval de la cascade. Ces habitats font probablement partie de leur domaine vital quotidien dans lequel ils effectuent des changements de zones pour le repos et l'alimentation.

L'analyse du comportement (2011-2012) des hotus transloqués (non-natifs) montre une utilisation de l'habitat légèrement différente de celle des barbeaux. Les localisations, montrent une concentration des localisations à près de 80 % au niveau de la coulée. Plusieurs localisations ont été réalisées en amont du rejet du chenal de restitution, au minimum à 15 mètres en aval de la cascade de Coo. Ces localisations montrent que les poissons recherchent une voie d'accès en s'approchant de la cascade mais en restant en rive gauche (aucune localisation en rive droite) sous l'influence du courant créé par l'eau venant de la grande et de la petite cascade. On notera la localisation d'un hotu dans le chenal de restitution, ce qui indique que l'espèce peut également rechercher une voie d'accès via ce chenal.

Des suivis complémentaires, incluant des sessions continues sur plusieurs heures de radiopistage aussi bien de jour que de nuit ont été effectués en juin 2013 sur 5 barbeaux (à la demande du comité d'accompagnement du projet, d'acquérir des données de nuit). Grâce à ces suivis, lors de leur période de migration de reproduction, leur comportement a pu être analysé juste en aval de la cascade de Coo. Quatre barbeaux ont pu être suivis de jour et trois de nuit, augmentant le nombre de localisation en aval de la cascade de n=174. Cependant, lors de ces suivis, la configuration de la zone aval de la cascade était différente, le chenal de restitution était inaccessible en raison d'une maintenance de la CHE de Coo-dérivation impliquant la mise à sec du chenal. Les suivis ont permis tout de même de mettre en évidence des comportements similaires à ce qui avait été observé lors des suivis en 2011-2012. De jour, les barbeaux ont été localisés majoritairement dans la coulée. Néanmoins, l'approche de la cascade de deux barbeaux en journée a été réalisée en rive gauche, dans la veine de courant créée par le rejet des deux

cascades. Cette même zone a été utilisée par les barbeaux lors de leur recherche d'une voie d'accès vers l'amont durant les suivis de nuit.

Ces suivis individuels montrent la nécessité d'aménager une passe migratoire dans le sens de la montaison. En effet, l'analyse comportementale des individus en période de migration de reproduction prouve que des poissons ont recherché des voies d'accès vers l'amont afin de franchir la cascade de Coo (obstacle classé comme infranchissable) mais ont choisi de migrer vers l'aval pour trouver des habitats propices à leur reproduction. Les résultats des recensements piscicoles en aval de la cascade (cf. chapitre III) confirment qu'il existe toujours chez des poissons de nombreuses espèces, présents dans le bief Coo-Lorcé, un instinct migratoire.

D'un point de vue général, 525 localisations de 15 individus ont permis de dégager les conclusions suivantes :

- Aucune tentative de recherche de voies d'accès en rive droite proche de la cascade n'a été constatée (0 localisation sur 525). L'installation d'une passe à poissons en rive droite ne serait donc pas appropriée car elle présenterait un faible attrait et donc une faible efficacité.
- Les poissons étudiés (espèces rhéophiles) lors de leur recherche de voies d'accès vers l'amont utilisent préférentiellement des habitats présentant une vitesse de courant importante et une certaine profondeur. Les deux zones du secteur aval de la cascade possédant ces caractéristiques sont la coulée créée par le rejet de chenal de restitution et la veine de courant créée par le rejet des deux cascades.
- Le chenal de restitution de la CHE de Coo-dérivation a également été emprunté par des individus en recherche d'une voie d'accès vers l'amont. Bien que ces localisations soient en faible nombre, une passe à poissons pourrait potentiellement se situer dans le prolongement de ce chenal.
- L'ensemble des résultats obtenus démontre qu'il serait peut-être plus intéressant d'envisager un aménagement de l'habitat pour attirer les poissons depuis la coulée jusqu'au pied de la cascade en rive gauche, où l'entrée de la passe à poissons serait placée.
- Nos résultats concernent des espèces de poissons rhéophiles de grandes tailles considérées comme prioritaires et les conclusions ne peuvent pas être généralisées à

l'ensemble du peuplement piscicole de l'Amblève (petites espèces, autres catégories écologiques, individus non géniteurs). En complément des suivis des truites, barbeaux et hotus, le cas de l'ombre aurait été particulièrement intéressant, mais il n'a pas été possible de l'étudier au cours de notre projet.

VI. CARACTERISATION DE LA DEVALAISON DE SMOLTS DE SAUMON ATLANTIQUE DANS L'AXE COO-LORCE

VI.1. Introduction

Le but de cette action est de caractériser par radio-pistage les patrons de migrations d'espèces amphihalines diadromes dans le secteur de l'Amblève fragmenté par les sites hydroélectriques de la cascade de Coo et du barrage de Lorcé. Bien que de nombreuses études soient consacrées à l'impact des barrières physiques à la libre circulation dans le sens de la montaison (Lucas & Baras, 2002 ; Ovidio & Philippart, 2002 ; Silva et al., 2010), il existe moins d'étude sur leur impact dans le sens de la dévalaison. En effet, les poissons sont obligés d'utiliser des voies de passages parfois peu ou pas du tout adaptées à la dévalaison. Ces voies sont les turbines, les conduites forcées ainsi que les déversoirs et elles peuvent causer des dégâts physiques et physiologiques considérables aux poissons. Par exemple, le passage par les turbines hydrauliques peut occasionner des blessures et porter atteinte à la survie des poissons. Un risque de choc existe sur les parties fixes ou mobiles de la turbine comme au niveau des directrices, des aubes ou des pales de la roue. Selon le type de turbine, le passage par exemple de smolts en dévalaison peut être plus ou moins meurtrier. Les grandes turbines à vitesse réduite sont souvent peu meurtrières par rapport aux petites turbines ayant une vitesse de rotation élevée et une distance plus courte entre les pales (Cook et *al.*, 1997). Le passage par les déversoirs peut entraîner des mortalités causées par des blessures ou des chocs suite à un cisaillement hydraulique, à une abrasion sur les déversoirs et aux turbulences en pied de chute. A la sortie du déversoir, le poisson peut rester dans le jet d'eau ou se désolidariser du jet et tomber en chute libre. S'il atteint alors une vitesse de plus de 16m/s, il peut subir des lésions au niveau des branchies, des yeux et des organes internes (Larinier et Travade, 1999). Les chutes d'eau aux sorties des déversoirs dépassent rarement la dizaine de mètres et la dévalaison par les déversoirs peut se faire sans préjudice si la profondeur d'eau au pied du barrage est suffisante. Cependant les différentes voies de passages possibles ne sont pas l'unique problème. Les barrages peuvent favoriser la prédation par des oiseaux et des poissons piscivores. Suite à la diminution de vitesse du courant et au délai de recherche d'une voie de passage vers l'aval, on assiste à une concentration et à un épuisement des poissons dans les retenues en amont des obstacles

(Jepsen et *al.*, 1998). Enfin, le passage par une turbine hydroélectrique, une chute importante, de brusques variations de vitesses et de pressions peuvent choquer, blesser et stresser les poissons et les rendre plus sensibles aux blessures, à la prédation, aux parasites et aux maladies. Il est donc clair que le cumul de ces ouvrages hydroélectriques sur nos cours d'eau entraîne en plus un retard important dans les timings de migration qui pour certaines espèces comme le saumon atlantique peut s'avérer fatal.

Le saumon atlantique, *Salmo salar*, espèce utilisée lors de cette action, est un bon modèle biologique car à son stade juvénile smoltifié (ou « smolt »), les smolts doivent dévaler jusqu'à la mer afin de compléter leur cycle biologique. La smoltification est une préadaptation à la vie océanique qui rend les saumons capables de survivre à la transition entre un milieu dulcicole et un environnement marin. Le smolt n'aura l'occasion de migrer qu'au cours d'une courte période appelée «fenêtre comportementale» et il est important de pouvoir estimer les retards occasionnés par les ouvrages hydroélectriques qui vont retarder le saumon dans sa dévalaison vers la mer.

L'objectif de cette action est d'apporter des informations sur le comportement de dévalaison de smolts de saumon atlantique dans l'axe Lorcé-Coo (Amblève) plus particulièrement à l'approche de 2 sites hydroélectriques (figure 1) représentés par la cascade de Coo (incluant Coo-dérivation) et le barrage de Lorcé. Trois problématiques ont été étudiées :

- les comportements de dévalaison des smolts à l'approche de la cascade de Coo en étudiant le choix entre le passage par la chute ou le passage par la microcentrale (déversoir ou turbine) ainsi que d'évaluer le taux de mortalité suite au passage par la cascade ou la microcentrale;
- les comportements de dévalaison des smolts à l'approche du barrage de Lorcé en déterminant l'influence de la configuration du barrage (déversoirs, débit) sur les comportements de recherche de voies de passage et notamment du prototype d'exutoire de dévalaison de Lorcé ;
- Etudier les vitesses et périodicités de migrations ainsi que les retards occasionnés par les ouvrages hydroélectriques.

Cette action consiste en une étude à l'échelle de l'individu grâce à la télémétrie permettant un suivi plus précis et sur de plus longues distances. Elle est complémentaire à la dernière action (cf. chapitre VII) qui est une étude plus populationnelle via l'utilisation de la technologie RFID.

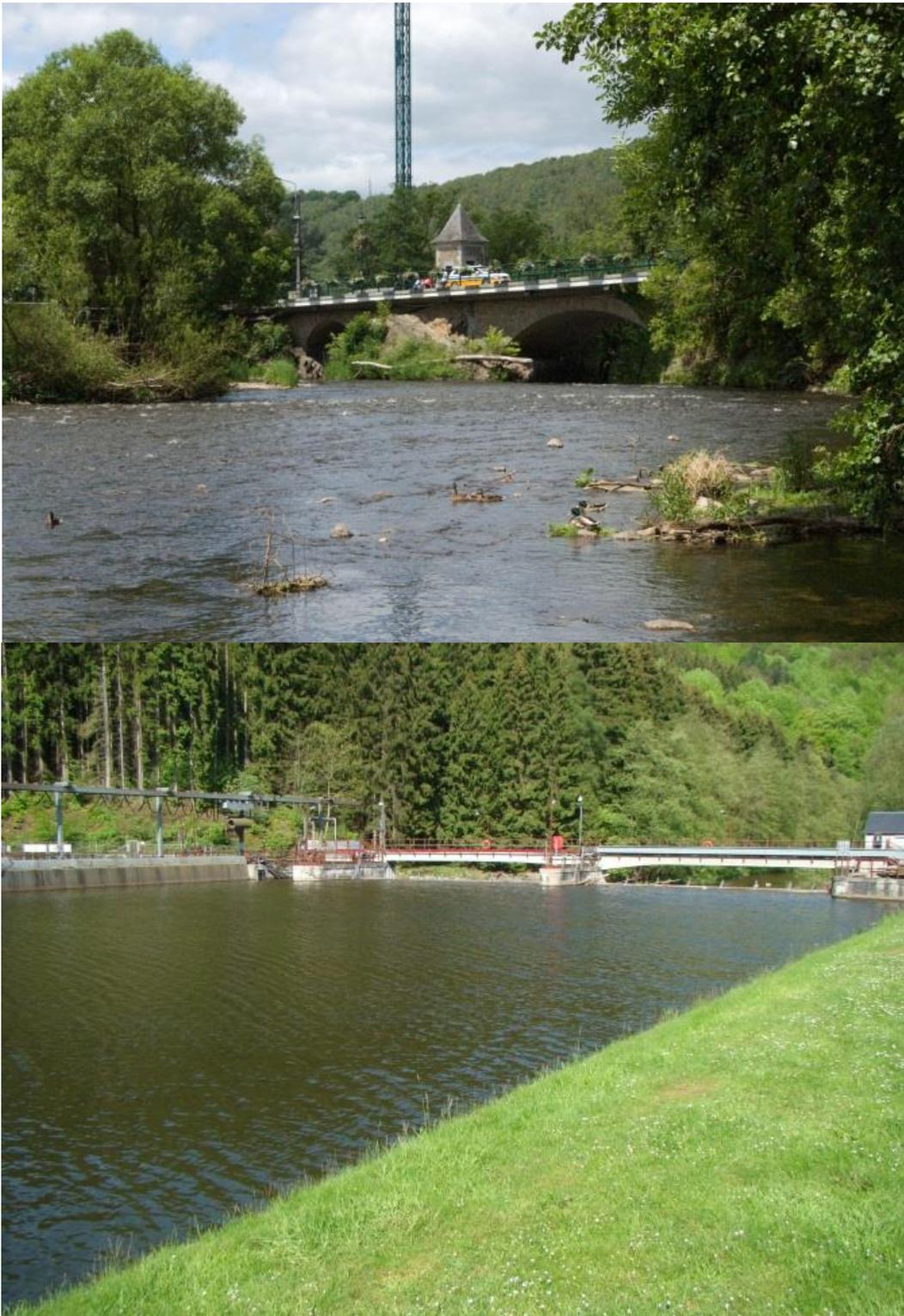


Figure 1 : Vue amont de la cascade de Coo (en haut) et vue amont du barrage de Lorcé (en bas), deux sites hydroélectriques présents sur l'Amblève et séparés de 17km

VI.2. Méthodologie

VI.2.1. Sites d'étude

VI.2.1.1. La cascade de Coo

Créée artificiellement au Moyen-Age par recouplement d'un méandre de l'Amblève, la cascade de Coo consiste en une chute de 11,8m de haut. Elle est située à 39,7km de l'embouchure de l'Amblève dans l'Ourthe et 17km en amont du barrage de Lorcé. La construction de la centrale hydroélectrique (CHE) à accumulation de Coo (figure 2) au début des années 1970, a impliqué la transformation du méandre du Tour de Coo en une retenue artificielle de 8 450 000 m³, appelé bassin inférieur (altitude 270 m), contenue entre deux barrages-poids. Dans le même temps, un bassin supérieur (altitude 509 m) de 8 540 000m³ a été construit et relié par une conduite forcée souterraine, à une salle des machines abritant 6 turbines Francis à axe vertical. Elles sont capables de turbiner au total 522 m³/s (3 x 65 m³/s et 3x 109 m³/s) en développant pendant 4 à 6 heures une puissance de 1100 MW. Pendant la nuit, les turbines fonctionnent comme des pompes et remontent l'eau du bassin inférieur vers le bassin supérieur en utilisant de l'énergie produite à plus faible coût par d'autres centrales électriques classiques ou nucléaires. La CHE de Coo-Pompage fonctionne pratiquement en circuit fermé et n'a pas d'autres impacts significatifs sur l'écologie de l'Amblève que celui lié à la maximalisation de l'effet barrière de la cascade de Coo dès sa construction (Philippart et al., 2011).

Par ailleurs, la dénivellation de 7m entre le début et la fin de l'ancien méandre de Coo a été valorisée par l'installation en 1990-1991 d'une CHE au fil de l'eau dite de Coo-Dérivation (turbine Kaplan à hélices variables), avec une capacité maximale de turbinage de 7m³/s et de production de 400 kW. Le bras court-circuité a été dévié vers un chenal latéral (canal d'amenée, figure 4) qui revient dans l'Amblève en rive gauche en aval de la cascade sous forme de chenal (chenal de restitution, figure 8). Bien que le passage par la cascade puisse s'avérer dangereux pour les poissons avec ses 11,8m de hauteur (figure 3), si les poissons empruntent le canal d'amenée, ils seront confrontés à d'autres obstacles. Ils peuvent soit choisir d'emprunter la conduite amenant l'eau à la turbine (considérée comme non « fish friendly ») (figures 5 et 6) soit choisir de passer par la surverse (figure 7) lorsqu'il y en a une. Cette dernière est formée par une chute d'eau de

7m de haut et redirigée directement vers le chenal de restitution. Si on se réfère à Larinier et Dartiguelongue (1989), l'équation permettant de calculer la mortalité des smolts qui passent par une turbine Kaplan est la suivante :

$$P = [\sin (13.4 + 42.8 (TL/esp))]^2$$

Avec TL = taille du poisson en m et esp = espacement à mi-pale en m

La taille moyenne des smolts de saumon utilisés pour cette action est de 174mm (tableau 1), et en prenant un espacement à mi-pale de 0,785m (turbine de 1m de diamètre possédant 4 pales), le taux de mortalité théorique pour la turbine de la CHE de Coo-dérivation approche les 10,5%.

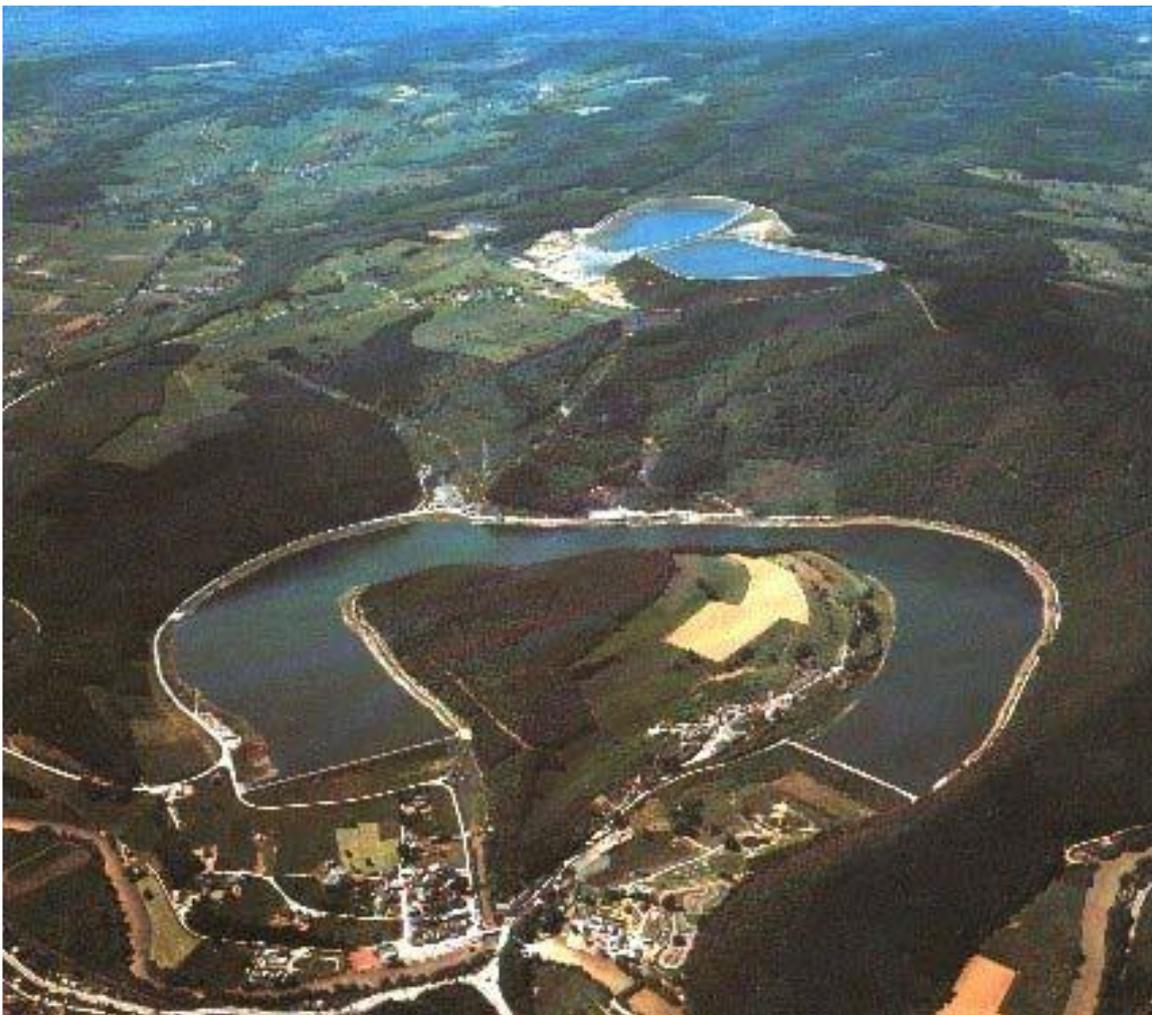


Figure 2 : Vue aérienne de la centrale hydroélectrique de Coo-pompage incluant les bassins de retenues et le bras de rivière court-circuité



Figure 3 : Vue aérienne de la cascade de Coo sur l'Ambève (amont à droite et aval à gauche)

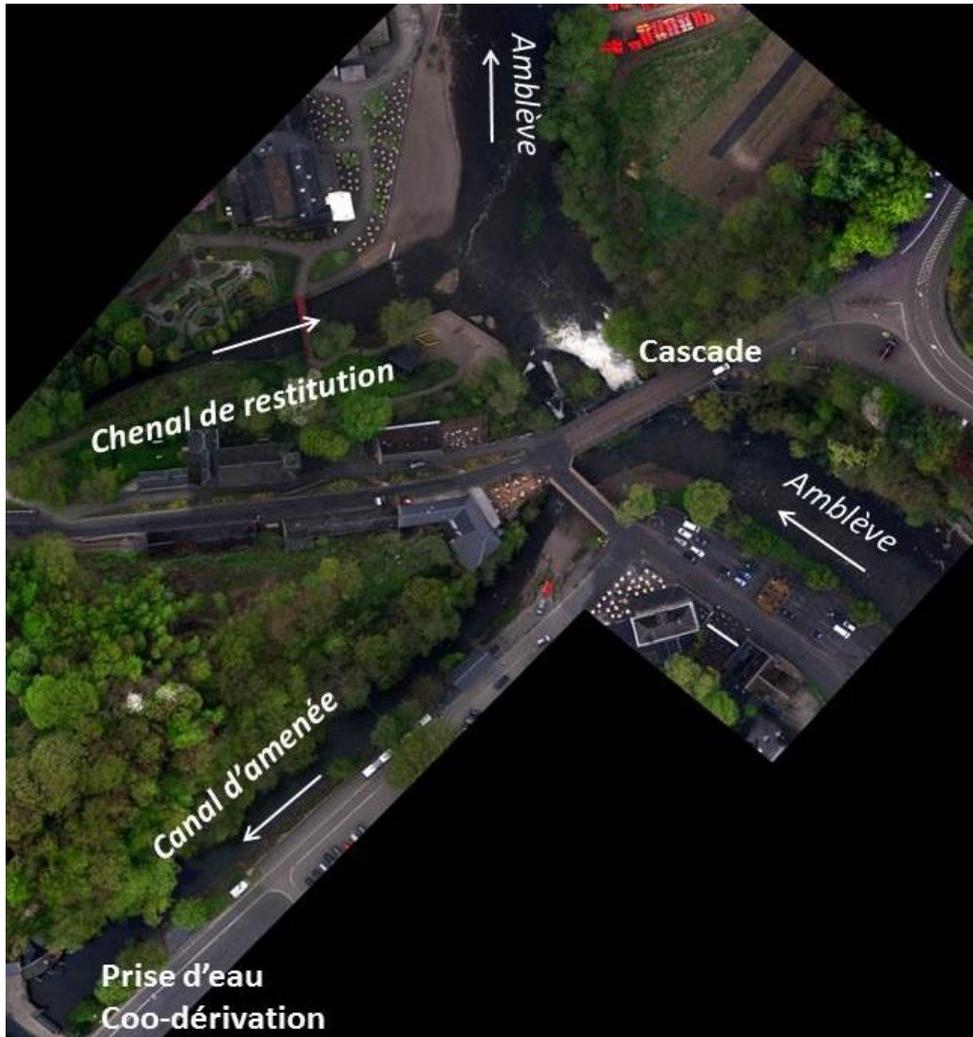


Figure 4 : Vue aérienne de la centrale hydroélectrique de Coo-dérivation où l'on observe le canal d'amenée et le chenal de restitution situés respectivement en amont et en aval de la cascade de Coo sur l'Ambève



Figure 5 : Prise d'eau de la CHE de Coo-dérivation (Amblève)



Figure 6 : Prise d'eau de la CHE de Coo-dérivation lorsque le canal d'amenée a été mis à sec en juin 2013



Figure 7 : Vue aval de la prise d'eau de la CHE de Coo-dérivation avec les 7m de chutes d'eau en surverse



Figure 8 : Chenal de restitution de la CHE de Coo-dérivation au niveau de l'Amblève en aval de la cascade Coo

VI.2.1.2. Le barrage de Lorcé

Le barrage mobile de Lorcé situé à 22,9 km de l'embouchure dans l'Ourthe (figure 11), sert de retenue d'eau (50 000m³) afin d'alimenter par une conduite forcée, la CHE de Heid de Goreux. Le barrage de prise d'eau de Lorcé est un ouvrage constitué de deux vannes mobiles couvrant une largeur de 24 m et créant une chute de Dh=3,3m. A côté des deux vannes de régulation, se trouve une vanne de vidange qui sert à vider complètement la retenue, à accroître l'écoulement des débits de crue et, jusqu'en 1993, à laisser passer un débit réservé de 3 m³/s en surverse. Mais depuis 1993, ce débit réservé est turbiné. Le court-circuitage de l'Amblève par la conduite forcée entraîne sur un tronçon de rivière de 8 km une réduction du débit naturel jusqu'à un minimum de 3 m³/s correspondant au débit réservé légal.

Au moment du renouvellement du permis d'exploiter le complexe hydroélectrique, le Service Public de Wallonie a imposé à l'exploitant Electrabel la construction d'une échelle à poissons moderne en remplacement de l'échelle d'origine (1932) jugée inefficace (figure 9). La nouvelle échelle de Lorcé (figure 10) fonctionne depuis octobre 2007 et son efficacité a fait l'objet d'une étude approfondie par la DCENN avec l'appui du LDPH-ULg (Ovidio et al., 2009 ; Ovidio et al., 2011 et cf. chapitre IV).

La production d'électricité à Heid de Goreux est assurée par deux turbines Francis de 12 et 14 m³/s (figure 12) soit une capacité maximale de turbinage de 26m³/s (minimum 3,5 m³/s) sous une hauteur d'eau de 37m et pour une puissance nominale totale d'environ 7000kW. La vitesse de rotation des roues est de 375trs/min. Les facteurs qui influencent la mortalité dans les turbines Francis sont : la vitesse d'entrée de l'eau dans la roue qui dépend notamment de la hauteur de la chute, la vitesse de rotation de la roue et le rapport entre la longueur du poisson et la distance entre les aubes. Pour les jeunes salmonidés d'une taille TL exprimée en m, le taux moyen de mortalité est obtenu au moyen de la formule :

$$\text{Arc sin (\% mortalité)}^{0.5} = 6,54 + 0,218 \text{ HN} + 118 \text{ TL} - 3,88 \text{ Dm} + 0,078 \text{ N}$$

Avec HN = hauteur nominale de chute en mètres, Dm = diamètre en entrée de la roue à mi-aube en mètres et N = vitesse de rotation en tours/minute.

En tablant sur un diamètre de roue de 1,25 m pour les turbines Francis de Heid de Goreux on a, pour des salmonidés de 15 cm :

$\text{Arc sin } (\% \text{ mortalité})^{0.5} = 6,54 + 0,218 \times 40 + 118 \times 0,15 - 3,88 \times 1,5 + 0,0078 \times 375$. D'où l'on tire
 $M \% = 31\%$

Comme résultat d'observations directes sur un site hydroélectrique comparable à celui de Heid de Goreux, on dispose d'un chiffre de mortalité de l'ordre de grandeur de 42 % pour des jeunes salmonidés d'une quinzaine de cm injectés dans une turbine Francis du barrage de Poutes sur l'Allier. Cette turbine a les caractéristiques suivantes : une alimentation par une conduite forcée de 9km formant une chute de 61,5m, un débit nominal d'environ 14m³/s et puissance nominale de 8,4MW et une roue de 1,15m de diamètre en entrée, 1,45m en sortie et constituée de 14 aubes tournant à une vitesse de 428 trs/min (Philippart et al., 2010).

Au niveau du barrage de Lorcé avec une hauteur de chute de 3,5 m, le débit réservé est exploité au moyen d'une turbine Francis de 3 m³/s et 51 kW dont la vitesse de rotation est de 136 trs/min (figure 13).

$\text{Arc sin } (\% \text{ mortalité})^{0.5} = 6,54 + 0,218 \text{ HN} + 118 \text{ TL} - 3,88 \text{ Dm} + 0,078 \text{ N}$

$\text{Arc sin } (\% \text{ mortalité})^{0.5} = 6,54 + 0,218 \times 3.5 + 118 \times 0.15 - 3.88 \times 0.7 + 0.0078 \times 136$

M=23.3%

La prise d'eau latérale (rive gauche) dans la retenue de Lorcé, commune pour les deux installations de turbinage, est protégée par une grille métallique constituée de barreaux espacés de 4 cm. Cette grille est régulièrement nettoyée au moyen d'un dégrilleur automatique et les déchets récoltés sont restitués à la rivière en aval du barrage.



Figure 9 : Vue aval de l'ancienne échelle à poissons installée au barrage de Lorcé (Amblève) entre 1932 et 2007



Figure 10 : Vue aval de la nouvelle échelle à poissons du barrage de Lorcé (Amblève) à partir de 2007

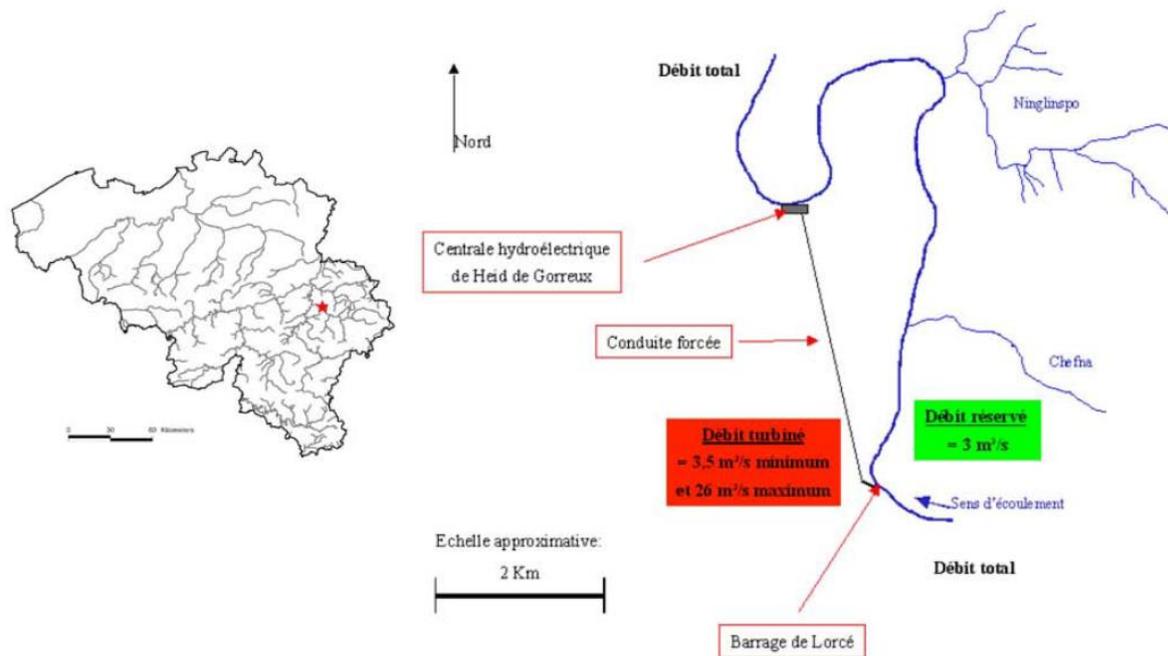


Figure 11 : Cours de l’Ambève dans la zone d’influence du complexe hydroélectrique barrage retenue de Lorcé/ centrale de Heid de Goreux



Figure 12 : Turbines FRANCIS de la CHE de Heid de Goreux sur l’Ambève



Figure 13 : Turbine FRANCIS de 3m³/s installée au barrage de Lorcé (Amblève), l'eau du débit réservé y est turbinée.

VI.2.2. Origine des smolts radio-pistés

L'opération d'implantations d'émetteurs radio a été effectuée sur 15 smolts de saumon atlantique (figure 15) afin de former trois groupes de 5 individus. Le premier groupe (Gr. A) provenait de smolts capturés à l'exutoire de dévalaison de Méry sur l'Ourthe (figure 14) dans l'optique d'étudier le comportement d'individus dont le processus de dévalaison était déjà engagé. Les deux autres groupes (Gr. B et Gr. C) provenaient de la pisciculture d'Erezée. En effet, suite à l'observation d'un long temps d'adaptation pour les smolts provenant de Méry lors des premiers suivis, nous avons opté pour la solution d'étudier le comportement de poissons provenant de la pisciculture d'Erezée.



Figure 14 : Smolt de saumon atlantique capturé à Méry dans l'Ourthe et utilisé dans notre étude de radio-pistage.

VI.2.3. Marquages et suivis téléométriques

VI.2.3.1. Marquage

Les émetteurs radio (ATS®) utilisés mesurent 15 mm de longueur, 7 mm de diamètre, pèsent 1 gramme et possèdent une antenne filaire externe (figure 15). Chaque émetteur possède une durée de vie théorique de 20 jours. L'insertion des émetteurs s'est déroulée sur le site du barrage de Lorcé pour chaque groupe. Avant chaque marquage, tous les instruments et les transpondeurs ont été désinfectés et les poissons anesthésiés à l'aide de 2-phénoxyéthanol (concentration de 2ml de phénoxyéthanol pour 10l d'eau). L'incision qui permet l'implantation chirurgicale de l'émetteur a été pratiquée en arrière de la ceinture pelvienne dans la cavité intrapéritonéale du smolt. A l'aide d'une sonde cannelée, l'antenne externe est introduite par un autre orifice pour ne pas occasionner de blessures au smolt une fois celui-ci relâché. Des sutures ont été effectuées par deux points en «U», à l'aide d'un fil semi-résorbable et d'une aiguille courbe. Un liquide désinfectant a ensuite été appliqué sur les pourtours de la cicatrice. De plus, un transpondeur RFID a été inséré dans chaque poisson afin de détecter leur présence à l'entrée de l'exutoire installé au printemps 2012 au barrage Lorcé. Cet exutoire est muni d'une antenne d'autodétection RFID (cf. chapitre VII) qui nous permet de vérifier l'éventuelle présence des individus dans un rayon de 30cm.

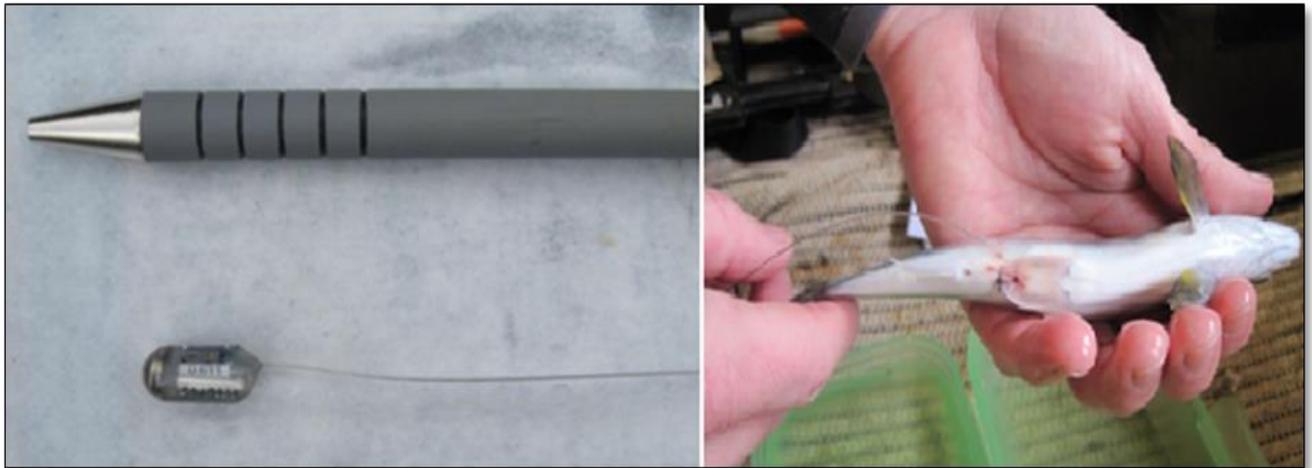


Figure 15 : Emetteur radio de 1g (à gauche) et smolt muni d'un émetteur radio (à droite)

VI.2.3.2. Suivis téléométriques

De la même manière que les barbeaux, hotus et truites radiopistés, les smolts de saumon atlantique ont été localisés à l'aide de récepteurs radio manuels munis d'antennes type « fouet » ou d'antennes directionnelles. Les localisations ont été effectuées en continu durant plusieurs heures pour la première phase de transition jour/nuit, lors de chaque session de suivi des smolts. Les jours suivant la remise en milieu naturel, elles ont été réalisées au minimum deux fois par jour et ce jusqu'au passage des smolts au-delà du barrage de Lorcé. Lorsque les smolts montraient une tendance à rester en amont du barrage de Lorcé, leurs positions ont été notées toutes les dix minutes au cours des soirées durant lesquelles ils sont restés à proximité de l'exutoire de dévalaison.

Trois groupes (A, B et C : tableau 1) de 5 individus ont été déversés à trois dates et deux lieux différents (figure 16):

- Le 10/04/2012 : Groupe A, au pont de Naze (figure 16) à 1,075km en amont du barrage de Lorcé à 16h10 ;

- Le 23/04/2012 : Groupe B, 200m en amont de la cascade de Coo (figure 16) et 19,4km en amont du barrage de Lorcé à 14h30 ;

- Le 10/05/2012 : Groupe C, 200m en amont de la cascade de Coo (figure 16) et 19,4km en amont du barrage de Lorcé à 19h30.

Le groupe A a été relâché au niveau du pont de Naze, 1 km en amont du barrage de Lorcé afin d'étudier le comportement des smolts à l'approche du barrage et face à l'exutoire. Les groupes B et C ont été relâchés en amont de la cascade de Coo afin d'étudier leurs comportements à l'approche de la cascade et de connaître les voies préférentiellement empruntées par les smolts entre la cascade et le canal d'amenée de la microcentrale de Coo lors de leur dévalaison. Le tableau 1 est le récapitulatif des données de départ pour chaque smolt reprenant son numéro d'émetteur radio, le transpondeur RFID, son groupe, son lieu de provenance, sa date et son lieu de déversement, sa taille, son poids et son rapport entre le poids de l'émetteur et son poids. Ce rapport ne devrait idéalement pas dépasser les 2-3% ce qui est notre cas dans cette étude.

Tableau 1 : Caractéristiques des smolts radio-pistés avec son numéro de radio-émetteur, son numéro de marque RFID, son groupe, son lieu de provenance, sa date de déversement, son lieu de déversement, sa taille en mm (Lf), son poids en g et son rapport poids émetteur/poids.

N°smolt	Marque RFID	Groupe	Lieu de provenance	Date déversement	Lieu de déversement	Taille (mm)	Poids (g)	Rapport poids émetteur/poisson
1	A81025B	A	Méry	10/04/2012	Pont de Naze	192	66	1,5%
2	A80FAE2	A	Méry	10/04/2012	Pont de Naze	180	53	1,9%
3	A81026B	A	Méry	10/04/2012	Pont de Naze	180	53	1,9%
4	A810259	A	Méry	10/04/2012	Pont de Naze	181	52	1,9%
5	A6C4B19	A	Méry	10/04/2012	Pont de Naze	169	48	2,1%
6	A6C4B22	B	Erezée	23/04/2012	Amont Coo	160	43	2,3%
7	A6C4B28	B	Erezée	23/04/2012	Amont Coo	166	47	2,1%
8	A6C4B21	B	Erezée	23/04/2012	Amont Coo	170	47	2,1%
9	A6C4B1D	B	Erezée	23/04/2012	Amont Coo	167	48	2,1%
10	A6C4B34	B	Erezée	23/04/2012	Amont Coo	171	51	2,0%
11	a6c4b8a	C	Erezée	10/05/2012	Amont Coo	182	59	1,7%
12	a6c4b9d	C	Erezée	10/05/2012	Amont Coo	174	55	1,8%
13	a6c4b9b	C	Erezée	10/05/2012	Amont Coo	169	52	1,9%
14	a6c4b94	C	Erezée	10/05/2012	Amont Coo	172	54	1,9%
15	A6C4B98	C	Erezée	10/05/2012	Amont Coo	175	52	1,9%



Figure 16 : Plan des deux sites de déversements des smolts radio-pistés. Point orange = lieux de déversement : 200m amont de la cascade de Coö et 1km en aval du barrage de Lorcé.

VI.2.4. Données environnementales

La température de l'eau (températures journalières maximales, minimales et moyennes) a été enregistrée à une fréquence horaire par des enregistreurs de température installés à Lorcé et à Coö par le LDPH-ULg. Le débit de l'Amblève a été enregistré par un limnigraphe du SETHY (SPW), installé à Targnon en amont de la confluence avec la Liègne. Les données ont été récoltées à un rythme d'une mesure toutes les heures.

Deux jaugeages ont été effectués par le SPW-Direction des Cours d'Eau Non Navigables juste en amont de la cascade de Coö afin d'établir la répartition des débits entre la cascade de Coö et le canal d'amenée de Coö-dérivation dans différentes conditions hydrologiques. Ces deux jaugeages ont été réalisés le 12 février 2013 et le 4 avril 2013 lorsque la turbine de la micro-centrale de Coö dérivation fonctionnait. Les données d'abaissement des vannes du barrage de Lorcé et de puissances des turbines de la centrale de Heid de Goreux ont été fournies par Electrabel, service technique de la centrale hydroélectrique de Coö.

VI.3. Résultats

VI.3.1. Conditions environnementales durant les suivis

Température et débit

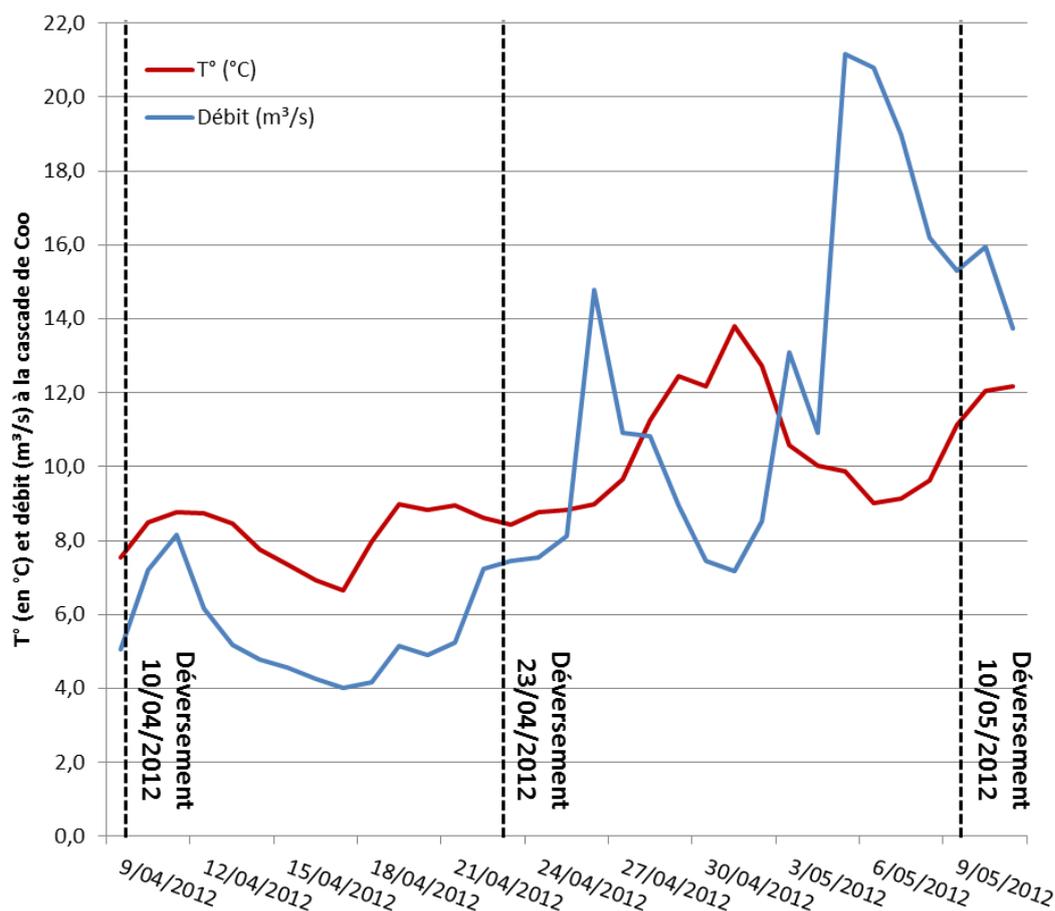


Figure 17 : Evolution de la température (°C) et du débit (m³/s) sur le trignon Lorcé-Coo durant les suivis par radio pistage des smolts de saumons atlantiques en dévalaison.

La température moyenne journalière de l'Amblève au niveau de Coo (figure 17) a augmenté continuellement au cours de l'étude (9 avril 2012 au 11 mai 2012) avec une température moyenne journalière au début du suivi de 7,5°C et une température moyenne journalière à la fin du suivi de 12,2°C. Néanmoins des variations plus importantes ont été observées durant l'étude avec un minimum de 6,8°C le 18 avril 2012 et un maximum de 13,9°C le 2 mai 2012.

Le débit moyen journalier de l'Amblève à Targnon fourni par le SETHY (SPW) (figure 17) n'a pas été constant durant l'étude. Le débit moyen journalier du premier jour de suivi était de 5m³/s et

a augmenté de $3\text{m}^3/\text{s}$ jusqu'au 12 avril 2012. Ensuite, entre le 13 avril et le 10 mai 2012, on constate une première diminution jusqu'à $4\text{m}^3/\text{s}$ suivie de deux pics de débit, un premier le 27 avril 2012 atteignant $15\text{m}^3/\text{s}$ et un second pic plus important le 7 mai 2012 atteignant un peu plus de $21\text{m}^3/\text{s}$. Le dernier jour de suivi, le débit moyen journalier était de $14\text{m}^3/\text{s}$.

Répartition des débits en amont de la cascade de Coo

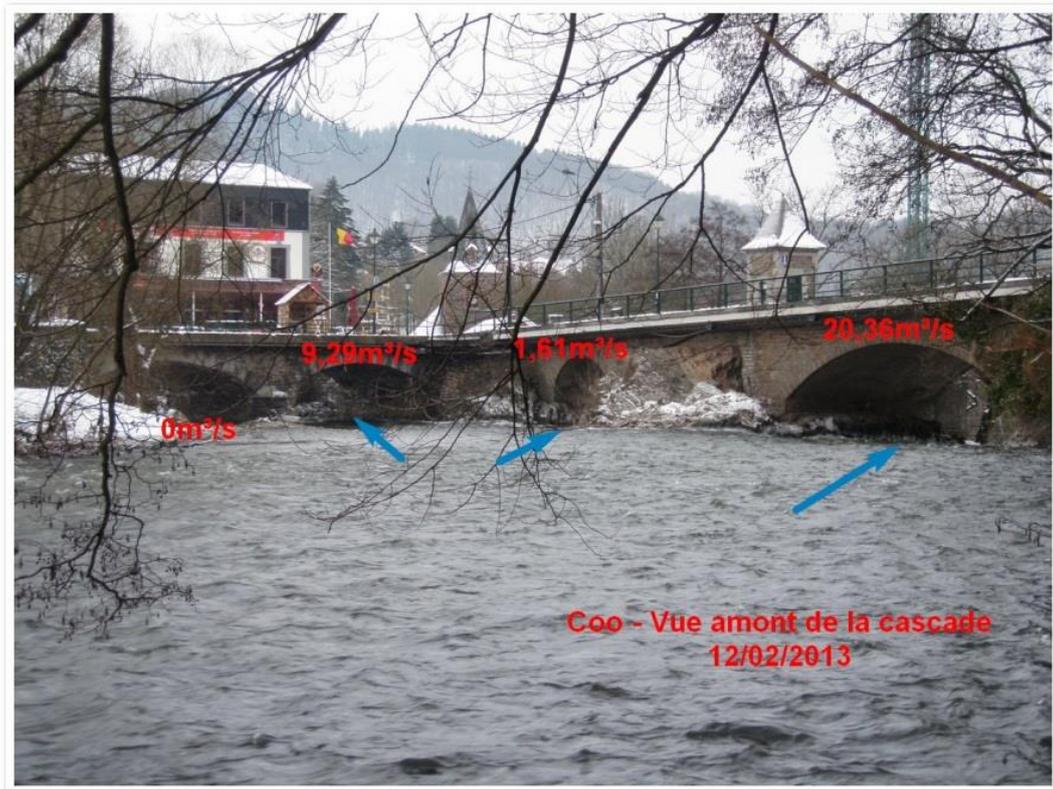


Figure 18 : Répartition des débits en amont de la cascade de Coo, le 12 février 2013 (photo SPW)

Le jaugeage du 12/02/2013 a été réalisé par la DCENN lorsque le débit était de $31,26\text{m}^3/\text{s}$ (figure 18), débit non observé durant notre étude de radio-téléométrie. Ce débit est deux fois supérieur au module de l'Amblève qui est de $15\text{m}^3/\text{s}$. Le débit passant par la « grande » cascade de Coo est de $20,36\text{m}^3/\text{s}$ représentant 65% du débit total. Pour la « petite » cascade de Coo, le débit est de $1,61\text{m}^3/\text{s}$ représentant 5% du débit total. Enfin, le débit du canal d'amenée était de $9,29\text{m}^3/\text{s}$ c'est-à-dire 30% du débit total.



Figure 19 : Répartition des débits en amont de la cascade de Coo, le 4 avril 2013 (photo SPW)

Le jaugeage du 04/04/2013 a été réalisé par la DCENN lorsque le débit était de $6,453\text{m}^3/\text{s}$ (figure 19). Le débit total est légèrement inférieur à la moitié du module. Le débit passant par la « grande » cascade de Coo est de $3,5\text{m}^3/\text{s}$ représentant 54% du débit total. Pour la « petite » cascade de Coo, le débit n'est que de $0,15\text{m}^3/\text{s}$ représentant 2% du débit total. Enfin, le débit du canal d'amenée est de $2,852\text{m}^3/\text{s}$ c'est-à-dire 44% du débit total. A l'inverse du premier jaugeage, où le débit lors de la mesure était supérieur aux débits observés lors de nos suivis, le débit du second jaugeage était proche des débits rencontrés.

On observe d'après ces deux jaugeages que plus le débit est faible, plus le pourcentage d'eau passant par le canal d'amenée est important. Il est néanmoins nécessaire d'effectuer d'autres jaugeages afin d'établir avec certitude une relation entre le débit total et la répartition des débits en amont de la cascade de Coo.

Abaissement des vannes mobiles du barrage de Lorcé

Le barrage de Lorcé est équipé de deux vannes mobiles automatiques (figures 20 et 21) et d'une vanne secteur manuelle, leur abaissement (figure 22) peut faciliter le passage des poissons vers

l'aval sans devoir emprunter l'exutoire. Durant la période de suivi par radiopistage les vannes 1 et 2 (figure 21) ont été abaissées :

- le 17/04/2012 de 3h40 à 7h : léger abaissement de la vanne 1
- le 3 mai 2012 de 16h à 16h20 : Abaissement complet des deux vannes
- le 27 avril 2012 de 9h25 à 9h30 Abaissement complet de la vanne 2
- le 11 mai 2012 de 10h35 à 10h55 : Abaissement de moitié de la vanne 2.

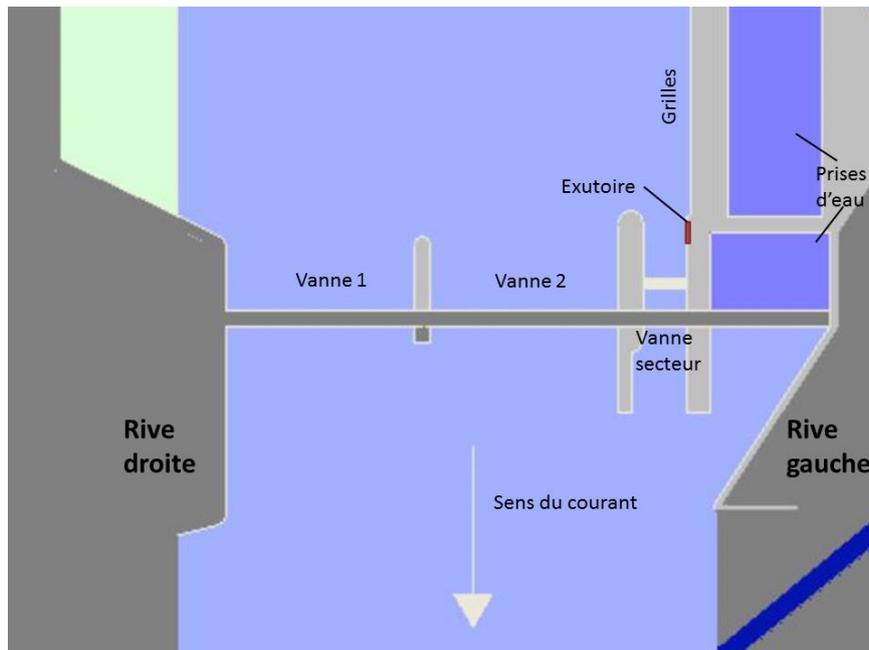


Figure 20 : schéma du barrage de Lorcé



Figure 21 : Vue aval du barrage de Lorcé (Amblève) muni de deux vannes mobiles



Figure 22 : Photo du barrage de Lorcé lorsque la vanne 2 est légèrement abaissée et laisse passer un filet d'eau

VI.3.2. Analyse des déplacements des smolts équipés d'émetteurs

Les smolts du groupe A ont été déversés 1,075km en amont du barrage de Lorcé et ceux des groupes B et C ont été déversés 200m en amont de la cascade de Coo soit 17,2km en amont du barrage de Lorcé. Pour rappel, ces smolts ont également été équipés de transpondeurs RFID associés à l'antenne de détection automatique de la station RFID pour compléter nos informations quant aux heures d'activité de ces smolts à proximité de l'exutoire (cf. chapitre VII) dans le cas où nous ne pouvions être présents. Grâce à ces équipements, nous avons pu également observer que certains poissons sont parvenus à franchir le barrage sans nécessairement passer par l'exutoire de dévalaison.

VI.3.2.1. Déplacements des smolts du groupe A

Les cinq smolts implantés d'un émetteur (numérotés de 1 à 5) et déversés en aval du pont de Naze en rive droite, l'ont été le 10 avril 2012 à 16h45 (tableau 2) et leur déplacement est illustré dans la figure 23. Le premier jour de suivi, le 10/04/2012, **les smolts 1, 4 et 5** se sont légèrement déplacés vers l'amont. Le **smolt 2** est resté dans la zone de déversement et **le smolt 3** a dévalé de 400m. Les 4 jours suivants (du 10/04/2012 au 14/04/2012), aucun mouvement de grande amplitude n'a été constaté, excepté pour **les smolts 4 et 5** qui ont continué à remonter la rivière jusqu'à 1700m en amont du barrage de Lorcé. Le 15/04/2012, **les smolts 3 et 5** ont dévalé jusqu'à l'entrée de l'exutoire. **Le smolt 5** a probablement franchi le barrage via l'exutoire où il a été détecté la première fois à 14h28 et la dernière fois à 22h30 par la station RFID (6 détections au total). Il s'est ensuite immobilisé 60m en aval du barrage de Lorcé, les jours suivants. **Le smolt 3** a été détecté à l'entrée de l'exutoire entre 20h49 et 00h24. Après être remonté de 700m le 16/04/2012, le smolt 3 est resté à proximité de l'exutoire jusqu'au 26/04 sans avoir été une nouvelle fois détecté par l'antenne RFID. Proche du site de déversement depuis le 10/04/2012, **le smolt 4** a débuté sa dévalaison le 17/04/2012, en empruntant l'exutoire à 11h46 (détecté par l'antenne RFID) et a ensuite continué sa dévalaison pour finalement être détecté plusieurs jours à environ 7 kilomètres en aval du barrage jusqu'au 24 avril 2012. Le 18/04/2012, **le smolt 2** a quitté le lieu de déversement pour dévaler et être détecté au niveau de l'exutoire à 13h30 puis son signal a été perdu. Enfin, **le smolt 1** n'a jamais quitté la zone de déversement et n'a donc pas montré de comportement de dévalaison. Le signal des smolts 1 et 5 a été perdu après le 20 avril 2012. En résumé, 4 smolts (2, 3, 4 et 5) ont été détectés à l'entrée de l'exutoire par l'antenne RFID dont 2 smolts ont été localisés avec certitude en aval du barrage.

Tableau 2 : Résultats des suivis de radio-pistage couplé aux résultats de la station automatique RFID pour les 5 smolts relâchés à 1km en amont du barrage de Lorcé le 10 avril 2012

	Groupe A : 10/04/2012 au pont de Naze				
	Smolt 1	Smolt 2	Smolt 3	Smolt 4	Smolt 5
Heure de déversement	16h45	16h45	16h45	16h45	16h45
Arrivée à Lorcé	non	18/04/2012	15/04/2012	17/04/2012	15/04/2012
Détection RFID à l'entrée de l'exutoire	non	oui	oui	oui	oui
Première détection RFID	-	18/04/2012 (13h30)	15/04/2012 (20h49)	17/04/2012 (11h46)	15/04/2012 (14h28)
Dernière détection RFID	-	18/04/2012 (13h30)	16/04/2012 (00h24)	17/04/2012 (11h46)	15/04/2012 (22h30)
Nombre de détection RFID	-	2	4	2	6

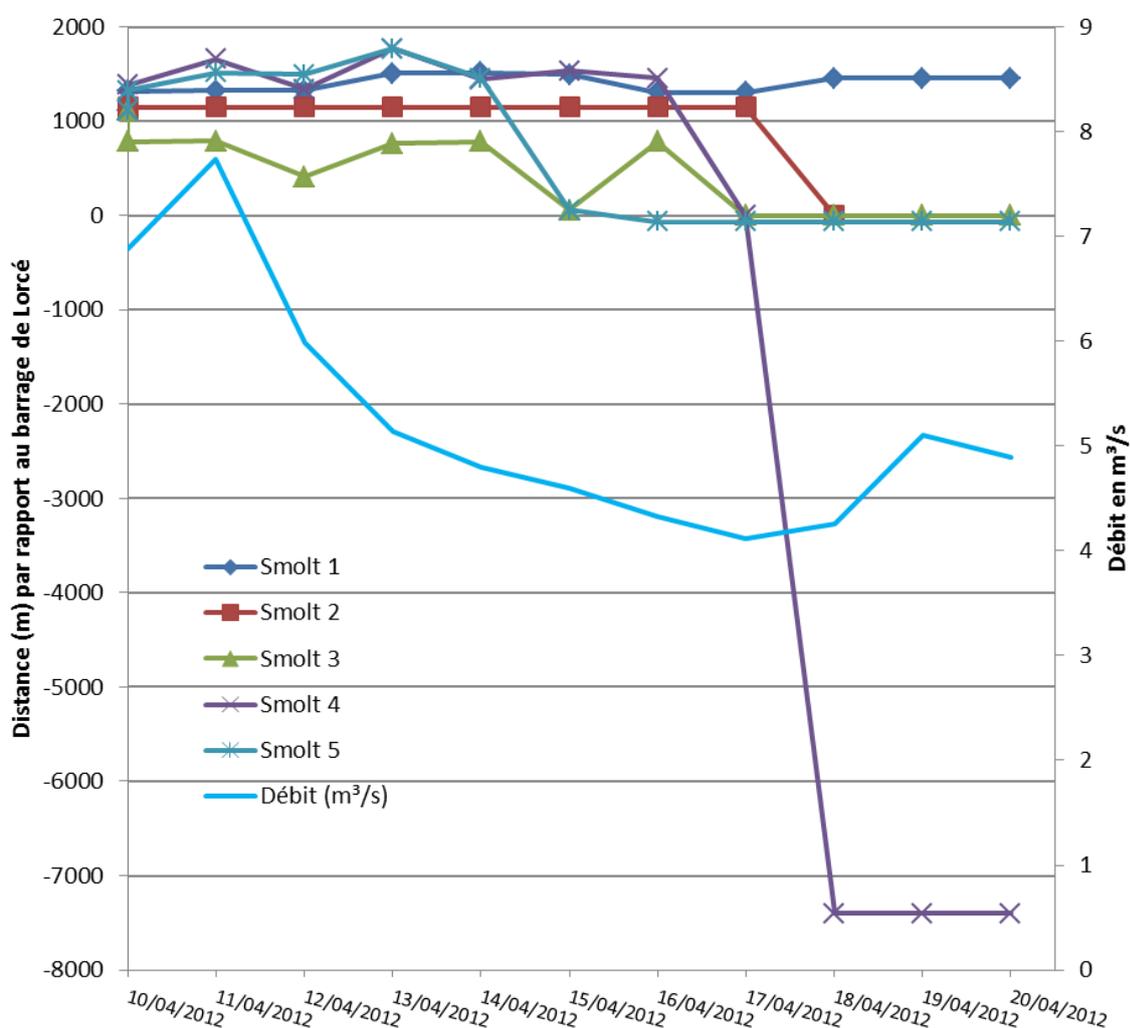


Figure 23 : Déplacements des smolts déversés le 10 avril 2012 au niveau du pont de Naze à 1km en amont du barrage de Lorcé qui représente le point 0 et évolution du débit (en m³/s) durant le suivi

VI.3.2.2. Déplacements des smolts du groupe B

Le 27/04/2012, le deuxième groupe de smolts (6 à 10) (figures 24 et 28) munis d'émetteurs radio a été déversé 200m en amont de la cascade de Coo en rive droite à 14h30 (tableau 3). Le jour du déversement, le **smolt 6** s'est montré très peu actif mais a été localisé le lendemain matin proche de la prise d'eau de la micro-centrale de Coo (figure 26). Les **smolts 7 et 9** ont dévalé vers le canal d'amenée de la « centrale hydroélectrique de Coo-dérivation » et se sont retrouvés face à la grille de fond menant aux turbines peu avant 17h. Le **smolt 8** s'est dirigé vers la cascade vers 16h l'utilisant comme voie de passage à 19h (figure 25). Une demi-heure plus tard, il se trouvait 60m en aval de la cascade et a été détecté toute la soirée à cet endroit. Les jours suivants plus aucune détection n'a pu être réalisée. Le 28 et 29 avril 2012, les **smolts 6, 7 et 9** se trouvaient toujours au niveau des grilles de la prise d'eau de la centrale hydroélectrique de Coo-dérivation. Le 30/04/2012, le **smolt 7** a été localisé au niveau d'une des vannes mobiles du barrage de Lorcé. Ce smolt était visible mais peu actif et présentait une blessure au niveau de son œil droit (figure 27). Ce même jour, le **smolt 9** a été localisé par radio-pistage au niveau de l'exutoire et le **smolt 6** à 1,5km en amont du barrage de Lorcé. Le 01/05/2012, les **smolts 6 et 7** ont franchi le barrage via l'exutoire respectivement à 3h58 du matin et à 16h09. Quant au **smolt 9**, il a franchi à son tour le barrage la nuit du 1/05 au 2/05 après avoir été détecté le 30 avril et le 1^{er} mai (au total 255 détections RFID). Après le 1^{er} mai, les smolts 6 et 9 n'ont plus été localisés. Le **smolt 7** semble avoir interrompu sa migration de dévalaison 3km en aval du barrage de Lorcé, car il y a été localisé les 10 jours suivant son franchissement du barrage sans montrer de signe d'activité.

Tableau 3 : Résultats des suivis de radio-pistage couplé aux résultats de la station automatique RFID pour les 5 smolts relâchés à 200m en amont de la cascade de Coo le 27 avril 2012

	Groupe B : 27/04/2012 amont cascade				
	Smolt 6	Smolt 7	Smolt 8	Smolt 9	Smolt 10
Heure de déversement	14h30	14h30	14h30	14h30	14h30
Voie de passage	Canal d'amenée	Canal d'amenée	Cascade	Canal d'amenée	Cascade
Heure d'arrivée face à la cascade	-	-	16h00	16h06	16h36
Heure de choix	Durant la nuit du 27 au 28/04/2012	avant 16h06	19h00	16h52	17h02
Arrivée à Lorcé	30/04/2012	30/04/2012	non	30/04/2012	-
Détection RFID à l'entrée de l'exutoire	oui	oui	non	oui	oui
Première détection RFID	30/04/2012 (15h22)	30/04/2012 (8h45)	-	30/04/2012 (4h20)	28/04/2012 (1h42)
Dernière détection RFID	1/05/2012 (3h58)	1/05/2012 (16h09)	-	2/05/2012 (2h27)	-
Nombre de détection RFID	53	35	-	248	1

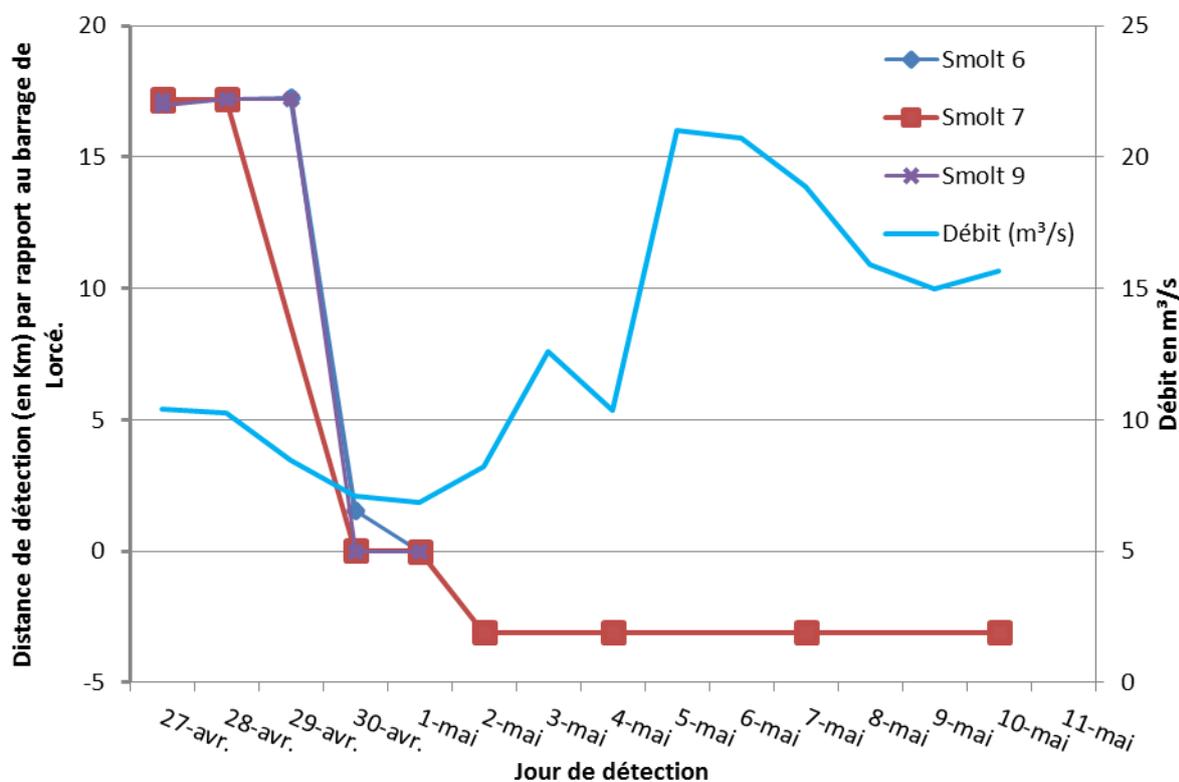


Figure 24 : Déplacements des smolts 6, 7 et 9 déversés le 27 avril 2012 à 200m en amont de la cascade de Coo où le barrage de Lorcé représente le point 0



Figure 25 : Vue amont de la cascade de Coo où la flèche rouge représente la voie de passage par la cascade et la flèche jaune représente la voie de passage par le canal d'aménée de la micro-centrale de Coo



Figure 26 : Fin du canal de dérivation. En dessous du dégrilleur se trouvent les grilles menant aux turbines de la prise d'eau de la centrale électrique de Coo dérivation (27/04/2012)

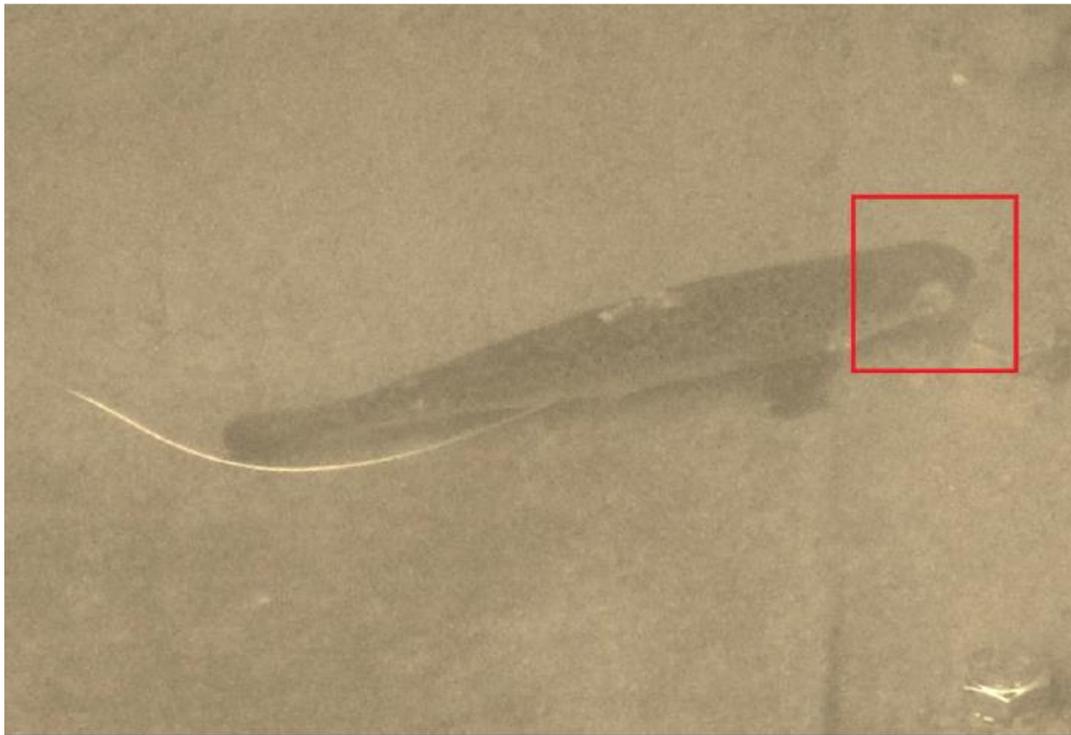


Figure 27 : Photo du smolt 7 prise au niveau de la vanne 1 du barrage hydroélectrique de Lorcé. Ce smolt a dévalé via les turbines du canal de dérivation de Coo et présente une blessure au niveau de l'œil droit (encadré rouge)

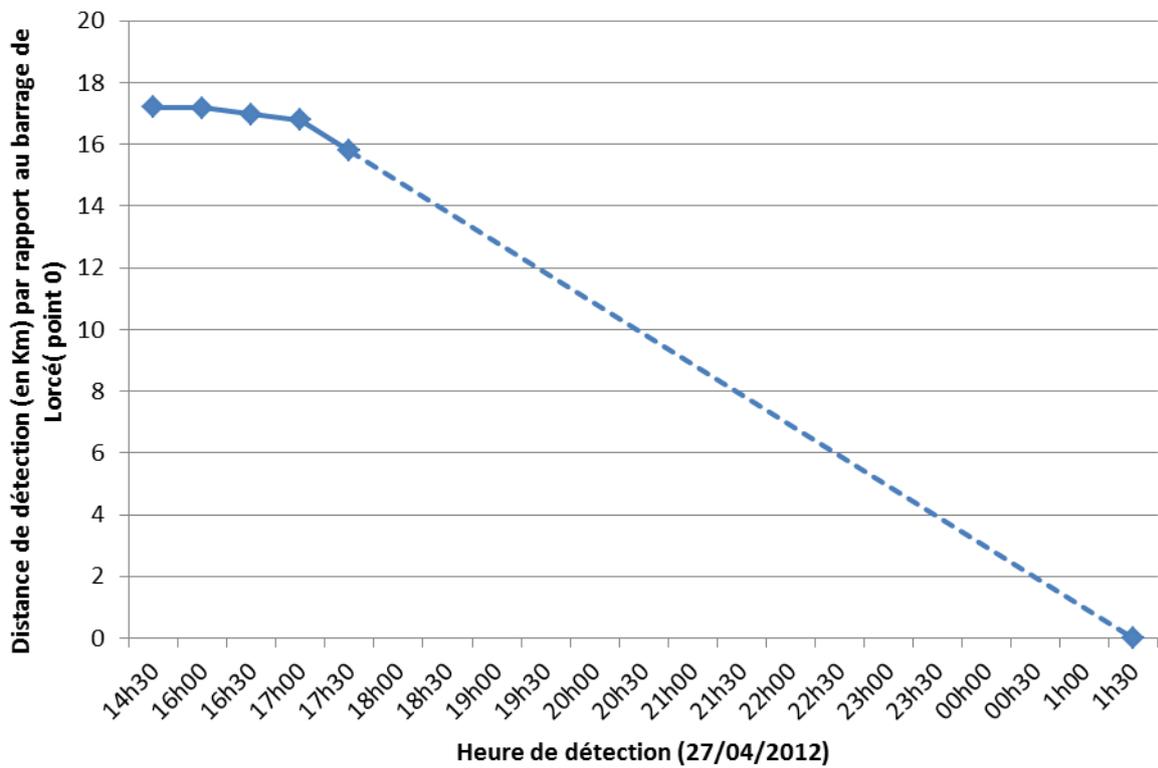


Figure 28 : Déplacement du smolt 10 déversé le 27 avril 2012 à 200m en amont de la cascade de Coo où le barrage de Lorcé représente le point 0

Le **smolt 10** s'est montré beaucoup plus actif que les autres smolts de son groupe (figure 28). Il a entamé sa dévalaison à 16h20 le jour du déversement (27 avril 2012) et s'est trouvé à 16h36 devant la cascade. A 17h02, il l'a franchi et se situait 200m en aval 20 minutes plus tard. A 17h40, il était à 1,2km en aval de la chute d'eau. Il a ensuite été détecté par l'antenne de l'exutoire à 1h42 le 28/04/2012. Ce smolt a donc parcouru 15,8km en 8h, ce qui représente une vitesse de progression de 0,56m/s ou 1,97km/h. En résumé pour ce groupe B, 2 smolts ont dévalé par la cascade et les 3 autres ont choisi le canal d'amenée. Sur les 5 smolts, 4 sont arrivés jusqu'au barrage de Lorcé. Parmi les 4 smolts détectés au barrage de Lorcé, un smolt a pu être observé. Celui-ci présentait une blessure à l'œil certainement suite à son passage par la turbine de Coodérivation ou la surverse. En effet, il nous est impossible de connaître l'état physique des smolts après leur passage que ce soit par la cascade ou le canal d'amenée.

VI.3.2.3. Déplacements des smolts du groupe C

Le troisième groupe de smolts avec émetteurs radio (numérotés de 11 à 15) (figure 29) a été déversé de la même manière que le groupe B, à 200m en amont de la cascade de Coo le 10/05/2012 à 19h30 (tableau 4). Le **smolt 11** a directement entrepris sa dévalaison et a franchi la cascade 10 minutes après avoir été relâché, à 19h40, et il a été localisé 300m en amont du barrage de Lorcé puis à proximité de l'exutoire entre 00h00 et 01h00. Le **smolt 13** a débuté son déplacement vers l'aval de 100m après 20h et à 21h40, il a emprunté le canal d'amenée pour ensuite se retrouver au niveau de la prise d'eau des turbines de la micro-centrale de Coo. Peu actifs depuis leur déversement, le **smolt 14** a franchi la cascade à 22h15 suivi du **smolt 12**, 45 minutes plus tard après 30min d'hésitation face à la cascade. A 23h40, le **smolt 12** se trouvait 1300m en aval de la cascade de Coo. Le **smolt 15** a été le moins actif après le déversement mais a ensuite rapidement dévalé via le canal d'amenée pour être localisé à 22h40 au niveau de la prise d'eau. Excepté le smolt 12, capturé le lendemain matin dans un filet installé en aval de la sortie de l'exutoire lors d'un test de mise au point de la station RFID puis relâché en aval du barrage, aucun autre smolt n'a plus été localisé. Le smolt 11 a donc effectué un trajet de 17189m en 4h30, sa vitesse de progression était égale à 1,061m/s ou 3,82km/h. Entre 23h30 et 4h00, le smolt 12 a parcouru une distance de 15690m, ce qui correspond à une vitesse de progression de 0,97m/s ou 3,49km/h. En résumé pour le groupe C, 3 smolts ont franchi la cascade alors que les 2

autres ont emprunté le canal d'amenée. En revanche seul un individu a été détecté à l'entrée de l'exutoire malgré que le smolt 11 ait été localisé à grande proximité.

Tableau 4 : Résultats des suivis de radio-pistage couplés aux résultats de la station automatique RFID pour les 5 smolts relâchés à 200m en amont de la cascade de Coo le 10 mai 2012

	Groupe C : 10/05/2012 amont cascade				
	Smolt 11	Smolt 12	Smolt 13	Smolt 14	Smolt 15
Heure de déversement	19h30	19h30	19h30	19h30	19h30
Voie de passage	Cascade	Cascade	Canal d'amenée	Cascade	Canal d'amenée
Heure d'arrivée face à la cascade	19h39	22h30	20h45	-	-
Heure de choix	19h40	23h00	21h40	22h15	22h40
Arrivée à Lorcé	10/05/2012	-	-	-	-
Détection RFID à l'entrée de l'exutoire	Non mais localisé proche de l'exutoire entre 23h30 et 1h00	oui	non	non	non
Première détection RFID	-	11/05/2012 (3h59)	-	-	-
Dernière détection RFID	-	11/05/2012 (5h16)	-	-	-
Nombre de détection RFID	-	35	-	-	-

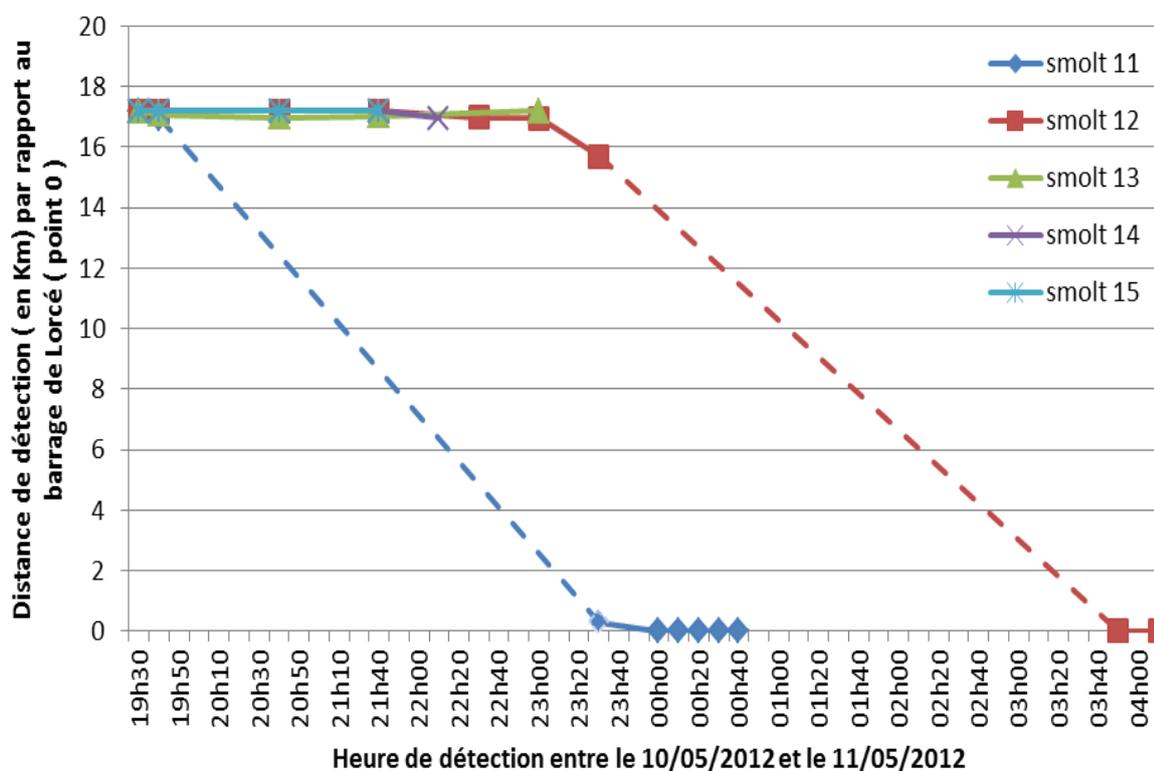


Figure 29 : Déplacement des smolts 11,12, 13, 14 et 15 déversés le 10 mai 2012 à 200m en amont de la cascade de Coo où le barrage de Lorcé représente le point 0

VI.3.3. Analyse du comportement des smolts à l'approche de la cascade de Coo

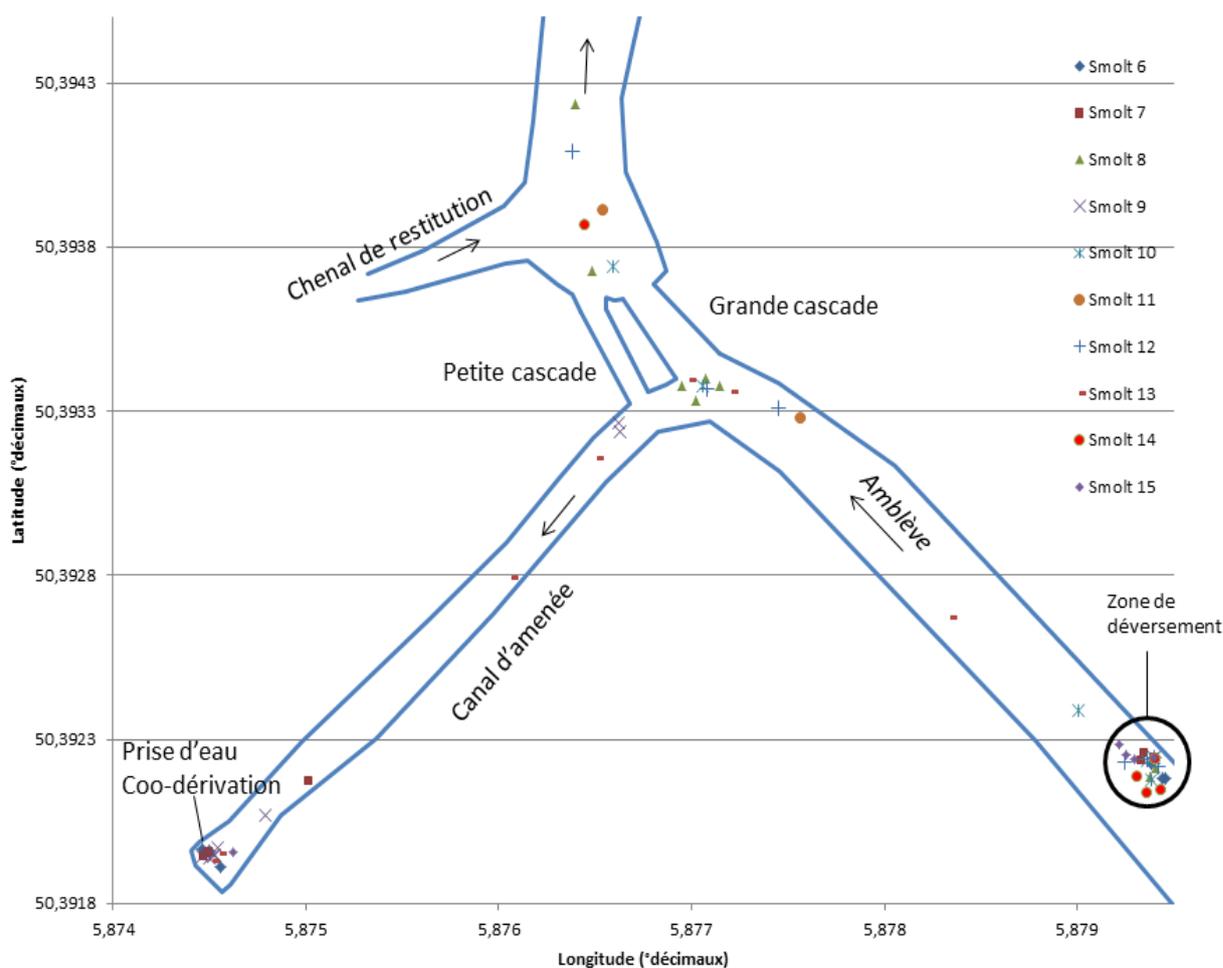


Figure 30 : Schéma de la zone de suivi au niveau de la cascade reprenant les localisations des 10 smolts déversés 200m en amont de la cascade.

Pour rappel sur les 10 smolts radio-pistés en amont de la cascade de Coo, 5 smolts ont franchi la cascade et 5 smolts ont emprunté le canal d'amenée comme voie de migration. L'analyse plus précise du comportement des smolts radio-pistés en amont de la cascade de Coo est présentée dans la figure 30. Les suivis nous indiquent que : 1) Pour la totalité des smolts sauf le smolt 11, les individus ont certainement eu besoin d'un temps d'adaptation avant d'entamer leur migration après leur déversement avec pour preuve l'ensemble des localisations proches du point de déversement (de plusieurs heures à plusieurs jours). Cependant il faut également mentionner le rôle de la photopériode dans les timings de migration, en effet les smolts attendent pour la plupart, le début du crépuscule pour débiter leur migration. 2) Plusieurs

smolts ayant emprunté la cascade ont hésité avant de faire le saut et sont restés juste en amont pendant des durées variant de 2 à 180 min. En revanche d'autres smolts sont passés par la cascade plus rapidement, sans hésitations apparentes. 3) Les smolts ayant emprunté le canal d'amenée ne sont jamais remontés au niveau de la cascade même suite à leur blocage au niveau des grilles de la prise d'eau de la micro-centrale de Coo.

VI.3.4. Analyse du comportement des smolts à l'approche du barrage de Lorcé

Le suivi par biotélémetrie nous a donc permis de localiser les smolts arrivés à proximité de l'exutoire. Nous avons relevé leurs positions à l'approche du barrage durant plus de deux heures toutes les 10 minutes au cours de 15 soirées. Nous avons défini cinq zones en amont du barrage (figure 31) :

- 1 : La zone de l'exutoire de dévalaison ;
- 2 : La zone vanne secteur, en aval de la zone de l'exutoire ;
- 3 : La zone à proximité des grilles, en amont de l'exutoire et deux zones plus en retrait ;
- 4 : La zone des deux grandes vannes mobiles ;
- 5 : La zone englobant une grande partie de la zone en amont du barrage.

Dans ce schéma, nous observons que la majorité des smolts radio-pistés (64,3%) se trouvent directement dans la zone entourant l'exutoire de dévalaison. Les deux autres zones occupées, la zone de la petite vanne et celle des grilles, sont mitoyennes à la zone de l'exutoire. Pour ces trois zones, le pourcentage total d'occupation est de 94%. Les zones éloignées telles que les deux grandes vannes mobiles et la zone amont du barrage représentent ensemble 6% du taux d'occupation.

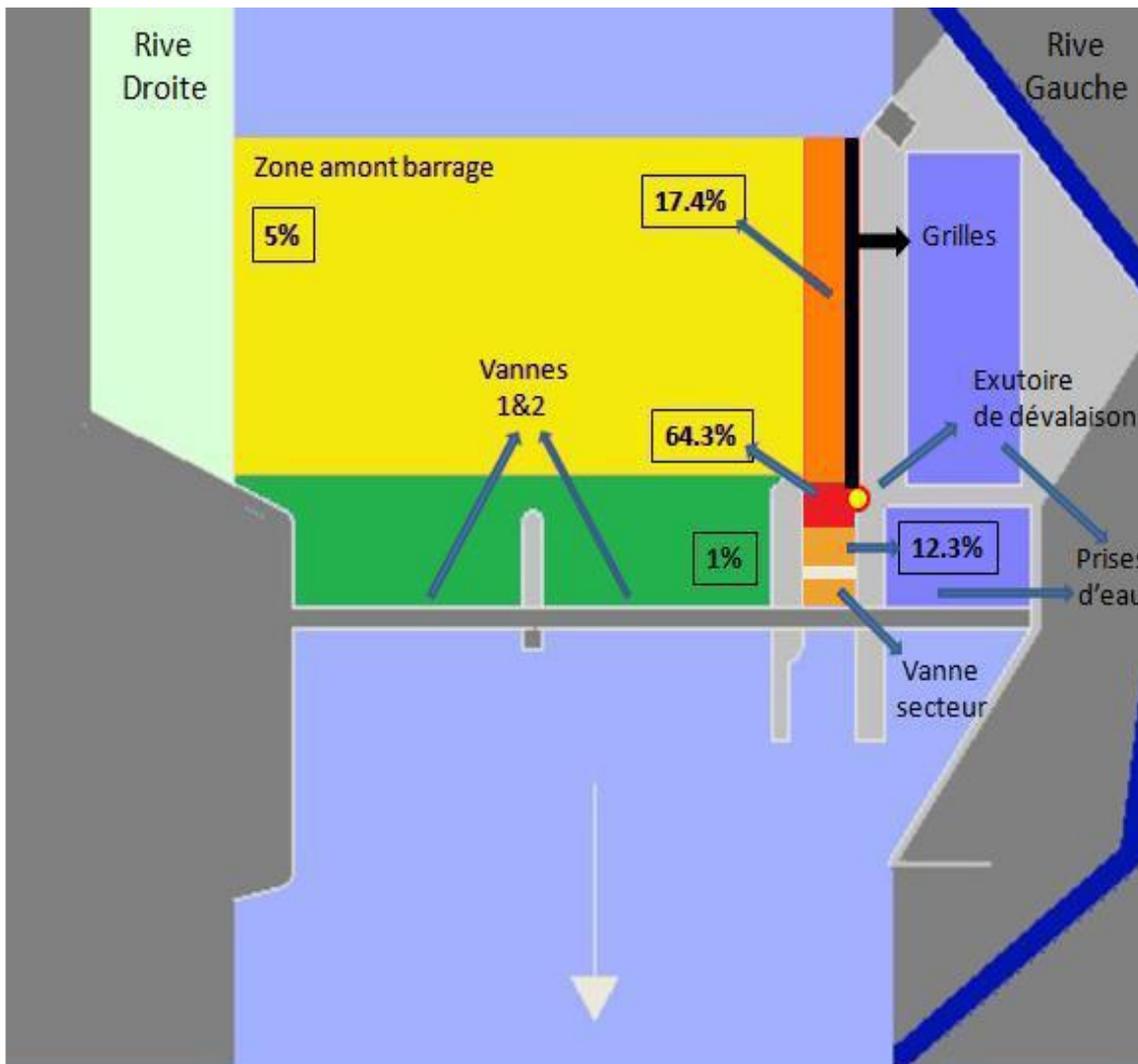


Figure 31 : Schéma du barrage de Lorcé avec aires de localisation des 15 smolts munis d'émetteurs en recherche d'une voie de passage pour franchir le barrage de Lorcé dans le sens de la dévalaison

VI.4. Discussion

Cette analyse du comportement de dévalaison de smolts de saumon atlantique en approche des deux sites hydroélectriques (cascade de Coo et le barrage de Lorcé) nous a permis de mieux appréhender les comportements et les voies de dévalaison dans ce secteur de l'Amblève particulièrement fragmenté.

Mobilité générale des smolts

Les configurations des deux sites hydroélectriques étudiés, la cascade de Coo et le barrage de Lorcé, ont peu varié tout au long de l'étude. Les seules variations sont l'abaissement des vannes mobiles du barrage de Lorcé mais l'unique abaissement effectué lorsque des smolts étaient présents au barrage, s'est déroulé le 17 avril 2012 et aucun smolt n'a été localisé en aval suite à cette brève ouverture de voie de passage. Les comportements observés entre les différents suivis n'ont été donc que très peu influencés par ces manipulations.

Le choix d'utiliser lors du premier suivi, le 10 avril 2012, des smolts provenant du piège de dévalaison de Méry (sur l'Ourthe) s'est montré peu concluant. En effet, par rapport aux smolts provenant de la pisciculture d'Erezée, ils ont montré un temps d'adaptation plus important malgré leur comportement de dévalaison déjà entamé. Il n'est pas possible d'imputer ce comportement latent uniquement au stress engendré par la manipulation, le transport et la translocation de l'aval vers l'amont. Les conditions environnementales peuvent également intervenir. Même si le seuil des 8°C était atteint, la température était toujours fraîche par rapport aux deux périodes de suivi suivantes, la température de l'eau est même redescendue sous la barre des 8°C après quelques jours lors du premier suivi. Le lieu de déversement a également pu jouer un rôle car ces 5 premiers smolts ont été déversés au niveau du pont de Naze, proche du début de la retenue d'eau créée par le barrage de Lorcé entraînant un manque de stimulation à la dévalaison vu la faible vitesse du courant.

Les résultats des suivis par radio pistage ont mis en évidence une variabilité importante des comportements de dévalaison. Certains smolts ont entamé rapidement leur migration vers l'aval, d'autres ont mis plus de temps. Les voies de passages utilisées ont été différentes d'un individu à l'autre aussi bien lors du franchissement de la cascade de Coo que celui du barrage de Lorcé.

Certains individus ont pu être localisés plusieurs fois sur l'axe Lorcé-Coo et ont permis de récolter des informations importantes sur les vitesses de progression. Ces vitesses de migration varient de 0,56m/s à 1,06m/s avec une vitesse moyenne de 0,83m/s. Cette observation confirme les résultats obtenus dans la littérature avec des vitesses moyennes de 0,46m/s sur la rivière Umealven en Suède (Rivinoja, 2006) et de 0,83m/s sur la rivière Alta en Norvège avec un module de 75m³/s (Davidsen et al., 2009), enregistrées à l'aide d'un suivi par biotéléométrie comme celui utilisé lors de notre étude. En 2009, le LDPH-ULg a réalisé des suivis de smolts sur l'Amblève (Ovidio et al., 2009) obtenant une progression de dévalaison de 2,2m/s pour un smolt. Toutefois il faut prendre en considération le débit de l'eau qui, lors de cette étude préliminaire, était également deux fois supérieur au débit de l'Amblève enregistré lors de nos sessions de suivi par biotéléométrie et par conséquent augmente également la vitesse de courant. La différence de vitesse entre le smolt 10, déversé le 27 avril 2012 et les smolts 11 et 12, déversés en amont de Coo, le 10 mai 2012 s'explique donc en partie par la différence de débit entre le 27 avril et le 10 mai où celui-ci était plus important le 10 mai 2012 (22m³/s contre 14,5m³/s). Il existe un large éventail de variations individuelles quant à la vitesse de migration. Cependant, selon différents auteurs, la vitesse moyenne de migration des smolts serait toujours supérieure à la vitesse du courant ce qui indiquerait que les smolts dévalant, nagent activement et ne se laissent pas uniquement porter par le courant (Thorstad et al., 2004 ; Davidsen et al., 2009).

Lors de cette étude, de longues périodes de recherche de voies d'accès (plusieurs heures à plusieurs jours) vers l'aval ont été mis en évidence à la cascade de Coo mais aussi au barrage de Lorcé. Malgré la présence d'un exutoire de dévalaison au niveau du barrage de Lorcé, un temps d'hésitation est observé. Cependant, sans exutoire, le temps perdu par les smolts s'avèrerait encore plus important car ils auraient dû attendre l'abaissement éventuel des vannes mobiles du barrage pour dévaler sans passer à travers les turbines.

Sur les 15 smolts suivis, il a été difficile de les suivre au-delà du barrage de Lorcé. Les seuls smolts détectés en aval, sont des smolts qui ont marqué un arrêt net dans leur migration dans des secteurs situés en dehors de zone d'influence d'un quelconque obstacle (à 3 et 7km en aval du barrage de Lorcé pour respectivement les smolts 7 et 5). Cet arrêt est probablement dû à la blessure du smolt comme en atteste le comportement du smolt 7, observé avec une blessure au niveau de l'œil à son arrivée au barrage de Lorcé et un arrêt de migration à 3km du barrage de Lorcé en aval durant 10 jours. Les blessures peuvent être occasionnées soit par le passage des

turbines de Coo-dérivation (taux de mortalité estimé = 10%) ou de Lorcé (taux de mortalité estimé = 23%) soit par les chutes d'eau (cascade de Coo = 11,8m, surverse de Coo-dérivation = 7m ou encore le rejet de l'exutoire = 1,5m). La prédation et la perte de l'émetteur peuvent être aussi des causes à cet arrêt. La non détection des autres individus ne signifie pas qu'ils ont tous subi un phénomène de prédation, il est probable que certains aient pu poursuivre leur migration vers l'aval. Cependant, il est inquiétant de constater que lors de cette analyse, aucun smolt détecté en aval du barrage de Lorcé ne semble être vivant les jours suivants.

Comportement des smolts à l'approche de la cascade

Grâce aux deux sessions de suivi par radio-pistage en amont de la cascade de Coo, nous avons observé que les smolts lors de leur migration vers l'aval, utilisent deux voies de passages différentes qui sont la cascade de Coo et le canal d'amenée de la micro-centrale de Coo. Sur les 10 smolts suivis, 50% (n=5) ont utilisé la cascade comme voie de passage et 50% (n=5) ont utilisé le canal d'amenée. Au vu des résultats obtenus par le SPW-DCENN lors de leurs jaugeages en aval de la cascade, on peut supposer que plus le débit de l'Amblève est important plus la proportion d'eau passant par la cascade est importante. Cela signifie qu'à un débit élevé (>20m³/s), la cascade serait une voie de passage préférentielle pour les smolts alors que lorsque le débit de l'Amblève est faible. Le canal d'amenée susciterait une attraction plus importante. Bien que le nombre de smolts ne soit pas important, lorsque le débit était plus important (le 10 mai 2012 avec 22m³/s), 3 smolts sur 5 ont emprunté la cascade. Lors du suivi du 27 avril 2012 avec un débit total de 14,5m³/s, 2 smolts sur 5 ont emprunté la cascade. Cependant, le choix de la voie de passage d'un smolt n'est pas uniquement dicté par le pourcentage de débit passant par la cascade ou par le canal d'amenée. En effet, un des smolts suivi a été localisé plusieurs fois quelques mètres en amont de la cascade et a finalement choisi le canal d'amenée. Ce smolt a donc bien été attiré par la cascade mais il s'est montré réticent à effectuer le saut. Ce comportement peut s'expliquer par le fait qu'il est connu que les poissons ont la capacité d'apprécier la vitesse du courant et donc que le smolt ressent l'accélération du courant juste en amont de la cascade lui signalant un danger éventuel de chute importante et potentiellement dangereuse. Remarquons qu'aucun smolt ayant choisi le canal d'amenée n'est remonté au niveau de la cascade malgré son blocage face à la prise d'eau, ce qui reflète le peu de plasticité comportementale pour ce type de blocage qui nécessite un changement de direction et un demi-tour.

Le choix de la voie d'accès au niveau de la cascade peut porter plusieurs préjudices. Tout d'abord les smolts empruntant le canal d'amenée accumulent du retard (de 2 à 3 jours) suite à une nouvelle recherche de voie d'accès au niveau de la prise d'eau de la micro-centrale de Coo. Ces voies d'accès sont soit l'utilisation de la surverse, lorsqu'il y en a une (uniquement à débit moyen ou important), ou soit le passage par les turbines qui dans les deux cas peuvent engendrer des blessures non négligeables aux poissons comme observé pour le smolt 7. La cascade de Coo peut se montrer plus rapide comme voie de passage mais peut également causer un retard ou un arrêt de la migration suite à une éventuelle blessure ou même la mort du smolt occasionnée par la chute comme observé sur un smolt après son passage par la cascade (localisé le reste de la soirée à 60m en aval de la cascade).

Comportement des smolts à l'approche du barrage de Lorcé et utilisation de l'exutoire

Les comportements observés face à l'entrée de l'exutoire et le nombre parfois important de détections par l'antenne, démontrent une hésitation des smolts à pénétrer à l'intérieur. Cette hésitation peut engendrer un retard dans la migration de quelques heures à quelques jours. En revanche, les résultats du pourcentage de localisations des smolts en approche du barrage de Lorcé démontrent que l'exutoire est bien placé avec près de 96% des localisations dans la zone de l'exutoire mais les conditions hydrodynamiques au niveau de l'entrée de l'exutoire de dévalaison peuvent être insuffisantes d'un point de vue attractivité (cf. chapitre VII).

VII. CARACTERISATION DE L'EFFICACITE DE L'EXUTOIRE DE DEVALAISON DE LORCE

VII.1. Introduction

Lors du renouvellement de permis de la station hydroélectrique de Heid de Goreux comprenant le barrage de Lorcé, il était prévu qu'Electrabel (propriétaire du site d'exploitation) devait aménager un exutoire de dévalaison sur le site. Les études préliminaires réalisées par radiopistage par le LDPH-ULG en 2007-2009 ont suggéré un emplacement idéal, pour cet exutoire, dans le prolongement du dégrilleur de la centrale et avec un débit de fonctionnement minimum de 600 l/s (Ovidio et al., 2009). Les travaux d'aménagement de cet exutoire ont débuté en automne 2011 pour se terminer en mars 2012 dans une configuration test. Dans sa configuration actuelle, le débit de fonctionnement de l'exutoire est d'environ 200 l/s, donc largement inférieur au débit préconisé par le LDPH. Cette situation a été acceptée comme situation transitoire en attente d'aménagements définitifs. Les objectifs de cette action sont :

- 1) de tester l'attractivité et l'efficacité de ce nouvel exutoire en utilisant des smolts de saumons atlantiques comme modèle biologique (et lors d'une petite expérience complémentaire, avec des anguilles argentées) ;
- 2) de différencier le taux d'utilisation de l'exutoire en fonction du site et de la distance de déversement des smolts ;
- 3) de contribuer à l'amélioration des connaissances sur la dynamique de migration et les timings de dévalaison de smolts de saumon atlantique dans le bassin de l'Amblève.

Pour atteindre ces objectifs, des suivis biologiques de smolts en phase de dévalaison ont été réalisés via l'utilisation de transpondeurs RFID. Cette technologie permet de détecter en continu la présence de ces poissons aux abords d'une antenne de détection qui a été placée au niveau de l'exutoire de dévalaison et reliée à une station de détection automatique. Cette action est complémentaire à l'avant dernière action (chapitre VI) car l'utilisation de marques RFID permet un suivi de masse (plusieurs centaines de poissons), supplémentaire aux suivis individuels par

radio-télémetrie. Les deux technologies réunies permettent ainsi d'acquérir des informations complémentaires.

VII.2. Méthodologie

VII.2.1. Espèces cibles

L'évaluation de l'efficacité de l'exutoire installé au niveau du barrage Lorcé a été réalisée sur 930 individus de 2 espèces différentes :

- le saumon atlantique (*Salmo salar*) (figure 1) sous la forme de smolt (juvéniles en phase de dévalaison). Les individus (n=900) proviennent de la pisciculture d'Erezée (SPW).
- l'anguille (*Anguilla anguilla*) (figure 2) sous sa forme argentée (individus matures en phase de dévalaison). Les individus (n=30) ont été achetés à un pêcheur professionnel hollandais au niveau de l'estuaire de la Meuse via Profish Technology.



Figure 1 : Smolt de saumon atlantique capturé à Méry lors de sa dévalaison.



Figure 2 : Anguille argentée marquée avec transpondeur RFID

Dans le but d'évaluer l'attractivité et l'efficacité de l'exutoire, ces poissons sont de très bons modèles biologiques car ces deux espèces doivent impérativement passer par une phase de dévalaison pour rejoindre la mer afin d'accomplir leur cycle biologique. Néanmoins ces deux espèces possèdent des caractéristiques différentes. Pour le saumon atlantique, il dévale sous sa forme juvénile appelée « smolt » afin d'atteindre la mer pour y grandir et finalement revenir en rivière pour se reproduire. Sa période de dévalaison se déroule au printemps, principalement entre le mois d'avril et le mois de mai lorsque la température atteint un minimum de 8°C. En revanche, l'anguille dévale vers la mer sous sa forme mature dite « argentée » afin de s'y reproduire pour qu'ensuite les jeunes sous forme de civelles et/ou d'anguilles jaunes remontent dans nos rivières. La périodicité de sa période de dévalaison est beaucoup plus difficile à estimer que celle du smolt de saumon, mais on sait que des pics ont souvent lieu en automne (septembre à décembre), lors de période de hautes eaux (van Ginnenken et al., 2007). En plus de ces différences, le saumon atlantique et l'anguille possèdent des types de nages différentes, ce qui nous permet d'évaluer l'efficacité d'un point de vue multi-espèce.

VII.2.2. Transpondeurs RFID et station de détection automatique

Le suivi par transpondeurs RFID (figure 4), dans notre cas de la marque Texas Instruments®, permet le marquage d'un grand nombre d'individus et une identification automatisée lorsque le poisson passe à proximité d'un dispositif de détection. Ces transpondeurs permettent donc de suivre individuellement les poissons durant leur franchissement d'obstacles lorsqu'ils sont en phase de migration, pour autant qu'il soit possible de concentrer les poissons vers une voie de passage où ils peuvent être détectés à travers une antenne. Les marques sont dites semi-actives et appelées transpondeurs, elles sont actives uniquement lorsqu'elles sont stimulés par le champ magnétique d'un appareil de lecture. Elles envoient alors un signal radio codé et normalisé de 12 caractères (Rives, 2007). Une marque peut donc être détectée par une antenne (placée préalablement à un endroit donné, figure 7) reliée à une station d'enregistrement automatique de la marque CIPAM. Après détection, le code est alors lu par la station automatique (figure 3) et stocké en mémoire avec comme informations supplémentaires la date et l'heure de détection. Ces données peuvent ensuite être transférées sur un ordinateur via un fichier « .txt ». De plus, des lecteurs portatifs permettent également de lire les différentes marques lors des marquages ou recaptures sur le terrain.



Figure 3 : Station de détection automatique CIPAM installé au niveau de l'exutoire de dévalaison du barrage de Lorcé

L'opération d'insertion d'un transpondeur RFID s'effectue au niveau de la cavité intra-péritonéale (figure 4). Avant chaque marquage, tous les instruments et les transpondeurs ont été désinfectés et les poissons ont été anesthésiés au préalable à l'aide de l'Eugénol (concentration d'1ml d'Eugénol pour 10l d'eau). Une incision de longueur juste suffisante pour permettre l'introduction du transpondeur a été pratiquée entre la nageoire pelvienne et la nageoire anale, sans nécessiter de points de suture.



Figure 4 : Marquage d'un smolt de saumon atlantique avec un transpondeur CIPAM

VII.2.3. Sites d'étude

VII.2.3.1. Site muni de la station de détection automatique CIPAM : barrage de Lorcé

Equipé depuis le printemps 2012 d'un exutoire de dévalaison, le barrage de Lorcé représente un site pilote où il est possible d'étudier à la fois les flux migratoires des poissons dans le sens de la montaison (échelle à poissons fonctionnelle depuis octobre 2007 cf. chapitre IV) et dans le sens de la dévalaison. Cet exutoire est situé en rive gauche entre la vanne secteur et le dégrilleur de la

prise d'eau de la centrale de Heid de Goreux (figure 5) (description complète du site hydroélectrique au point VI.2.1.2.). L'ouverture amont de l'exutoire est rectangulaire de section de 80cm et sa configuration interne est hétérogène (figure 6). Le débit entrant a été calculé à l'aide d'un courantomètre le 5 juin 2013 avec un débit de l'Amblève de $8\text{m}^3/\text{s}$. Les débits estimés sont avec la planche (=support pour l'antenne) de 65,5 l/s et sans la planche, de 194 l/s. Il est important de signaler que le débit est largement inférieur à ce qui a été préconisé préalablement (600l/s) même sans la planche. D'un point de vue configuration, l'exutoire débute par un plat d'environ 1m de long puis est suivi de deux paliers d'escalier séparés par un second plat d'un mètre de long. Enfin sa partie terminale est constituée d'un plat auquel vient se raccorder un tuyau métallique de 90cm de diamètre représentant la partie terminale de l'exutoire (partie aval). Dans un premier temps, une antenne RFID a été placée à la sortie de l'exutoire (figure 7) afin de confirmer sans le moindre doute qu'un poisson détecté avait emprunté l'exutoire. Néanmoins, après plusieurs tests, il s'est avéré que l'antenne était sujette à des interférences de son champ magnétique via la structure métallique de la partie terminale de l'exutoire, ce qui a entraîné une diminution importante du taux de détection. Suite à ces conditions expérimentales, nous avons décidé de placer l'antenne de détection RFID à l'entrée de l'exutoire afin d'évaluer son efficacité (figure 7).



Figure 5 : Entrée amont (flèche blanche) de l'exutoire (en haut) et sortie (flèche rouge) aval de l'exutoire (en bas) aménagé au barrage de Lorcé.



Figure 6 : Entrée de l'exutoire en haut à gauche, vue vers l'aval de l'intérieur de l'exutoire en bas à gauche et vue de vers l'amont de l'intérieur de l'exutoire à droite



Figure 7 : Antennes CIPAM installées à la sortie de l'exutoire (en haut) et à l'entrée de l'exutoire (en bas) du barrage de Lorcé

VII.2.1.1.2. Site d'évaluation d'impact : la cascade de Coo

On sait que la cascade de Coo (figure 8) constitue une barrière infranchissable pour les poissons dans le sens de la montaison. En revanche, on ne connaît pas l'impact réel que cette cascade pourrait causer aux poissons en phase de dévalaison. Il est probable que les poissons qui décident de dévaler par la cascade soient blessés ou même tués lors de la chute. L'approche individuelle (chapitre VI), a su mettre en évidence, qu'il était possible pour un smolt de dévaler par la cascade et survivre à la chute. Cependant durant cette expérience, uniquement 10 individus ont été suivis en amont de la cascade impliquant que nous n'avons qu'une vue limitée de l'impact réel de la cascade de Coo. Dans ce contexte, plusieurs lots de poissons ont été relâchés en amont et en aval de la cascade dans le but de pouvoir comparer les pourcentages de détections. En fonction du nombre d'individus détectés par lot au barrage de Lorcé (17km en aval de la cascade), en comparaison avec le taux de détection des poissons relâchés en aval, il est possible d'avoir une première idée de l'impact réel de la cascade sur le taux d'arrivée de smolts en amont du barrage de Lorcé.

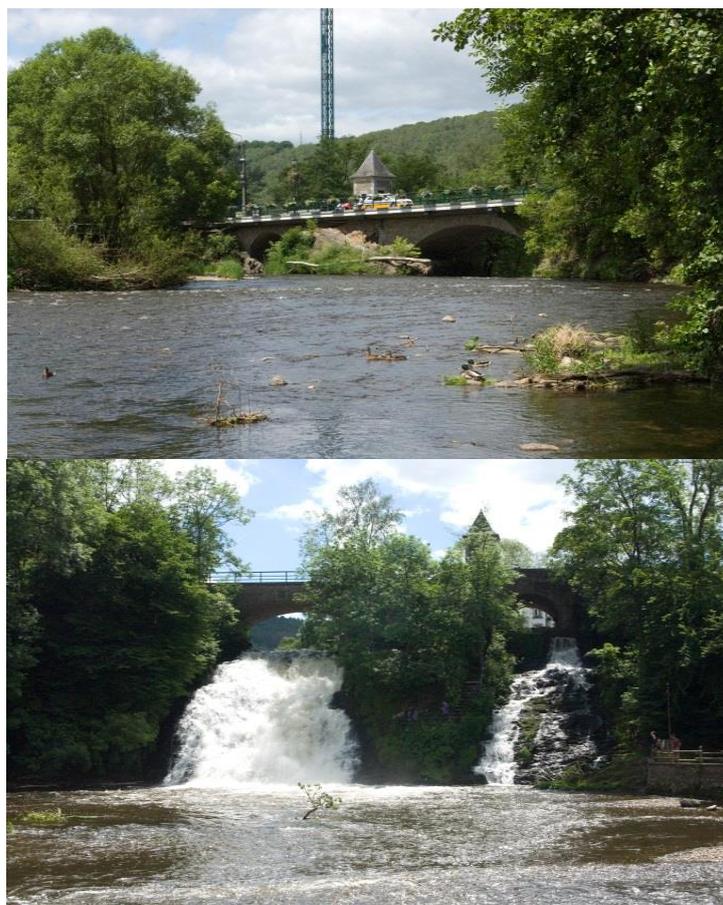


Figure 8 : vue amont (en haut) et aval (en bas) de la cascade de Coo

VII.2.1.1.3. Sites aval de suivis de dévalaison : Méry et Monsin

Des suivis complémentaires à la détection au niveau de l'exutoire ont été possibles grâce au piège de dévalaison situé à Méry sur l'Ourthe et à l'antenne d'auto-détection CIPAM installée sur le barrage de Monsin sur la Meuse dans le cadre d'autres projets (Saumon Meuse et FEP-stock anguille).

Exutoire de dévalaison à Méry (Ourthe)

Le barrage de Méry situé sur l'Ourthe est équipé depuis 2007 d'un exutoire à dévalaison au niveau de la centrale hydroélectrique de Mérytherm et il est muni d'un piège de capture (figure 9). Dans le cadre du projet « saumon 2000 », ce piège permet d'évaluer la périodicité de dévalaison des smolts de saumon atlantique en les interceptant dans le piège de capture. Chaque poisson capturé est contrôlé (pesé, mesuré, identification de marquage) et relâché en aval (Philippart et al., 2013). La situation de ce piège de capture (aval embouchure Amblève) situé à 41km en aval de Lorcé, nous a permis de capturer des smolts munis de transpondeur RFID et d'ainsi évaluer les temps de migration, les taux de capture et les voies de passage potentielles (smolt non détecté à Lorcé mais capturé à Méry).

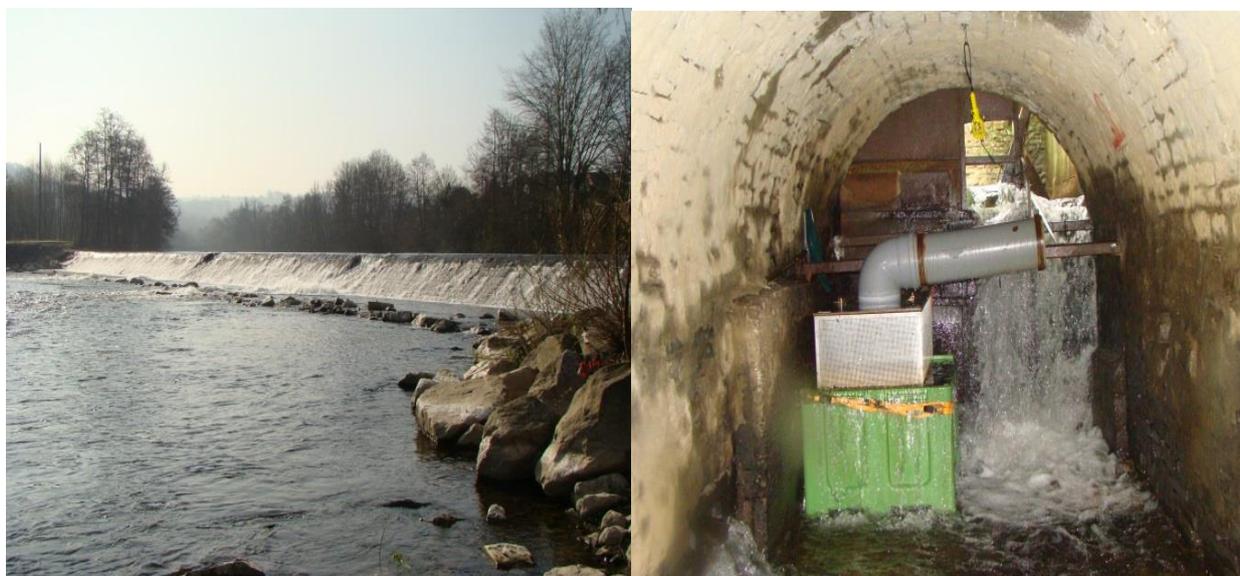


Figure 9 : vue aval du barrage de Méry sur l'Ourthe (en haut) et piège de capture à la dévalaison à Méry (en bas)

Echelle à poissons installée au barrage de Monsin (Meuse)

Le barrage de Monsin situé sur la Meuse 63km en aval du barrage de Lorcé, est équipé depuis 2010 d'une station d'auto-détection CIPAM au niveau de l'échelle à poissons (figure 10). Cette station, munie d'une antenne au niveau du bassin le plus en amont, permet habituellement d'évaluer les vitesses de migration des poissons capturés au niveau de l'échelle à poissons de Lixhe située en aval. Néanmoins plusieurs smolts au cours de notre expérience, ont emprunté l'échelle à poisson afin de dévaler jusqu'à la mer et ont donc été détecté par l'antenne CIPAM.



Figure 10 : Antenne CIPAM installée au niveau de l'échelle à poissons de Monsin sur la Meuse

VII.2.4. Tests préliminaires et complémentaires

VII.2.4.1. Test d'efficacité de l'antenne située à la sortie et à l'entrée de l'exutoire

Afin de tester l'efficacité de la première antenne (placé le 6 mars 2012) à la sortie de l'exutoire (figure 11), le 7 mars 2012, 20 smolts (moyennes: 135,4mm/25,25gr) provenant de la pisciculture d'Erezée ont été transférés sur le site du barrage de Lorcé où a eu lieu l'opération d'insertion des

transpondeurs. Ces smolts ont ensuite été introduits de manière forcée dans l'exutoire de dévalaison où un filet provisoire a été installé (figure 12). Il s'agissait alors de comparer le taux de détections et le taux de poissons repris. L'opération s'est déroulée à trois reprises, les smolts récupérés dans le filet servaient à l'introduction de smolts suivante.



Figure 11 : Antenne CIPAM à la sortie de l'exutoire à gauche et à l'entrée de l'exutoire à droite



Figure 12 : filet provisoire installé au niveau du rejet de l'exutoire du barrage de Lorcé

Pour le premier essai (tableau 1), sur les 20 smolts injectés dans l'exutoire, 37,5% ont été détectés par l'antenne. Pour le deuxième essai, les 16 smolts récupérés lors de la première injection ont de nouveau été introduits dans l'exutoire, 50% ont été détectés par l'antenne. Enfin pour le troisième essai, les 14 smolts récupérés dans le filet lors de la deuxième injection ont été réintroduits dans l'exutoire, 46% ont été détectés par l'antenne. Au total, 42% des smolts traversant l'exutoire ont été détectés par l'antenne et 86,8% d'entre eux ont été récupérés dans le filet.

Tableau 1 : Résultats du test d'efficacité de l'antenne de la station d'auto-détection placée à la sortie de l'exutoire où pour les 3 essais, on a le nombre de smolts injectés, le nombre de smolts récupérés dans le filet placé à la sortie de l'exutoire, le nombre de smolts détectés par l'antenne et le pourcentage de détection.

Essais	Nombre de smolts injectés	Nombre de smolts récupérés dans le filet	Nombre de smolts détectés	Pourcentage de détection
Premier essai	20	16	6	37,5%
Deuxième essai	16	14	7	50%
Troisième essai	14	13	6	46%

Suite à l'observation de cette importante différence entre le taux de récupération et le taux de détection, nous avons placé une seconde antenne à l'entrée de l'exutoire de dévalaison.

Pour tester l'efficacité de cette nouvelle antenne, nous avons déversé 20 smolts munis de transmetteur devant l'entrée de l'exutoire. Un filet placé temporairement à la sortie nous a permis de récupérer les smolts passés par l'exutoire. Deux réplicas ont été réalisés. A chacun de ces trois essais, chaque smolt qui a emprunté l'exutoire a été détecté, ce qui signifie **une efficacité de l'antenne de 100%**.

VII.2.4.2. Test visant à évaluer le taux de passage par rapport au taux de détection

L'emplacement de l'antenne à l'entrée de l'exutoire posait néanmoins un problème pour l'analyse des données car il n'était pas possible de garantir que des smolts détectés ont bien emprunté l'exutoire de dévalaison pour franchir le barrage. Afin d'établir un lien entre le nombre de détections à l'antenne placée à l'entrée de l'exutoire et le nombre de passages réels, un filet de 10m de long placé provisoirement à la sortie (figure 13), nous a permis de recapturer les poissons passant par l'exutoire. Le 10 mai 2012, 50 smolts provenant de la pisciculture d'Erezée

ont été transportés jusqu'à Lorcé pour subir l'opération d'implantation de transpondeurs RFID. Ils ont été déversés au pont de Naze (1km en amont du barrage de Lorcé) une heure après l'opération. Le lendemain du déversement, le nombre de détections à l'entrée de l'exutoire de Lorcé a été vérifié et le filet placé à la sortie de l'exutoire a été relevé afin de calculer le pourcentage de smolts détectés passant par l'exutoire. Les résultats montrent que 46 smolts sur 50 ont été détectés à l'exutoire soit 92% ; 31 smolts ont été récupérés dans le filet sur 46 détectés soit 67% ; 62% des 50 smolts relâchés au pont de Naze ont emprunté l'exutoire de dévalaison.

Le placement définitif de l'antenne de détection au niveau de l'entrée de l'exutoire est présenté comme un second choix mais qui s'avère tout même efficace (efficacité de détection de 100%). Il s'est avéré également que ce placement nous a permis de récolter d'autres informations biologiques comme le temps de recherche du poissons à l'entrée de l'exutoire. La situation idéale serait une antenne efficace à 100% à l'entrée et à la sortie de l'exutoire.



Figure 13 : Filet installé provisoirement à la sortie de l'exutoire du barrage de Lorcé pour récupérer les smolts passés dans l'exutoire

VII.2.4.3. Test de mesure du taux de sortie de l'exutoire

Après avoir observé lors de notre présence sur le site que certains objets entrés dans l'exutoire n'en sont pas ressortis, nous avons supposé que des irrégularités à l'intérieur de l'exutoire de dévalaison pouvaient entraver le libre passage des smolts. Une manipulation a alors été réalisée dans le but de s'assurer que les smolts qui entrent dans l'exutoire ne restent pas bloqués à l'intérieur. Le 10 mai 2012, nous avons introduit 77 smolts préalablement anesthésiés afin qu'ils ne montrent aucune résistance à pénétrer dans l'exutoire. Un filet placé à sa sortie (figure 13) nous a permis de récupérer et de compter les smolts. Suite à l'introduction de 77 smolts dans l'exutoire, 68 ont été récupérés dans le filet, soit 88,3%. Le filet a été relevé environ 30 minutes après l'introduction des smolts dans l'exutoire.

Ces résultats suggèrent que l'exutoire présente des irrégularités ou un colmatage susceptible d'entraver ou de réduire le libre passage des smolts. Après cette expérience et lors d'une réunion technique avec le comité d'accompagnement, nous avons eu confirmation que la partie terminale de l'exutoire se termine par un plat comprenant une zone en retrait. Cette zone, observée lors d'une inspection, peut en effet empêcher certains poissons de sortir directement de l'exutoire entraînant un retard dans la dévalaison. Il faut remarquer que lors de l'inspection, aucun objet (entré et non ressorti) ou poissons mort n'a été observé.



Figure 14 : Partie terminale de l'exutoire de dévalaison du barrage de Lorcé, présentant une zone en retrait où la flèche blanche représente la zone d'accumulation

VII.2.5. Suivis comportementaux par transpondeurs RFID

Smolts de saumon atlantique

Les suivis par transpondeurs RFID des smolts ont été réalisés deux années consécutives (2012 et 2013). L'opération d'insertion des transpondeurs dans la cavité intra-péritonéale des 900 smolts s'est déroulée le 9 mars en 2012 et le 5 mars en 2013 à la pisciculture d'Erezée d'où provenaient les smolts. Pour chaque année, 450 smolts ont été divisés en 9 lots de 50 individus. Après avoir été stockés dans des bassins de la pisciculture d'Erezée, chacun de ces lots a été relâché dans l'Amblève à des périodes différentes et à des distances variables du barrage de Lorcé. Pour le transport, chaque lot a été transféré dans une cuve munie d'une pompe à oxygène ou d'un bulleur.

Trois dates par saison de migration (lors de la période de dévalaison des smolts) ont été programmées pour le déversement des smolts en milieu naturel au niveau de 3 points différents de l'Amblève situés en amont de Lorcé. A chacun de ces points et à chaque date, un lot de 50 individus a été déversé. Les trois sites de déversement sont (figure 15) :

- **Site 1** : 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 ».
- **Site 2** : 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 3** : 2,45 km en amont de la cascade de Coo et à 19,4km en amont du barrage de Lorcé.



Figure 15 : Carte et photos des 3 sites de déversements (points rouges). Site 1 : zone située à 1km en amont du barrage de Lorcé; site2 : zone aval de la cascade à 200m; site3 : zone amont de la cascade à 1km

Les sites 2 et 3 (amont et aval cascade) ont été choisis pour vérifier l'impact (blessures et/ou mortalité) du passage des smolts par la cascade ou par les turbines de la micro-centrale de Coo grâce à la comparaison du nombre de smolts atteignant le barrage de Lorcé. Quant au site 1, il permet d'évaluer la différence du nombre de smolts détectés au barrage de Lorcé entre un lot relâché proche du barrage et les 2 lots relâchés en amont et aval de la cascade de Coo.

Les dates de déversements ont été étalées sur la période de dévalaison afin d'évaluer l'efficacité de l'exutoire en fonction de différentes conditions expérimentales (tableau 2). Ces conditions sont les données environnementales de l'Amblève, principalement la température et le débit mais aussi les caractéristiques physiques de l'entrée de l'exutoire qui ont été testées durant l'expérience. Dans un premier temps, l'entrée était munie ou non d'une grille possédant un espace de 15cm entre les barreaux (figure 16), dans un deuxième temps avec la présence ou non d'une lampe de mercure (figure 17) et enfin avec la présence d'une drome légèrement en amont de l'entrée de l'exutoire (figure 18). Les dates de déversements pour 2012 et 2013 ainsi que les conditions expérimentales sont reprises dans le tableau 2.

Tableau 2 : Conditions expérimentales lors de chaque déversement pour 2012 et 2013 avec la date précise, la température de l'eau, le débit et la configuration de l'exutoire. Les croix représentent la configuration de l'entrée de l'exutoire lors du déversement

Année	Date	T° (°C)	Débit (m³/s)	Présence de la grille	Présence de la lampe	Présence de la drome
2012	9 mars	6,7	9,9	x		
	10 avril	9,7	6,9			
	20 avril	9,5	8,9		x	
2013	15 avril	11,2	9,8			x
	22 avril	9,8	7,8		x	x
	30 avril	8,8	6,7		x	x



Figure 16 : Configuration de l'entrée de l'exutoire de dévalaison du barrage de Lorcé : avec la grille (à gauche) et sans la grille (à droite)



Figure 17 : Entrée de l'exutoire de dévalaison avec la présence d'une lampe au mercure, de jour à gauche et de nuit à droite



Figure 18 : Présence de la drome juste en amont de l'entrée de l'exutoire de dévalaison du barrage de Lorcé

L'anguille

Dans le but de tester l'efficacité de l'exutoire sur une autre espèce, 30 anguilles argentées ont été marquées le 5 décembre 2012 avec un transpondeur RFID (figure 19). Ces anguilles ont été capturées dans l'estuaire de la Meuse aux Pays-Bas, achetées à un pêcheur Hollandais et stockées quelques jours au sein des infrastructures du CEFRA-ULg. Après un jour de stockage afin de vérifier l'état des 30 anguilles, elles ont été relâchées le 6 décembre 2012, juste en amont de l'embouchure de la Lienne avec l'Amblève à 3825m en amont du barrage de Lorcé.



Figure 19 : Opération de marquage sur une anguille argentée, le 5 décembre 2012, avec un transpondeur CIPAM

VII.3. Résultats

VII.3.1. Conditions environnementales durant les suivis

Température et débit

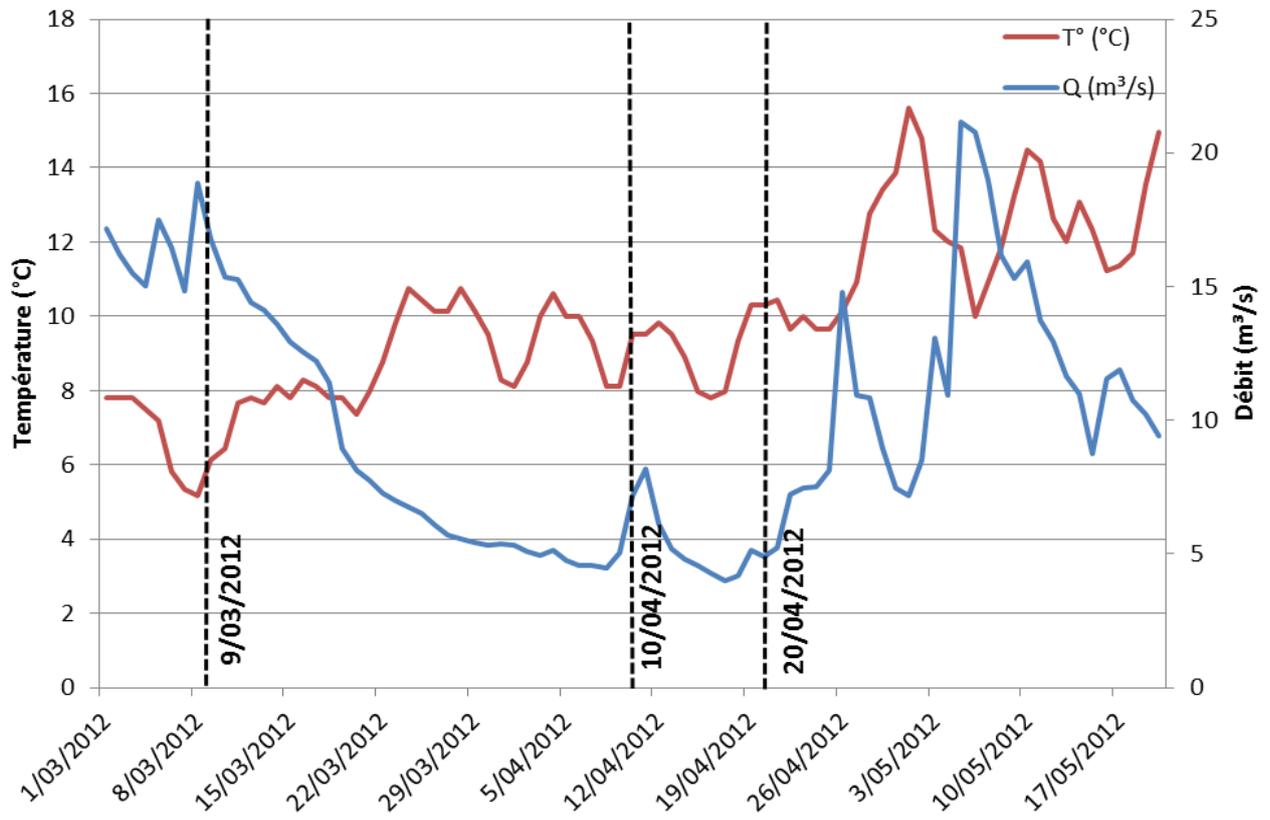


Figure 20 : Evolution de la température (°C) et du débit (m³/s) en 2012 dans le bief Coo-Lorcé (Amblève) durant les suivis par technologie RFID des smolts de saumons atlantiques en dévalaison. Les dates de déverséments sont représentées par les lignes en pointillés.

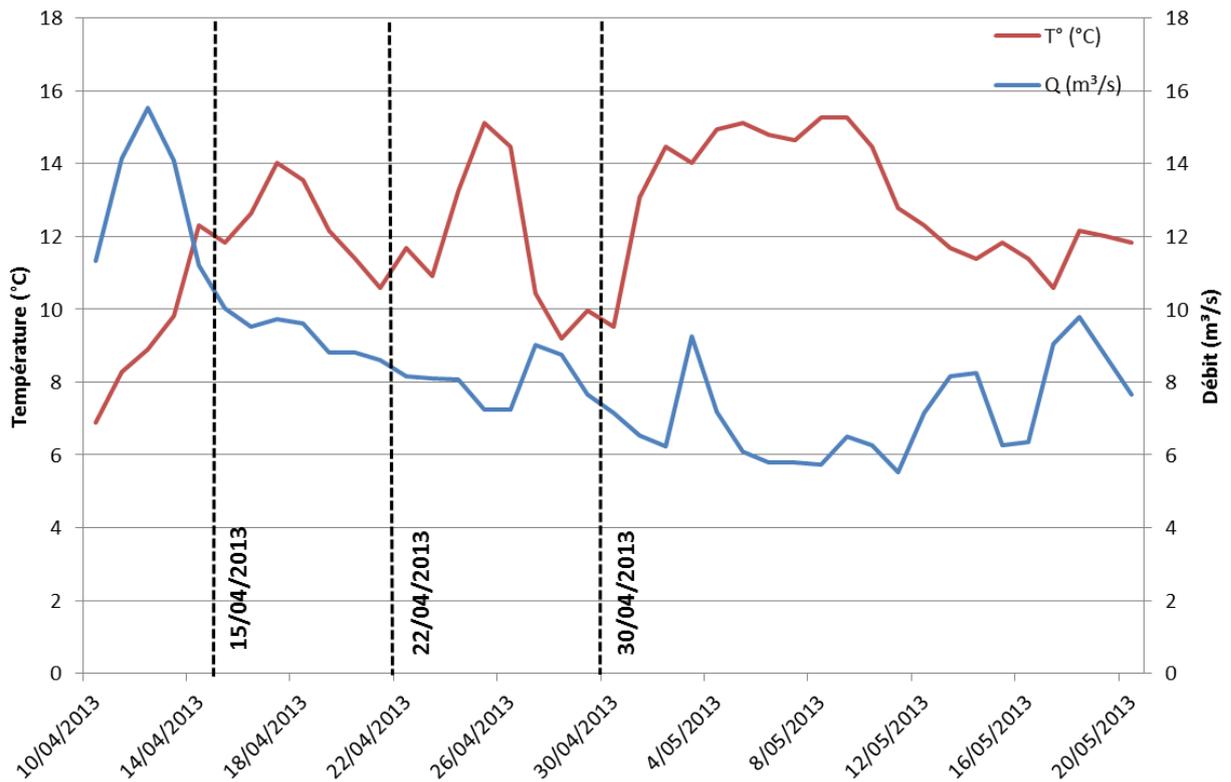


Figure 21 : Evolution de la température (°C) et du débit (m³/s) en 2013 dans le bief Coo-Lorcé (Amblève) durant les suivis par technologie RFID des smolts de saumons atlantiques en dévalaison. Les dates de déversements sont représentées par les lignes en pointillés.

Abaissement des vannes mobiles du barrage de Lorcé

Le barrage de Lorcé est équipé de deux vannes mobiles automatiques (figure 22) et d'une vanne secteur manuelle, leur abaissement peut faciliter le passage des poissons vers l'aval sans devoir emprunter l'exutoire. Durant la période de suivi par technologie RFID, les vannes 1 et 2 ont été abaissées :

- le 27 avril 2012 de 9h25 à 9h30 Abaissement complet de la vanne 2
- le 3 mai 2012 de 16h à 16h20 : Abaissement complet des deux vannes
- le 11 mai 2012 de 10h35 à 10h55 : Abaissement de moitié de la vanne 2
- le 10 et 11 décembre 2012 : abaissement partielle de la vanne 2
- du 15 décembre 2012 au 10 janvier 2013 : abaissement partiel et/ou complet des vannes 1 et 2 (continu pour la vanne 2).
- 2013 : aucun abaissement durant le printemps

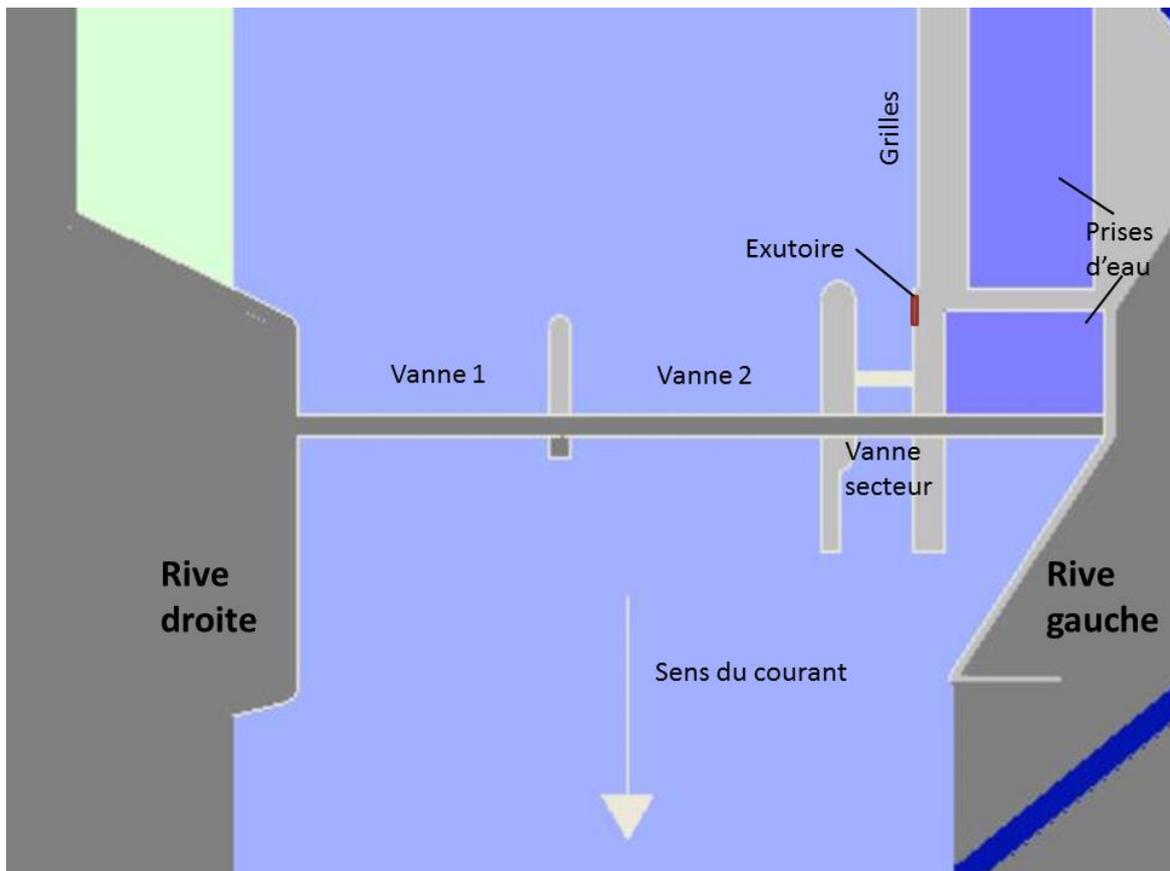


Figure 22 : schéma du barrage de Lorcé.

VII.3.2. Synthèse des résultats en fonction des lots

VII.3.2.1. Evolution du taux de détection en fonction des dates et des caractéristiques physiques de l'exutoire

En fonction de la date de déversement et du lieu de déversement pour les 18 lots de 50 individus (9 lots par an), le pourcentage de smolts détectés varie fortement. Le tableau 3 présente le pourcentage de détection pour chaque lot. Pour rappel nous utilisons le terme « taux de détection » et non « taux de passage » car il n'est pas possible de dire avec certitude qu'un poisson détecté à l'entrée de l'exutoire a réellement emprunté l'exutoire.

Tableau 3 : Pourcentage de détection à l'entrée de l'exutoire pour chaque lot en fonction du lieu de déversement et de la date de déversement.

Date\Lieu	Stavelot	Aval Coo	Pont de Naze	Moyenne par date
9/03/2012	18%	22%	2%	14%
10/04/2012	24%	22%	14%	20%
20/04/2012	46%	48%	40%	45%
15/04/2013	24%	22%	38%	28%
22/04/2013	26%	18%	38%	27%
30/04/2013	68%	54%	56%	59%

Tableau 4 : Résultats des détections de smolts en fonction de la configuration de l'entrée de l'exutoire où pour chaque configuration et chaque date de déversement, le nombre total de smolts détectés, le nombre de smolts détectés lorsque la grille était présente, lorsqu'il n'y avait aucun aménagement (« rien »), lorsqu'il y avait la lampe, lorsqu'il y avait la drome et lorsqu'il y avait la drome et la lampe. Les tirets signifient que les smolts déversés à la date mentionnée, n'ont pas été confrontés à ce type de configuration de l'entrée de l'exutoire.

Configurations\Dates	9/03/2012	10/04/2012	20/04/2012	15/04/2013	22/04/2013	30/04/2013
Nombre de smolts déversés	150	150	150	150	150	150
Nombre total de smolts détectés	21	30	67	42	41	89
Nombre de smolts détectés avec la présence de la grille	1	-	-	-	-	-
Nombre de smolts détectés avec "rien"	3	11	-	-	-	-
Nombre de smolts détectés avec la présence de la lampe	17	19	67	-	-	-
Nombre de smolts détectés avec la présence de la drome	-	-	-	21	-	-
Nombre de smolts détectés avec la présence de la drome et de la lampe	-	-	-	21	41	89

D'un point de vue général, sur les 450 smolts déversés chaque année de l'expérience, 118 smolts ont été détectés à l'entrée de l'exutoire du barrage de Lorcé en 2012 et 172 smolts en 2013. Ces résultats nous donnent un taux moyen de détection de 32% au total. Le taux de détection par lot (50 individus) au niveau de l'entrée de l'exutoire du barrage de Lorcé varie de 2% à 68% (tableau 3). On constate que lors du déversement du 9 mars 2012, nous avons obtenu un taux de

détection maximum de 22% (pour les smolts déversés en aval de la cascade) avec une moyenne de 14% de détection pour ce premier déversement en 2012. Pour le déversement du 10 avril 2012, nous obtenons un taux de détection maximum de 24% et une moyenne de 20%. Lors du déversement du 20 avril 2012, on constate un taux de détection maximum de 48% et une moyenne de 45%. Pour l'expérience en 2013, dans l'ensemble, les taux de détection sont plus élevés qu'en 2012. Le premier déversement de l'année, le 15 avril 2013, nous obtenons un taux maximum de détection de 38% avec une moyenne de détection de 28%. Lors du second déversement en 2013, le 22 avril 2013, on constate un taux maximum de détection de 38% et une moyenne de 27%. Enfin, le 30 avril 2013, nous avons obtenus un taux maximum de détection de 68% et une moyenne de 59%.

En 2012 et en 2013, le taux moyen de détection augmente en fonction de la date de déversement. On remarque que plus les lots sont déversés tard, plus le taux moyen de détection est élevé. Ce constat ne doit pas être mis en relation uniquement avec la date de déversement (conditions environnementales) car les conditions physiques de l'exutoire ont été modifiées entre les différentes dates de déversement. Le nombre de smolts détectés en fonction des caractéristiques physiques (grille, lampe et drome) de l'entrée de l'exutoire est comparé pour chaque date (tableau 4). Pour le déversement du 9 mars 2012, lorsqu' à cette date, une grille était installée à l'entrée de l'exutoire, sur les 150 smolts déversés, 21 smolts ont été détectés. Seul 1 smolt a été détecté entre le 9 mars 2012 et le 5 avril 2012 lorsque la grille était présente. Cette grille a ensuite été retirée car elle engendrait régulièrement un colmatage et donc diminuait l'attractivité de l'exutoire. Entre le 5 avril et le 18 avril 2012, on constate que le nombre de smolts détectés pour ce lot est de 3. Enfin, le 18 avril, une lampe au mercure a été installée à l'entrée de l'exutoire et le nombre de smolts détectés durant cette période est plus important avec 17 smolts. Pour le lot déversé le 10 avril 2012, la grille était déjà retirée lors du déversement. On constate également un plus grand nombre de smolts détectés après l'ajout de la lampe au mercure (n=11 sans la lampe et n=19 avec la lampe). Enfin pour l'année 2012, le dernier lot déversé (le 20 avril 2012) a été confronté uniquement à l'exutoire muni de la lampe et on constate un nombre de détection total plus important que les deux autres lots (n=67 au total contre 21 et 30 smolts détectés).

L'année 2013 consistait principalement à observer l'effet d'une drome installée en amont de l'entrée de l'exutoire. Avec le premier déversement du 15 avril 2013, 21 smolts ont été détectés

lorsqu'uniquement la drome était présente et 21 smolts lorsque la lampe a été installée en plus de la drome le 22 avril 2013. Pour les deux autres dates de 2013, la configuration de l'entrée de l'exutoire était la même, c'est-à-dire qu'il y avait à la fois la drome et la lampe au mercure. Le nombre de smolts détectés est de 41 et 89 pour les smolts déversés respectivement le 22 avril 2013 et le 30 avril 2013.

Il est certain que les facteurs environnementaux interviennent dans la stimulation des smolts à entamer leur dévalaison, néanmoins, on constate que les modifications apportées à l'entrée de l'exutoire ont augmenté le taux de détection de l'exutoire et donc augmenté partiellement son attractivité.

VII.3.2.2. Evolution du taux de détection en fonction des sites de déversement

D'après les taux de détection moyens obtenus pour chaque lieu de déversement lors des deux années de suivis (figure 23), nous n'observons pas de différence significative du taux de détection en fonction du site de déversement. La valeur moyenne du taux de détection varie de 31% à 34%. Pour Stavelot qui représente le site de déversement situé en amont de la cascade de Coo, les taux de détection varient de 18% à 68%. Pour le site de déversement juste en aval de la cascade, les taux de détection par lot varient de 18% à 54%. Enfin, pour le site de déversement situé proche du barrage de Lorcé, les taux de détection varient de 2% à 56%.

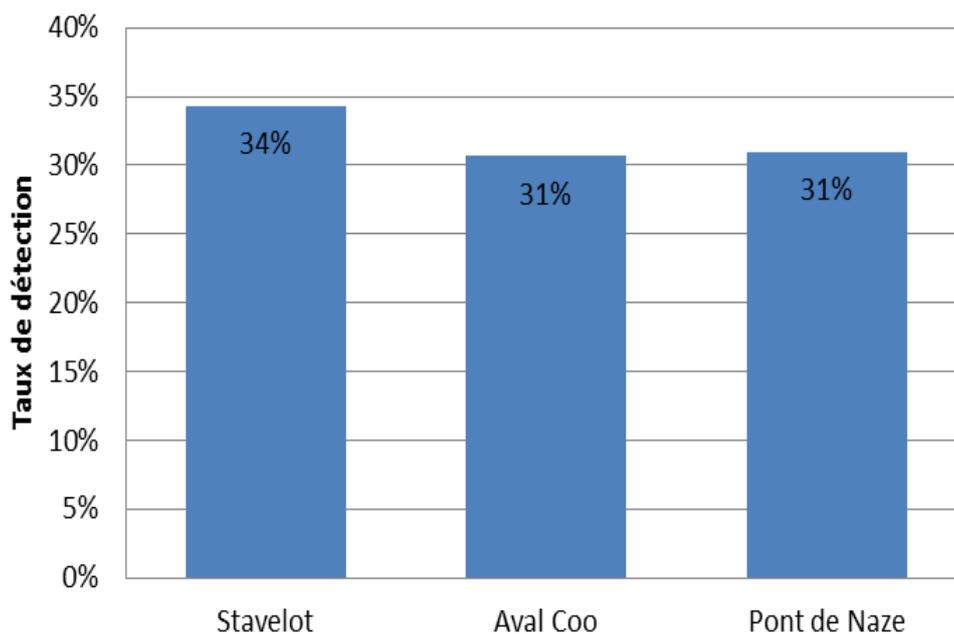


Figure 23 : Histogramme des pourcentages de détection moyens en fonction des lieux de déversement

VII.3.2.3. Date de la première détection et rôle des conditions environnementales

La date de la première détection à l'entrée de l'exutoire pour chaque smolt a été mise en relation avec les données environnementales de l'Amblève (figure 24), température maximale et le débit moyen de l'Amblève.

En 2012, la date du premier déversement était le 9 mars 2012 mais la première détection n'a été observée que le 27 mars 2012 lorsque la température a atteint 10°C et le débit légèrement inférieur à 6m³/s. Lors du deuxième déversement le 10 avril 2012, des smolts ont été détectés le jour du déversement ainsi que les 4 jours suivants à la faveur d'une hausse de débit de 4m³/s et d'une température avoisinant les 10°C. Les jours suivants, jusqu'au 20 avril 2012, la température est redescendue aux alentours des 8°C et le débit était faible avec une valeur de 4m³/s. Le 20 avril 2012, lors du troisième et dernier déversement en 2012, on observe un pic de première détection du 20 avril 2012 au 23 avril 2012 pour les 3 dates de déversement avec un maximum le 22 avril 2012. Ce pic correspond à un maintien de la température à 10°C et à une hausse progressive du débit de 4 à 7m³/s. Enfin, aucun smolt n'a été détecté pour la première fois après le 26 avril 2012.

Pour 2013, les résultats sont légèrement différents. Suite au très faible taux de détection pour le premier lot déversé en 2012, le premier lot en 2013 a été déversé plus tard, le 15 avril 2013. Pour ce premier lot on observe un premier pic de détection le jour même du déversement suivi de deux autres pics les jours suivants les deux autres déversements de 2013. Le premier pic s'est produit lorsque la température était de 11°C et le débit de 6m³/s. Les deux autres pics correspondent à des augmentations de la température de l'eau de presque 5°C à chaque fois (9°C à 14°C). Le deuxième lot, déversé le 20 avril 2013, possède également un pic de détection lors du jour du déversement mais, on constate trois à quatre jours plus tard un second pic. Enfin lors du troisième déversement, réalisé le 20 avril 2013, on observe le même phénomène d'un premier pic à la date du déversement suivi d'un second pic correspondant à une augmentation de la température et du débit. Aucun smolt n'a été détecté pour la première fois après le 4 mai 2013.

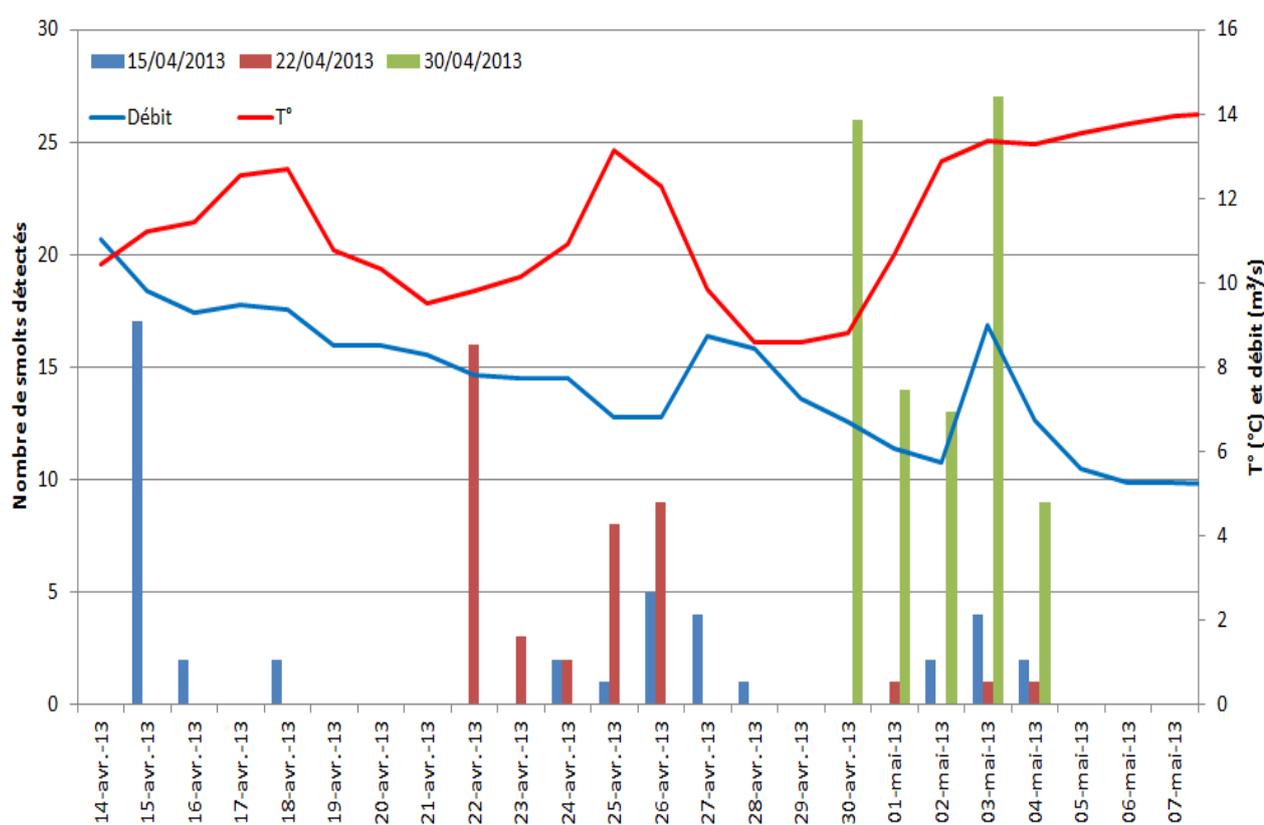
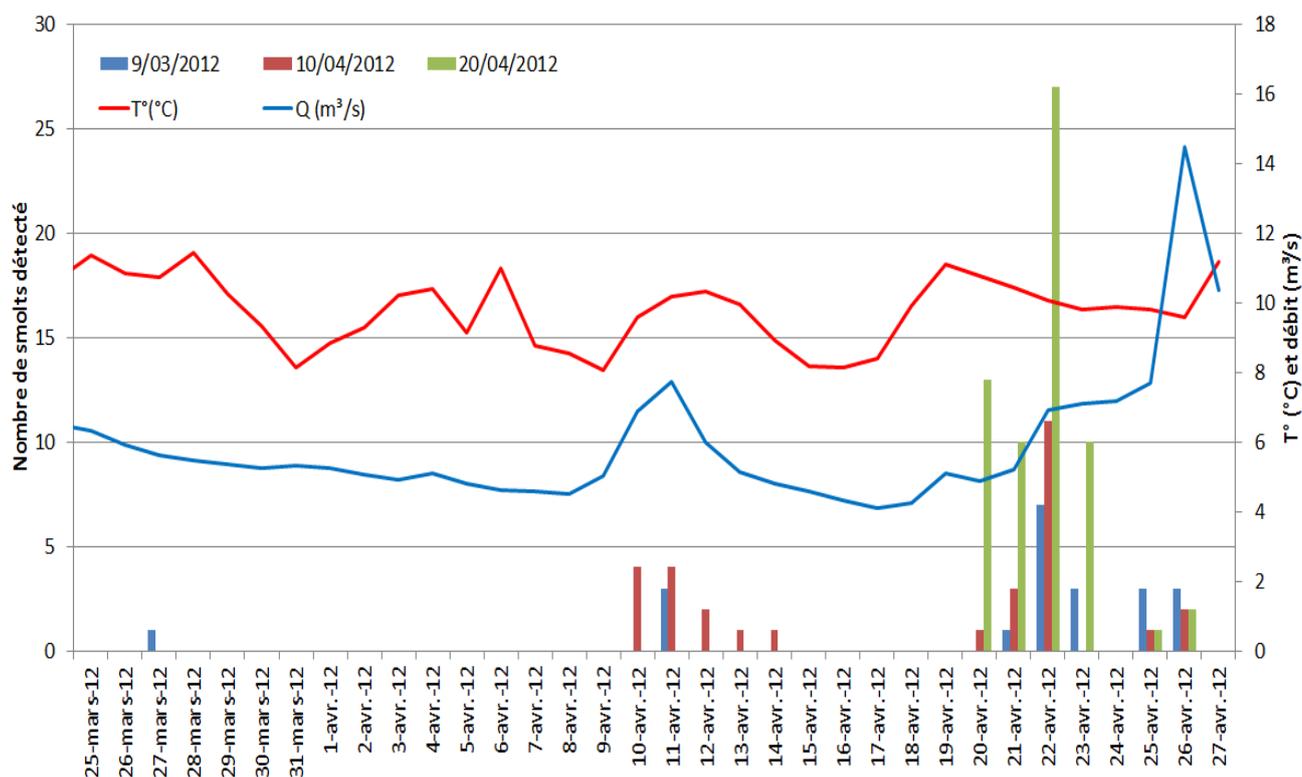


Figure 24 : Nombre de smolts détectés, lors de chaque déversement, pour la première fois à l'entrée de l'exutoire chaque jour durant la période de dévalaison en 2012 (en haut) et 2013 (en bas), où les lignes rouge et bleu représentent respectivement la température maximale en °C et le débit à Targnon en m³/s

VII.3.2.4. Temps nécessaire pour atteindre le site de l'exutoire

Le temps nécessaire aux smolts pour atteindre l'entrée de l'exutoire après leur déversement varie d'un site de déversement à l'autre. L'analyse pour 2012 (figure 25) et 2013 (figure 26) nous indique que :

- la majorité (+ de 80%) des smolts déversés au pont de Naze, à 1km en amont du barrage de Lorcé, met moins de 12h pour arriver à l'entrée de l'exutoire. En revanche, en 2012 lors d'un déversement « précoce » (le 9 mars 2012), les smolts ont mis plus de 10 jours pour atteindre l'entrée de l'exutoire (car les conditions thermiques n'étaient pas encore favorables)
- Les smolts déversés en amont et en aval de la cascade ont logiquement mis plus de temps pour arriver à l'entrée de l'exutoire que ceux déversés au pont de Naze. En 2012, le temps nécessaire pour atteindre l'entrée de l'exutoire, varie entre 1 à 3 jours après leur déversement. Ce temps est plus important en 2013 avec un temps de 2 à 4 jours pour atteindre l'exutoire.
- Des smolts déversés en amont et aval de Coo ont réussi en 2013 à parcourir les 17km les séparant du barrage de Lorcé en moins de 24h voire en moins de 12h. Il est donc possible pour les smolts déversés en amont et en aval de la cascade de Coo, de dévaler rapidement afin d'atteindre l'entrée de l'exutoire.
- Si on compare le temps de parcours entre les smolts déversés en amont et en aval de la cascade, il n'existe pas de différence significative indiquant que la cascade de Coo engendrerait un retard plus important dans la dévalaison des smolts déversés en amont contrairement à ce qui a été observé dans le chapitre VI (radio-pistage) où les smolts ont montré un temps d'hésitation (plusieurs heures) à franchir la cascade ou se sont retrouvés bloqués face à la prise d'eau de la CHE de Coo-dérivation.
- Certains smolts mettent entre 10 et 20 jours (voir plus de 20 jours en 2012) pour atteindre l'entrée de l'exutoire. Ce retard de dévalaison par rapport aux autres smolts est très pénalisant et pose question par rapport à la suite de leur parcours vers la mer.

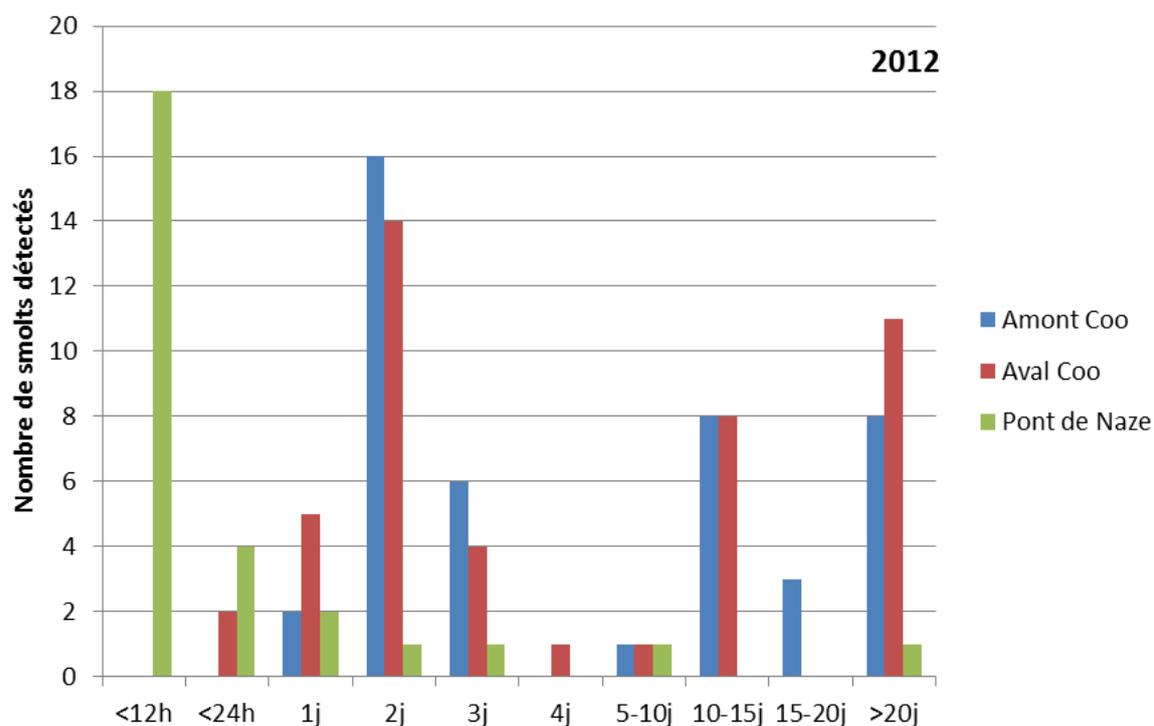


Figure 25 : Durée entre le déversement et la première détection à l'entrée de l'exutoire en fonction du lieu de déversement pour l'année 2012.

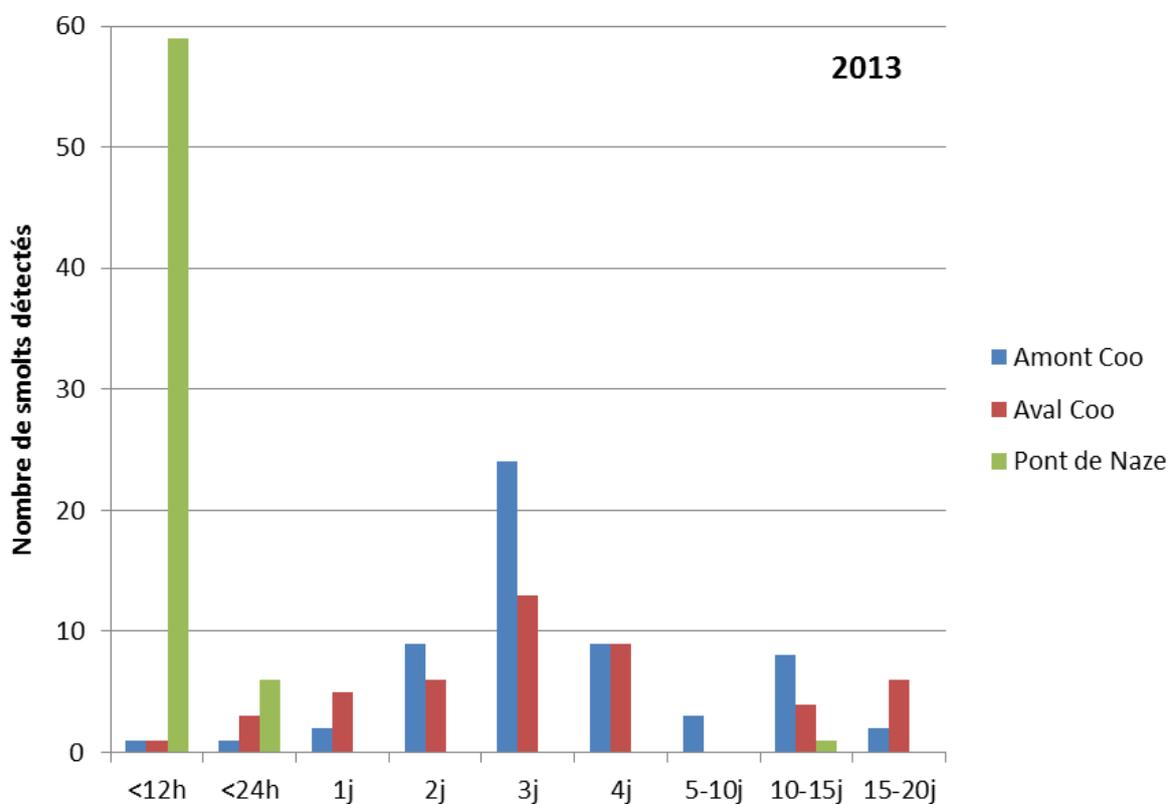


Figure 26 : Durée entre le déversement et la première détection à l'entrée de l'exutoire en fonction du lieu de déversement pour l'année 2013.

VII.3.2.5. Timing de migration à l'échelle du cycle nyctéméral

L'utilisation de transpondeurs RFID et d'une station automatique nous a permis de connaître la date de la première détection au niveau de l'exutoire mais aussi l'heure précise d'arrivée. La figure 27 renseigne les heures précises de la première détection pour chaque smolt détecté en 2012 et en 2013. Cela nous permet donc d'acquérir des données plus précises sur les heures de début de dévalaison. En 2012 et en 2013, le pic du nombre de smolts détectés à l'entrée de l'exutoire est observé à 21h ce qui correspond à la tombée de la nuit. Les périodes du cycle nyctéméral présentant le plus de première détection sont le début de soirée de 17h à 20h et la nuit de 21h à 5h.

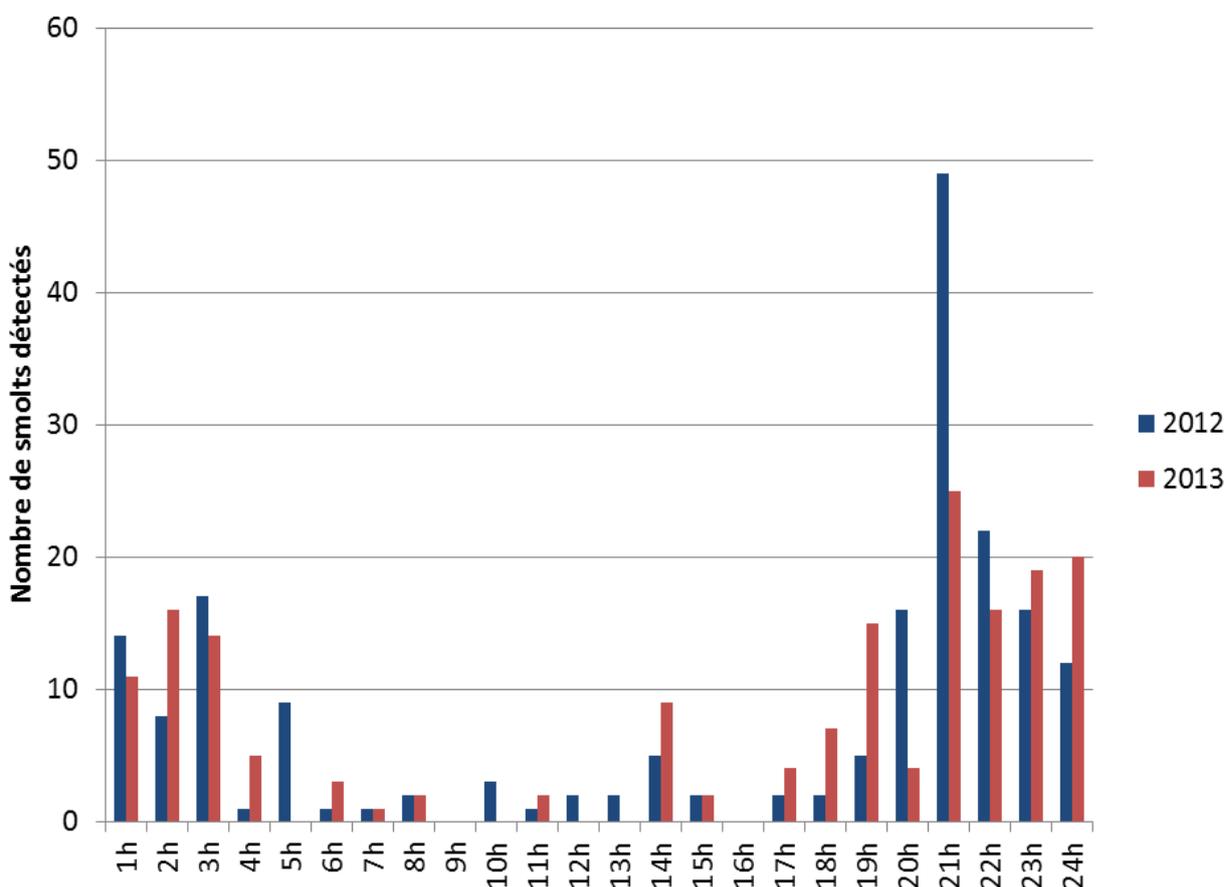


Figure 27 : Heure d'arrivée pour la première fois, des smolts à proximité de l'exutoire en 2012 en bleu et en 2013 en rouge.

VII.3.2.6. Temps passé à l'entrée de l'exutoire

L'observation visuelle de nuit du comportement des smolts à l'entrée de l'exutoire a montré que les smolts sont méfiants avant de s'engager dans l'exutoire et résistent tête vers l'amont avant de se laisser emporter dans l'exutoire (figure 29 et 30). Confirmé par le radio-pistage de smolts (cf. chapitre VI), ce comportement d'hésitation a été confirmé aussi par des vidéos de nuit où des groupes de smolts proche de l'entrée de l'exutoire ont été observés. Le nombre important de détection pour plusieurs smolts (jusqu'à 800 détection pour un seul smolt) confirme cette hésitation. Pour cette raison, nous avons estimé le temps d'hésitation à l'entrée de l'exutoire en calculant le laps de temps entre la première détection et la dernière détection RFID (figure 28). On observe que :

- Pour une majorité des smolts (en 2012 et 2013), ce laps de temps est inférieur à 5 min.
- Plus de 80% des smolts restent moins de 24h à l'entrée de l'exutoire
- Qu'entre 20 et 30% des smolts restent entre plus de 5 minutes et moins de 24h à l'entrée de l'exutoire.
- Un petit pic de smolts détectés plus de 24 à 48h est présent en 2012.
- Certains smolts montrent un temps d'hésitation de plus de 5 jours (5 %)

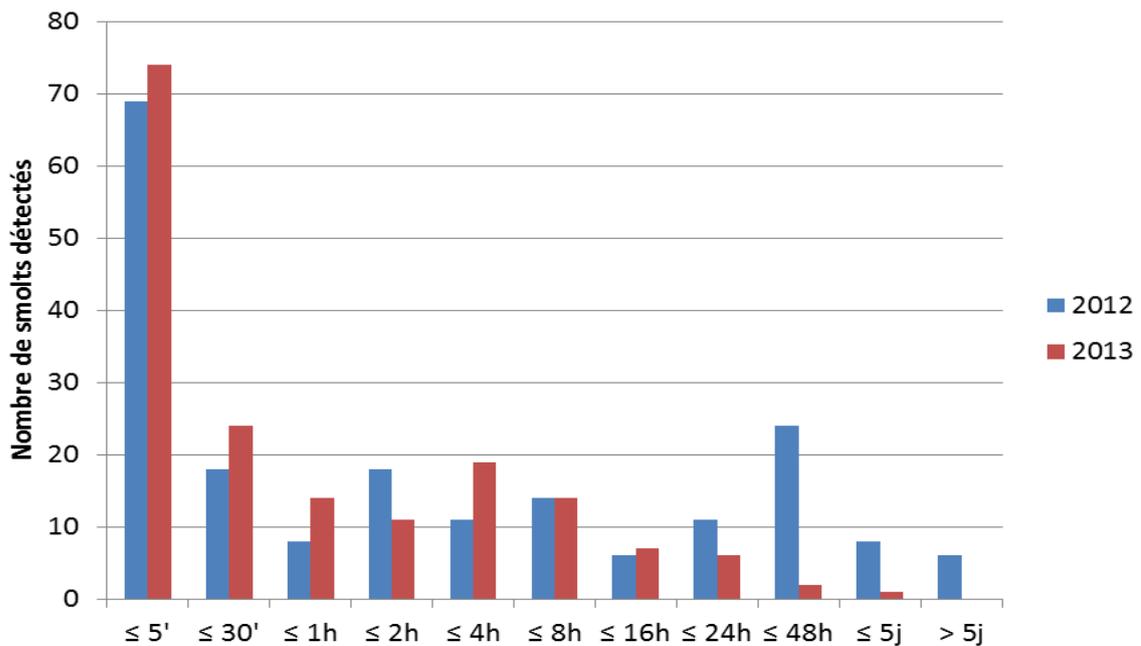


Figure 28 : Nombre de smolts en fonction de leur laps de temps resté proche de l'exutoire du barrage de Lorcé en bleu pour 2012 et en rouge pour 2013

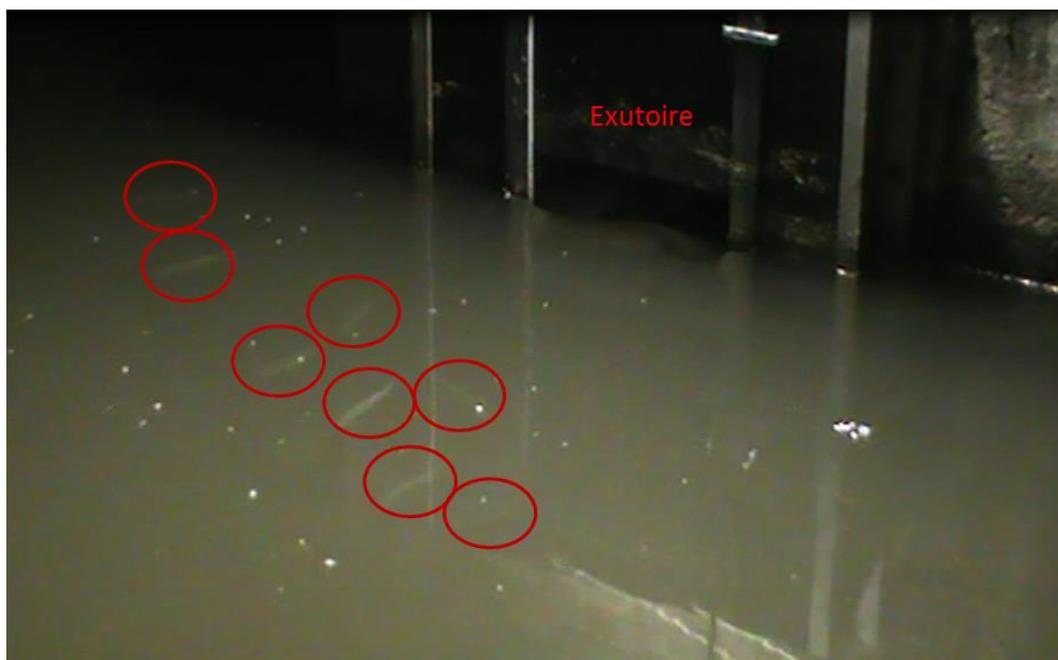


Figure 29 : Rassemblement de smolts de saumon atlantique au niveau de l'exutoire de dévalaison de Lorcé (Amblève) lors d'observations nocturnes. Les ronds rouges identifient la position de smolts qui nagent à contre-courant



Figure 30 : Photo d'un smolt de saumon atlantique résistant au courant créé par l'exutoire de dévalaison.

VII.3.2.7. Timing de recherche de voie de passage à l'échelle du cycle nycthéral

Afin de connaître les périodes d'activités de recherche des smolts à proximité de l'exutoire, nous avons analysé les heures du cycle nycthéral présentant le plus grand nombre de détection. Le pourcentage du nombre total de détection pour chaque heure du cycle nycthéral est présenté dans la figure 31 pour 2012 et 2013. Il apparaît que :

- les périodes d'activité (ou les périodes de recherche de voies de passage) sont situées de 21h à 5h du matin en 2012 et de 21h à 4h du matin en 2013.
- les pics d'activités varient entre 2012 et 2013. En effet, en 2012 le pic d'activité se situe plutôt entre 21h et 24h alors qu'en 2013, il se situe entre 24h et 3h du matin.
- Il existe tout de même une faible activité en journée (de 6h à 20h) à l'entrée de l'exutoire de dévalaison les deux années de suivis.

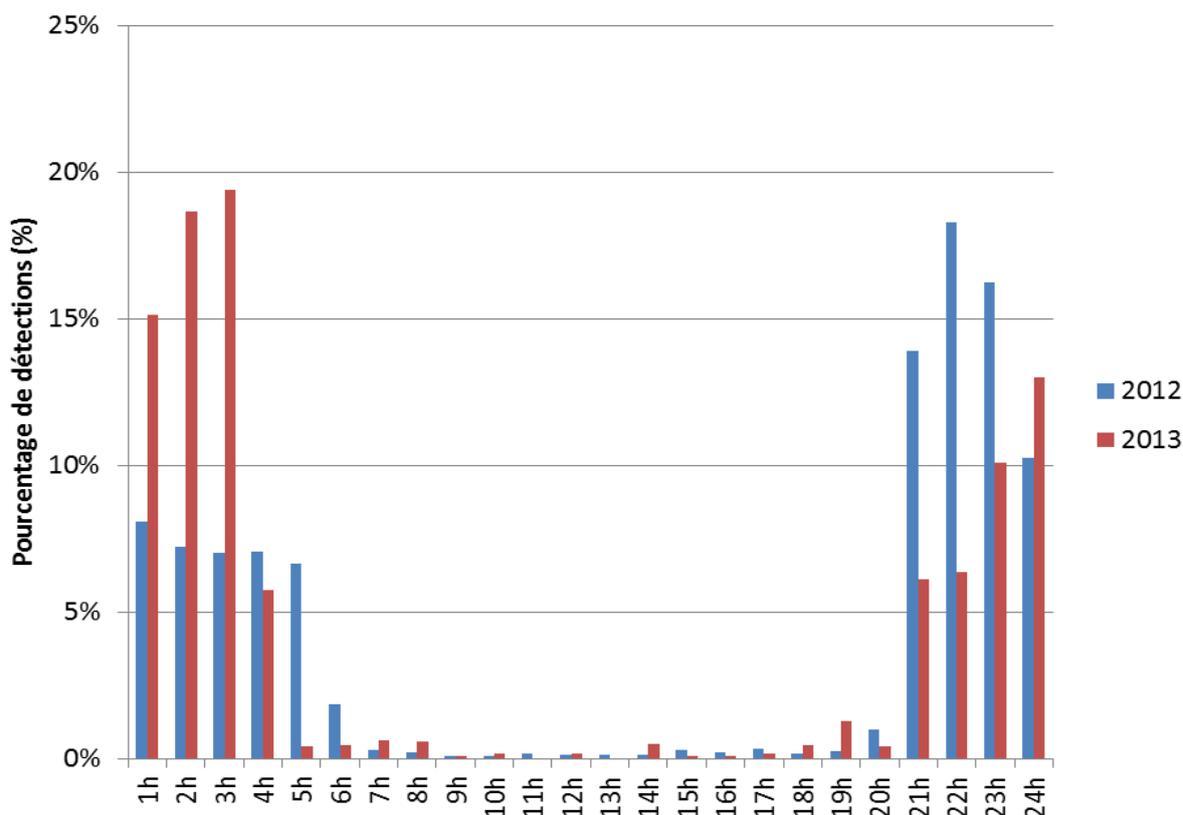


Figure 31 : Pourcentage des détections totales au niveau de l'entrée de l'exutoire du barrage de Lorcé pour 2012 en bleu et 2013 en rouge.

VII.3.3. Recapture et redétection dans l'Ourthe et en Meuse

VII.3.3.1. Piège de capture de dévalaison à Méry sur l'Ourthe.

Le contrôle du piège de capture à la dévalaison situé à Méry sur l'Ourthe, en aval de notre site d'étude, nous a permis de recapturer plusieurs dizaines d'individus. En effet, l'exutoire de dévalaison installé au niveau du barrage de Méry et muni d'un piège de capture, est contrôlé durant la période de dévalaison des smolts dans le cadre du projet Saumon-Meuse. En tout pour 2012 et 2013, sur les 900 smolts marqués et déversés, 94 smolts (10,4%) ont été capturés dans le piège de Méry. Les données pour 2012 et 2013 sont représentées dans le tableau 5. On constate que le nombre total de smolts capturés à Méry est plus important en 2013 avec 60 individus sur 450 (13,3%) contre 34 sur 450 (7,5%) en 2012. Une remarque importante est que des smolts non détectés à l'entrée de l'exutoire ont été capturés vivant dans le piège de Méry. Cela signifie, qu'il a été possible pour certains individus d'emprunter d'autres voies d'accès lors de leur passage au niveau du barrage de Lorcé. Ces voies d'accès possibles sont les vannes mobiles du barrage, la micro-turbine du barrage de Lorcé (par laquelle passe le débit réservé) et les turbines de Heid de Goreux via la prise d'eau du barrage de Lorcé. Les vannes mobiles du barrage de Lorcé ont été fermées durant la durée de l'expérience les deux années (sauf quelques abaissements de courte durée en 2012), ce qui implique que certains smolts sont passés par les turbines et ont été capables de poursuivre leur dévalaison. On constate que le pourcentage de smolts capturés à Méry et non-détectés à l'entrée de l'exutoire est supérieur à 50% les deux années. En 2012, le nombre de smolts capturés à Méry et non-détectés à Lorcé est significativement plus grand avec 65% (Test exact de Fisher, $p=0,03$) que le nombre de smolts capturés à Méry et détectés à Lorcé. A l'inverse, en 2013, il n'y a pas de différence significative entre le nombre d'individus capturés à Méry et détectés ou non à Lorcé (Test exact de Fisher, $p>0,05$) respectivement de 43% et 57%. Ces recaptures au niveau du piège de dévalaison à Méry démontrent que de nombreuses inconnues persistent :

- Est-ce que la totalité des smolts déversés atteignent le barrage de Lorcé ?
- Quelle proportion emprunte réellement d'autres voies de passages, c'est-à-dire par les turbines de Heid de Goreux ou de la micro-turbine du barrage de Lorcé (lorsque les vannes mobiles ne sont pas abaissées) en sachant qu'en moyenne 27% des smolts ne

survivraient pas à ce choix (selon la moyenne des taux de mortalité théoriques calculés, cf. chapitre VI) ?

- Quelle proportion emprunte l'exutoire et arrive jusque Méry impliquant le passage par 8km de débit réservé ?

Tableau 5 : Résultats des recaptures de smolts dans le piège de Méry, reprenant par année le nombre total, le nombre et le pourcentage de détecté ou non à Lorcé, en fonction du lieu de déversement et en fonction de la date de déversement.

	2012		2013	
	Nb	%	nb	%
Total capturé à Méry	34		60	
Nombre détecté à Lorcé	12	35%	28	47%
Nombre non détecté à Lorcé	22	65%	32	53%
Nombre provenant de l'amont de Coo	4	12%	19	32%
Nombre provenant de l'aval de Coo	15	44%	18	30%
Nombre provenant du pont de Naze	15	44%	23	38%
Nombre du 1er déversement (9/03/2012 et 15/04/2013)	9	26%	18	30%
Nombre du 2e déversement (10/04/2012 et 22/04/2013)	15	44%	15	25%
Nombre du 3e déversement (20/04/2012 et 30/04/2013)	10	29%	27	45%

Dans l'optique d'évaluer un éventuel impact de la cascade de Coo sur les capacités des smolts à continuer leur dévalaison, les pourcentages des smolts de chaque date et de chaque lieu capturés à Méry pour les deux années de suivi, sont exposés dans le tableau 5. On observe qu'il n'existe pas de différence significative entre les différents lieux de déversement mis à part pour l'amont de Coo en 2012 qui présente un faible taux de 12%. Le nombre de smolts provenant de l'amont de Coo en 2012 et capturés à Méry est significativement plus faible qu'en aval de Coo et

du pont de Naze (Test exact de Fisher, $p=0,01$). Concernant les dates de déversement, aucune tendance significative (Test exact de Fisher, $p>0,05$) ne ressort des résultats obtenus avec un pourcentage variant de 25 à 45%.

En moyenne, en 2012 il faut 19 jours aux smolts pour atteindre le barrage de Méry après leur déversement contre 10 jours en 2013 (tableau 6). Les minima et maxima vont de 2 jours (en 2013) à 55 jours (en 2012). Lorsque l'on compare la durée moyenne pour atteindre le barrage de Méry entre les smolts détectés à l'entrée de l'exutoire et les smolts non détectés, on n'observe pas de différence significative de la durée. On observe qu'en 2012 où le débit était compris entre 5 et 8m³/s, les temps moyens sont plus élevés qu'en 2013 où le débit était compris entre 6 et 10m³/s (en moyenne 9 jours supplémentaires en 2012). Enfin après leur dernière détection à Lorcé, les smolts détectés mettent en moyenne 4 (en 2012) à 5 (en 2013) jours pour atteindre Méry avec un minimum de 1 jour et un maximum de 18 jours les deux années confondues.

Tableau 6 : Résultats des temps moyens des smolts entre leur déversement et leur capture à Méry pour 2012 et 2013 avec le nombre moyen de jours (minimum et maximum).

	2012 Nbr de jours (min. à max.)	2013 Nbr de jours (min. à max.)
Temps moyen entre le déversement et la capture à Méry pour tous les smolts capturés	19 (5 à 55)	10 (2 à 25)
Temps moyen entre le déversement et la capture à Méry pour les smolts détectés à Lorcé	21 (5 à 55)	9 (2 à 25)
Temps moyen entre le déversement et la capture à Méry pour les smolts non-détectés à Lorcé	18 (5 à 45)	10 (3 à 21)
Temps moyen entre la dernière détection à Lorcé et la capture à Méry	4 (1 à 11)	5 (2 à 18)

VII.3.3.2. Station RFID installée dans l'échelle à poisson de Monsin (Meuse)

Lors de l'expérience en 2013, deux smolts ont été détectés au niveau de l'antenne RFID installée dans l'échelle à poisson du barrage de Monsin situé en basse Meuse. Il faut noter que le barrage de Monsin n'est pas muni d'un exutoire de dévalaison et qu'en conséquence les seules voies

d'accès sont les turbines de la centrale hydroélectrique, les vannes mobiles ou l'échelle à poissons. Cette antenne a été installée dans le cadre des projets Saumon Meuse et FEP Stock anguille afin d'étudier les déplacements des poissons capturés et marqués au barrage de Lixhe situé en aval. Ces résultats indiquent qu'il est possible pour des smolts relâchés en amont de la cascade de Coo d'atteindre la basse Meuse sans emprunter ni l'exutoire de Lorcé ni l'exutoire de Méry. Il a fallu de 7 à 11 jours (après le déversement) pour que les deux smolts atteignent le barrage de Monsin (tableau 7).

Tableau 7 : Résultats des détections de l'antenne CIPAM de l'échelle à poissons de Monsin

Marque	Lieu de déversement	Date de déversement	Date de détection	Heure de première détection	Heure de dernière détection	Nombre de détection	Temps par rapport au déversement (jour)
ACB435A	Amont Coo	15/04/2013	26/04/2013	19:38:22	19:40:37	4	11
ACB438B	Amont Coo	15/04/2013	22/04/2013	14:34:00	14:41:27	2	7

VII.3.4. Influence de la taille des smolts

Lors des deux sessions de marquage, les smolts ont été préalablement mesurés (Lf) avant d'être déversés. Dans le but de vérifier la capacité d'un smolt à utiliser les exutoires de dévalaison de Lorcé ou de Méry et d'atteindre ces deux endroits, la taille moyenne des smolts a été comparée. En 2012 (figure 32), la taille moyenne des 450 smolts déversés est de 133,7mm. La taille moyenne des smolts détectés à l'entrée de l'exutoire de Lorcé est de 132,9mm (0,8mm de moins que la moyenne totale) et elle est de 137,7 pour ceux capturés dans le piège de Méry. La taille des smolts détectés à l'entrée de l'exutoire de Lorcé n'est pas significativement différente de la taille de la totalité des smolts déversés en 2012 (t-test, p-value>0,05). Par contre, la taille des smolts capturés à Méry (mesurée lors de leur marquage) est significativement plus grande que celle de la totalité des smolts déversés (test de Wilcoxon, p-value=0,01). Cela signifierait que les smolts atteignant Méry seraient généralement les individus de plus grande taille lors de leur déversement. La taille des smolts capturés à Méry est également significativement plus grande que celle des smolts détectés à l'entrée de l'exutoire de Lorcé.

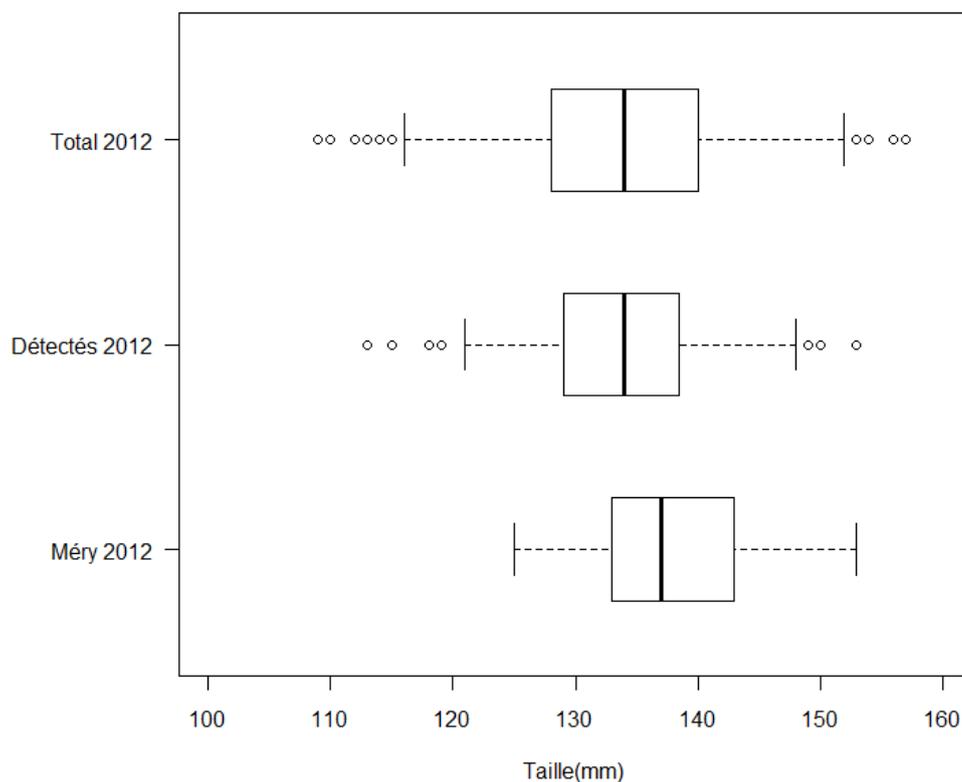


Figure 32 : Classes de taille des smolts en 2012 au total, détectés à l'exutoire de Lorcé et capturés à Méry. Les limites du rectangle représentent les quantiles 25 et 75, la ligne noire représente le quantile 50, les limites des lignes en pointillés représentent les quantiles 5 et 95 et les ronds représentent les valeurs extrêmes

En 2013 (figure 33), la taille moyenne des 450 smolts déversés est de 134,5mm. La taille moyenne des smolts détectés à l'entrée de l'exutoire de Lorcé est de 134,8mm (0,3mm de plus que la moyenne totale) et elle est de 135,1mm pour ceux capturés dans le piège de Méry. La taille des smolts détectés à Lorcé et capturés à Méry n'est pas significativement différente de la taille de la totalité des smolts déversés en 2013 (test de Wilcoxon, $p\text{-value} > 0,05$). De la même manière, la taille des smolts détectés à Lorcé n'est pas significativement différentes de la taille des smolts capturés à Méry (test de Wilcoxon, $p\text{-value} > 0,05$). La tendance observée en 2012, n'est pas significative en 2013 mais il s'avère que la taille moyenne des smolts atteignant Méry est légèrement plus grande que la taille moyenne totale. Afin de confirmer cette tendance, il serait intéressant de continuer ces suivis de smolts par la technique RFID ces prochaines années.

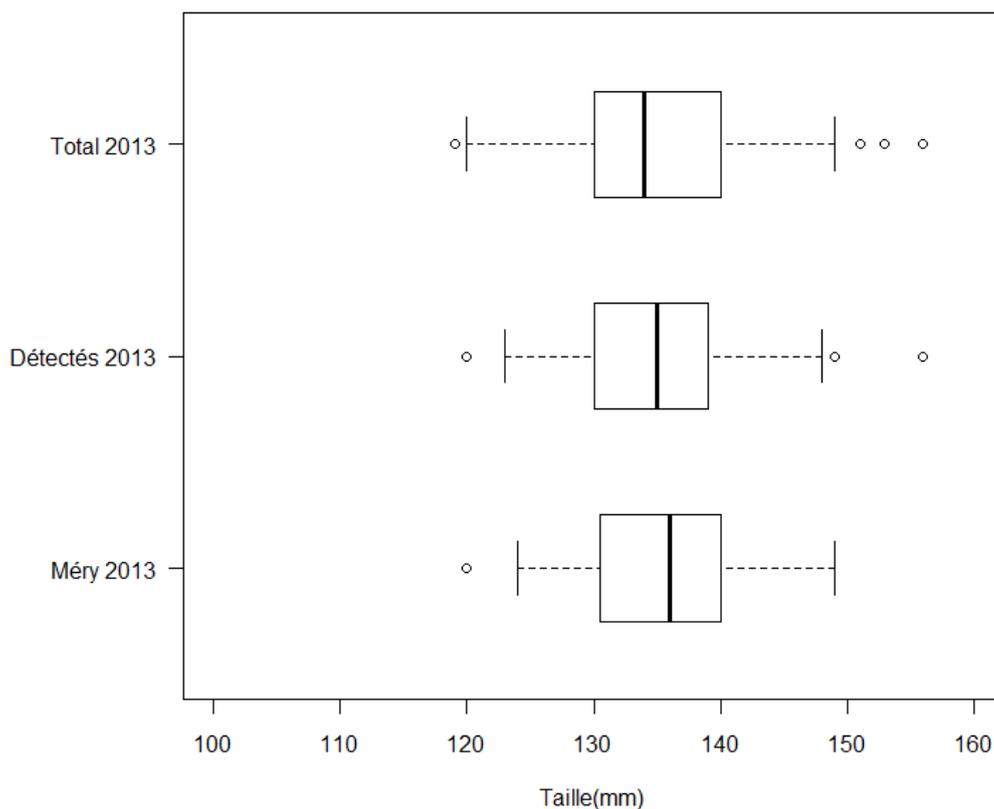


Figure 33 : Classes de taille des smolts en 2013 au total, détectés à l'exutoire de Lorcé et capturés à Méry. Les limites du rectangle représentent les quantiles 25 et 75, la ligne noire représente le quantile 50, les limites des lignes en pointillés représentent les quantiles 5 et 95 et les ronds représentent les valeurs extrêmes

VII.3.5. Résultats de l'anguille

Sur les 30 anguilles relâchées en amont du barrage de Lorcé le 5 décembre 2012 au niveau de l'embouchure avec la Lienne, seule une anguille a été détectée au niveau de l'entrée de l'exutoire. Les jours suivants le déversement une crue a débuté engendrant l'abaissement des vannes mobiles du barrage de Lorcé le 10 et 11 décembre 2012 puis à partir du 15 décembre 2012 (pendant plusieurs semaines) et donc l'inefficacité de l'exutoire. L'anguille a été détecté le 8 décembre 2012 à 5h01, 3 jours après son déversement. Cette unique détection démontre tout de même la capacité d'une anguille à utiliser l'exutoire de dévalaison du barrage de Lorcé.

VII.4.Discussion

Position de l'antenne d'auto-détection de marques RFID

Le premier test d'efficacité du système de détection a démontré que 50 % des poissons empruntant l'exutoire de dévalaison du barrage de Lorcé n'étaient pas détectés par l'antenne installée à la sortie de l'exutoire. Nous avons eu la confirmation par le constructeur que le tuyau de sortie de l'exutoire métallique perturbe le champ magnétique de l'antenne et entraîne une diminution du taux de détection. L'installation de l'antenne de détection à l'entrée de l'exutoire a permis de résoudre ce premier problème en atteignant un taux de détection de 100%. Par contre, cette configuration expérimentale ne nous permet pas d'affirmer avec certitude qu'un poisson détecté a effectivement emprunté l'exutoire. Un autre test nous a permis de vérifier ce rapport entre détection et passage par l'exutoire via la recapture en aval où nous avons obtenu un taux de 67% de recapture des smolts détectés. Ce pourcentage reste toutefois indicatif étant donné que ce test n'a été réalisé qu'une fois sur 50 individus et qu'une cavité présente à la fin de l'exutoire retarde certains smolts à l'intérieur. L'efficacité réelle de l'exutoire (en termes d'utilisation réelle) sera étudiée lors du prochain projet FEP qui impliquera la construction d'un piège à la dévalaison et probablement une augmentation du débit de fonctionnement.

Observation du comportement des smolts face à l'entrée de l'exutoire

Lors de visites nocturnes au barrage de Lorcé (en 2012 et en 2013), des « groupes » de smolts ont été observés et filmés juste en amont de l'entrée de l'exutoire (vidéos en annexe). Le comportement mis en évidence lors de ces visites est un comportement d'hésitation. En effet, les smolts ont réalisé une succession d'approche à l'entrée de l'exutoire avec la tête vers l'amont et en nageant à contre-courant. Certains smolts ont pénétré dans l'exutoire pour en ressortir aussitôt. Ce comportement d'hésitation a pu être mis en évidence avec les données de détection car certains ont montré un nombre important de détections à l'entrée de l'exutoire (entre plusieurs dizaines voire plusieurs centaines de fois). D'après les données de détection le temps d'hésitation à l'entrée de l'exutoire a pu être déterminé. Pour les deux années de suivis, les smolts ont été détectés en majorité (+de 50%) moins de 5 minutes à l'entrée de l'exutoire et plus

de 80% des smolts, ont été détectés moins de 24h. Cependant, certains smolts se sont montrés plus hésitants (de 2 à plus de 5 jours) entraînant un retard important dans leur migration vers l'aval. Le fait que le débit de fonctionnement de l'exutoire soit trois fois inférieur au débit préconisé et que les vitesses à l'entrée de l'exutoire permettent aux smolts de résister au courant, est un problème qu'il faudra impérativement solutionner lors des travaux du placement du piège de capture.

Evolution du taux de détection en fonction des conditions expérimentales à l'entrée de l'exutoire

Lors des suivis en 2012 et 2013 par la technologie RFID, plusieurs configurations de l'entrée de l'exutoire ont été testées. Il s'est avéré que nous avons obtenu le nombre le plus faible de détection (1 seul smolt) lorsque l'exutoire était muni d'une grille afin d'empêcher d'éventuels débris d'y pénétrer (début 2012). Cette grille engendrait un colmatage de l'entrée rendant l'entrée de l'exutoire complètement inaccessible et diminuait fortement son attractivité. Suite à cette observation, la grille a été retirée (début avril 2012) et une première augmentation (légère) du nombre de smolts détectés pour la première fois est observée. Juste avant (deux jours) le troisième déversement en 2012, une lampe au mercure a été placée à l'entrée de l'exutoire afin d'augmenter l'attrait qui a été confirmé par l'augmentation du nombre de smolts détectés pour la première fois. En 2013, afin d'éviter un éventuel colmatage, une drome flottante a été installée (en phase de test) juste en amont de l'exutoire. Aucune diminution du nombre de smolts détectés n'a été observée. Au contraire, la configuration de l'entrée de l'exutoire présentant le plus grand nombre de smolts détectés était la combinaison de la lampe au mercure et de la drome. Dans le but d'augmenter encore plus l'attractivité de l'exutoire, la lampe au mercure devrait probablement être installée à l'intérieur de l'exutoire et non juste au-dessus.

Evolution du taux de détection en fonction du lieu de déversement

Le taux de détection moyen pour chaque lieu de déversement est de 34%, 31% et 31% pour respectivement les smolts déversés en amont de la cascade de Coo, en aval de la cascade de Coo et à 1km en amont du barrage de Lorcé. Ces taux indiquent que :

- Il n'existe pas de différence significative du taux moyen de détection entre les smolts déversés en amont de la cascade de Coo, en aval de la cascade de Coo et juste à proximité (1km en amont) de l'exutoire de dévalaison.
- Ces résultats devront être affinés dans le futur, notamment par l'observation visuelle des poissons grâce au piège de dévalaison qui nous permettra de déterminer si les poissons relâchés en amont de la cascade ont un taux de blessures ou de traumatismes plus important que les poissons relâchés en aval.

Evaluation des timings de migration de dévalaison

L'utilisation d'une antenne d'auto-détection, nous a permis d'observer les périodes d'activités à l'échelle nycthémérale. Nos résultats montrent une activité majoritairement (plus de 80%) nocturne (entre 21h et 5h). De nombreux auteurs ont également constaté que la dévalaison des smolts s'opère principalement la nuit lors de leurs études en laboratoire (Martin et *al.*, 2012) ou en milieu naturel (Aarestrup et *al.*, 1999 ; Carlsen et *al.*, 2004 ; Davidsen et *al.*, 2009). Si on regarde l'heure de la première détection, on observe un pic entre 19h et 24h ce qui implique un début de migration au crépuscule également observé lors du radio-pistage des smolts (cf. chapitre VI et Ovidio et *al.*, 2009).

En 2012, la première détection du premier individu déversé le 9 mars 2012 ($T^{\circ}=6,7^{\circ}\text{C}$) s'est produite le 27 mars 2012 lorsque la température de l'eau a dépassé le seuil des 10°C . Pour de nombreux auteurs, le seuil de la température qui déclenche la migration de dévalaison des smolts serait 10°C (Jutila et *al.*, 2005 ; Davidsen et *al.*, 2009 ; Dempson et *al.*, 2010 ; Kennedy et *al.*, 2010 ; Martin et *al.*, 2012, Phlippart et *al.*, 2013) et la température optimale se trouverait entre 8 et 12°C (Aarestrup et *al.*, 1999, 2002 ; Plantalech et *al.*, 2009 ; Martin et *al.*, 2012).

Suite au faible taux de détection lors du premier déversement en 2012, le premier déversement en 2013 a été effectué plus tard dans la saison. Le pic de détection pour chaque déversement s'est produit le jour du déversement et a été suivi 2 à 3 jours plus tard d'un second pic de détection plus faible. Le nombre plus important de smolts détectés le jour du déversement, indique que les facteurs environnementaux étaient propices au déclenchement de la dévalaison des smolts avec une température supérieure à 8°C (T° comprise entre 9 et 14°C durant toute la

durée de l'étude en 2013) et une photopériode identique au pic de 2012 (22 avril 2012 et premier déversement le 20 avril 2013).

La détermination des rythmes d'activité à l'échelle saisonnière et nyctémérale (avec une précision de mesure à la seconde près) s'avérera très utile lorsqu'il sera nécessaire de prendre des décisions plus affirmatives pour la gestion des turbinages lors de la période de dévalaison des smolts de saumon atlantique.

Utilisation d'autres voies d'accès que l'exutoire au niveau du barrage de Lorcé

Nos résultats indiquent que certains smolts ont emprunté des voies de passage différentes de l'exutoire de Lorcé avant d'atteindre le site de Méry (piège de dévalaison situé sur la basse Ourthe). Ces voies alternatives sont les turbines de Heid de Goreux, la micro-turbine du barrage de Lorcé (turbine l'eau du débit réservé) ou encore les vannes mobiles du barrage de Lorcé. Pour les vannes mobiles, on peut vraisemblablement exclure cette voie de passage lors de nos suivis car en 2013 elles n'ont pas été abaissées durant la durée de l'expérience et en 2012 elles l'ont été quelques minutes à peine. Les voies de passages sont donc les turbines. Avec un taux de mortalité théorique de 31% et 23% respectivement pour les turbines de Heid de Goreux et la micro-turbine du barrage de Lorcé. Nos observations confirment que la mortalité n'est pas totale et que certains smolts qui sont passés par les turbines arrivent vivants à Méry. Etant donné qu'il est impossible de déterminer avec certitude le nombre réel de passage de smolts pour chaque voie de passage potentielle, nous ne nous avancerons pas plus à ce stade dans des interprétations plus poussées. Cette étude préliminaire, pourra être affinée grâce à l'installation d'un piège de capture à la sortie de l'exutoire. Une autre possibilité pour affiner ces résultats serait d'installer des antennes de détection RFID à la sortie des turbines de Heid de Goreux et de Lorcé afin de vérifier le taux réel de passage par les turbines.

Les recaptures à Méry nous renseignent également sur les vitesses de migration des smolts au départ de leur lieu de déversement. En 2012, les smolts capturés à Méry ont mis en moyenne 19 jours (de 5 à 55 jours) après leur déversement alors qu'en 2013, ils ont mis en moyenne 10 jours (de 2 à 25 jours). Ce laps de temps nécessaire pour parcourir le trajet entre les deux sites est assez important compte tenu de la faible distance à parcourir (à 41 km du barrage de Lorcé) et

fait resurgir le problème du barrage de Raborive sur la basse Amblève qui est probablement en cause. Il est primordial de solutionner ce problème dans les prochaines années pour permettre aux saumons de l'Amblève de dévaler vers l'Ourthe puis la Meuse lorsque le processus de smoltification est toujours actif.

Influence de la taille des smolts sur leur capacité à migrer

Lors du marquage des smolts pour les deux années de suivi, chaque smolt a été mesuré au préalable. L'analyse de la taille des smolts détectés à l'entrée de l'exutoire du barrage de Lorcé indique que la taille moyenne des smolts détectés n'est pas significativement plus grande ou plus petite que la taille moyenne de tous les smolts marqués. Notons que la variabilité des tailles déversées est faible (4 cm entre les plus petits et les plus grands) et que cela ne doit pas être généralisé à des classes de tailles autres que celles qui ont été testées dans la présente étude.

L'analyse de l'influence de la taille des smolts sur leur capacité à migrer a pu être effectuée avec les smolts recapturé à Méry (piège de dévalaison situé sur l'Ourthe). Cette analyse montre qu'en 2012, la taille moyenne des smolts capturés à Méry est significativement plus grande que la taille moyenne de la totalité des smolts déversés en 2012. Il est possible que les individus de plus grande taille au début du printemps (donc plus gros) possèdent des réserves énergétiques plus importantes augmentant leur capacité à migrer vers l'aval. La différence de la taille moyenne entre la totalité des smolts déversés en 2012 et ceux recapturés à Méry en 2012 (3mm) ne justifie pas un impact important des turbines sur leur capacité à migrer (différence du taux de mortalité théorique de 1 à 2% en fonction du type de turbine). Cependant, en 2013, bien que la taille moyenne des smolts recapturés à Méry soit de nouveau plus grande que la taille moyenne de la totalité des smolts déversés en 2013, aucune différence significative n'a été constatée. Il serait donc intéressant de continuer ces suivis de smolts présentant une variabilité de taille plus importantes par la technologie RFID afin d'établir avec plus de précision l'influence réelle de la taille d'un smolt lors de son déversement, sur sa capacité à migrer vers l'aval.

Taux d'efficacité de l'exutoire de dévalaison du barrage de Lorcé

Les données enregistrées grâce à l'antenne de détection ont mis en évidence que 32% des smolts déversés ont été détectés par l'antenne RFID. Ce taux a été calculé en fonction du nombre total de smolts déversés en amont du barrage (n=900) et le nombre total de smolts détectés par l'antenne (n=288). Ces résultats sont semblables à ceux issus d'une étude sur l'efficacité d'un exutoire de dévalaison lors de suivis de smolts de saumon atlantique au niveau de la centrale hydroélectrique de Camon sur la Garonne en France (Croze et al., 1999). Dans cette étude, une efficacité moyenne de 34% a été estimée par la technique de marquage-recapture via un piège de recapture. Ils ont expliqué cette efficacité relative par le débit prélevé dans l'exutoire qui était situé entre 2 et 4% du débit turbiné. Dans le cadre de notre expérience, le pourcentage de détection ne doit pas être associé au même pourcentage d'efficacité. En effet, nous ne pouvons affirmer qu'un smolt détecté à l'entrée de l'exutoire de dévalaison, a réellement emprunté cet exutoire. Cependant grâce à l'expérience avec le filet en mai 2012, notre estimation entre taux de détection et taux de passage serait de l'ordre de 67%, ce qui nous donnerait pour Lorcé un taux d'utilisation de l'exutoire de l'ordre de 23% (67% de 32% de détection). Cependant, lors des modifications physiques de l'entrée de l'exutoire, le meilleur taux de détection observé pour un même déversement était de 59% lorsque l'exutoire était équipé de la lampe et de la drome. On obtient alors un taux d'efficacité de l'ordre de 40% (67% de 59% de détection), supérieur de 17% au taux moyen. L'installation d'un piège de capture dans le cadre d'un second projet FEP permettra de mesurer sans biais méthodologique, l'efficacité réelle de l'exutoire.

Lors de cet aménagement, il serait également judicieux d'améliorer le débit à l'entrée de l'exutoire en modifiant sa structure et ainsi augmenter le rapport entre le débit de l'exutoire et celui turbiné. En effet, le débit à l'entrée de l'exutoire, mesuré à l'aide d'un courantomètre serait de 194l/s, donc loin des 600l/s préconisés.

VIII. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aarestrup, K., Je Psen, N., & Rasmussen, G. (1999).** Movements of two strains of radio tagged Atlantic salmon, *Salmo salar* L., smolts through a reservoir. *Fisheries Management and Ecology*, 6, 97-107.
- 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.
- Assani, A.A. et F. Petit (2003)** Impact of hydroelectric power releases on the morphology and sedimentology of the bed of the Warche River (Belgium). *Earth Surf. Process. Landforms*, 29, 133- 143.
- Baras E. (1992)** A study of time and space utilisation strategies in the common barbel *Barbus barbus*(L.). *Cahiers d'éthologie*, 12 (2-3), 125-442.
- Baras E., Philippart J.C. & Nindaba J. (1996)** Importance of gravel bars as spawning grounds and nurseries for European running water cyprinids, pp. 367-378. In: Leclerc, M et al. (eds), Proceeding of the second IAHR Symposium on Habitat Hydraulics, Ecohydraulics 200, Québec (Canada, published by INRS-Eau, Vol. A., 893 pages.
- Berger, B. (2009)** Stimuli for spawning migration of *Chondrostoma nasus* in a Danubian tributary (Fischa) using Horizontal Hydroacoustic. Thèse de Master, Université de Vienne, Autriche.
- Bless, R. (1996)** Reproduction and habitat preference of the threatened spirin (*Alburnoides bipunctatus*) and soufie (*Leuciscus souffia*) under laboratory condition. In: Kirchhofer, A. & Hefti, D. (Ed.): Conservation of Endangered Freshwater Fish in Europe. 249-258.
- Blondel, J. (1979)** *Biogéographie et écologie*. Rotterdam : Masson.
- Carlsen, K.T., Berg, O.K., Finstad, B., & Heggberget, T.G. (2004).** Diel periodicity and environmental influence on the smolt migration of Arctic charr, *Salvelinus alpinus*, Atlantic salmon, *Salmo salar*, and brown trout, *Salmo trutta*, in northern Norway. *Environmental Biology of Fishes*, 70, 403–413.
- Cook, T.C., G.E. Hecker, H.B. Faulkner, and W. Jansen. (1997).** Development of a more fish tolerant turbine runner – Advanced hydropower turbine project”, prepared for DOE (Idaho Operations Office), contract No. DE-AC07-95ID13383.
- 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. *Bull. Fr. Pêche Piscic*, 353/354, 121-140.
- Davidsen, J., Rikardsen, A., Halttunen, E., Thorstad, E.B., Okland, F., Letcher, B. H., Skaråhamar, J., & Naesje, T.F. (2009).** Migratory behaviour and survival rates of wild northern Atlantic salmon *Salmo salar* post-smolts: effects of environmental factors. *Journal of Fish Biology*, 75, 1700–1718.
- Dempson JB, Braithwaite VA, Doherty D et al. (2010)** Stable isotope analysis of marine feeding signatures of Atlantic salmon in the North Atlantic. *ICES J Mar Sci* 67:52–61.

- 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, 18 pages.
- Descy, J. P., A. Empain et J. Lambinon (1982)** Un inventaire de la qualité des eaux du bassin wallon de la Meuse (1976-1980). *Tribune du Cebedeau* , N° 463-464: 267-278.
- Etessami, S. (1982)** L'histologie des gonades chez deux cyprinidés *Alburnoides bipunctatus eichwaldi* (Filippi 1863) et *Barbus mursa miliaris* (Karman 1971) avec la description d'un cas d'hermaphrodisme chez ce dernier. *Cybiurn* (3E Ser.) 6, no. 2, 5-13.
- 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.
- Jepsen, N., Koed, A., Thorstad, E. B. & Baras, E. (2002)** Surgical implantation of telemetry transmitters in fish: how much have we learned? *Hydrobiologia*, 483, 239-248.
- Jutila, E., Jokikokko, E., & Julkunen, M. (2005)**.The smolt run and postsmolt survival of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in relation to early summer water temperatures in the northern Baltic Sea. *Ecology of Freshwater Fish*, 14, 69-78.
- Kennedy, J.R., & Crozier, W.W. (2010)**. Evidence of changing migratory patterns of wild Atlantic salmon *Salmo salar* smolts in the River Bush, Northern Ireland, and possible associations with climate change. *Journal of Fish Biology*, 76, 1786-1805.
- Larinier, M. & Dartiguelongue, J. (1989)**. La circulation des poissons migrateurs : le transit à travers les turbines hydroélectriques. Bulletin Français de Pêche et de Pisciculture 312-313 : numéro spécial.
- Larinier, M. & Travade, F.(1999)**. Downstream migration: Problems and facilities.Bull. Fr. Pêche Pisc.353-354: 181-210.
- Lucas, M. C. and Baras, E. (2001)** Migration of Freshwater Fishes. Blackwell Science Ltd, Oxford.
- Ovidio M., 1999**. Tactiques et stratégies individuelles d'utilisation spatio-temporelle de l'habitat et des ressources alimentaires chez la truite commune (*Salmo trutta* L.) : étude par radio-pistage dans l'Aisne et l'Ourthe. Thèse de doctorat en Sciences, Université de Liège, 196pp.
- Ovidio M., Philippart J.C.,2002**. The impact of small physical obstacles on upstream movements of six species of fish: Synthesis of a 5-year telemetry study in the River Meuse basin, *Hydrobiologia*, No 483, (2002), pp 55-69.
- Ovidio M., Parkinson D., Sonny D., & Philippart J.C., 2004**. Spawning movements of the European grayling *Thymallus thymallus* in the River Aisne. *Folia Zoologica* 53:87-98.
- Ovidio, M., Neus, Y., Rimbaud, G., Otte, D., Dewespin, A., Courtois, J. & Philippart, J.C. (2007)** Caractérisation des patrons de mobilité de salmonidés et de cyprins rhéophiles dans la zone d'influence de la centrale hydroélectrique 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), 83 pages.

- Ovidio, M., Capra, H., Neus, Y., Rimbaud, G., Roger, P. & Philippart, J.C. (2007)(a)** Elaboration d'une méthodologie d'évaluation de la franchissabilité par les poissons de différents types d'obstacles d'après des critères topographiques et hydrauliques simples. 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), 127 pages.
- Ovidio M., Parkinson D., Philippart J. C. and Baras E. (2007)(b)** Multiyear homing and Fidelity to residence areas by individual barbel (*Barbus barbus*), *Belgian Journal of Zoology*, No 137, (2007), pp 183-190.
- Ovidio, M., Neus, Y., Rimbaud, G., Francois, A. & Philippart, J.C. (2007)(c)** Suivi scientifique de l'efficacité des nouvelles échelles à poissons sur la Berwinne aux barrages de Berneau et de Mortroux. Bilan global des études et perspectives. Rapport final au Ministère de la Région Wallonne, DGRNE-Division de l'Eau, Direction des Cours d'eau non navigables. Université de Liège, Laboratoire de Démographie des Poissons et d'Hydroécologie, 160 pages (avril 2007).
- Ovidio, M., Capra, H. & Philippart, J.C. (2007)(d)** Field protocol for assessing small obstacles to migration of brown trout *Salmo trutta*, and European grayling *Thymallus thymallus*: a contribution to the management of free movement in rivers. *Fisheries Management and Ecology* 14, 41-50.
- 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*, No 24, (2008), pp 256-262.
- Ovidio, M. et J.C. Philippart, (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 (novembre 2009).
- Ovidio M., Dierckx A., Brédart D., Rimbaud G. et Philippart J.C. (2011)** Appui scientifique et technique à la mise en place d'actions visant à la libre circulation des poissons dans les cours d'eau non navigables de Wallonie. Rapport d'études au SPW-DGARNE, Direction des Cours d'eau Non Navigables, Université de Liège (UBC-LDPH), 39 pages (janvier 2011).
- Malavoi, J. R. & Souchon, Y. (2002)** Standardized description of streams and rivers channel geomorphic units: Qualitative description key and physical measurements. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 357-372.
- 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*, vol 64 (2) : 77-103.
- Martin, P., Rancon, J., Segura, G., Laffont, J., Boeuf, G., & Dufour, S. (2012)**. Experimental study of the influence of photoperiod and temperature on the swimming behaviour of hatchery-reared Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts. *Aquaculture*, doi:10.1016.
- Mouvet, C. (1980)** Pollution de l'Amblève par les métaux lourds, en particulier le chrome: dosage dans les eaux et les bryophytes aquatiques. *Tribune du CEBEDEAU* , 445 (33): 527-538.

- Petit, F., M. Piroton, J.C. Philippart & A. Lejeune (1999)** Planning of the river Ourthe in Wallonia, Belgium - La ordenacion del rio Ourthe en Valonia, Belgica - L'aménagement de l'Ourthe en Wallonie, Belgique, pp. 401-513. In : de Urena J. M. (scientific ed.). River design and environmental protection in Europe - Ordenacion y proteccion ambiental de rios en Europa - Aménagement et protection environnementale des rivières en Europe. Universidad de 70 Cantabria (Espagne), 788 pages - Projet cofinancé par le programme Socrates-Erasmus de la Commission européenne.
- Philippart, J.C. & Vranken, M. (1983)** Atlas des poissons de Wallonie. Distribution, écologie, éthologie, pêche, conservation. Cahier d'Ethol. appliquée, 3 (suppl.1-2): 395 pages.
- Philippart, J.C., 2006.** Eléments de suivi scientifique de la restauration écologique et piscicole de l'Amblève en 2004-2005. Rapport d'études à la Commission provinciale de Liège du Fonds piscicole. Laboratoire de Démographie des poissons et d'Hydroécologie de l'Université de Liège, 45 pages + annexes (janvier 2006).
- Philippart, J.C. & Ovidio, M., (2007)** Identification des priorités d'action d'après les critères biologiques et piscicoles. 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), 71pages.
- Philippart, J.C., M. Ovidio, G. Rimbaud, A. Dierckx et P. Poncin, (2010)** Essai d'estimation des dommages piscicoles engendrés par les prises d'eau industrielles et les turbines hydroélectriques dans les cours d'eau de la Province de Liège. Partie B. L'Ourthe liégeoise et l'Amblève en aval de la Liègne. Rapport pour l'année 2010 à la Commission provinciale de Liège du Fonds piscicole du Service Public de Wallonie, 78 pages (décembre 2010)
- Philippart, J.C., et al. (B. Bernard, A. Dierckx, A. Evrard, P. Kestemont, R. Mandiki, M. Ovidio, P. Poncin, G. Rimbaud, (2013).** Rapport final annuel 2012 au Service Public de Wallonie (DGARNE/DNF-SP) de la Subvention 2012-2013 relative au suivi scientifique de la réhabilitation du saumon atlantique dans le bassin de la Meuse. Université de Liège et Université de Namur, 177 pages (avril 2013).
- Plantalech Manel-La, N., Thorstad, E.B., Davidsen, J.G., Okland, F., Sivertsga, R., McKinley, R.S., & Instad, B.F. (2009).** Vertical movements of Atlantic salmon postsmolts relative to measures of salinity and water temperature during the first phase of the marine migration. *Fisheries Management and Ecology*, 16, 147-154.
- Rakowitz, G., Berger, B., Kubecka, J. & Keckeis, H. (2008)** Functional role of environmental stimuli for the spawning migration in Danube nase *Chondrostoma nasus* (L.). *Ecology of Freshwater Fish*, 17, 502-514.
- Rives, J. (2007).** Etude du déplacement de jeunes truites. Evaluation d'un prototype d'enregistrement automatique autonome à deux antennes, pour la détection de transpondeurs implantés dans leur abdomen. Cahier des Techniques de l'INRA Bulletin de Liaison Interne, 60, 11-1.
- Rivinoja P., McKinnell, S. and Lundqvist, H. (2006)** Migration success and migration time of gastrically radio-tagged v. PIT-tagged adult Atlantic salmon, *Journal of Fish Biology*, 69:304-311.
- Silva, A.T., Santos, J.M., Ferraira, M.T., Pinheiro, A.N., Katopodis, C. (2010)** Effect of water velocity and turbulence on the behaviour of Iberian barbel (*Luciobarbus bocagei*, Steindachner 1864) in an experimental pool-type fishway. *River Research and Application*.

- Thorstad, E. B., Okland, F., Finstad, B., Sivertsgard, R., Bjørn, P. A. & McKinley, R. S. (2004).** Migration speeds and orientation of Atlantic salmon and sea trout post-smolts in a Norwegian fjord system. *Environmental Biology of Fishes* 71, 305–311.
- van Ginneken, V., Dufour, S., Sbaihi, M., Balm, P., Noorlander, K., de Bakker, M., Doornbos, J., Palstra, A., Antonissen, E., Mayer, I., & van den Thillart, G. (2007).** Does a 5500-km swim trial simulate early sexual maturation in the European eel (*Anguilla Anguilla* L.)? *Comparative Biochemical Physiology, Part A*, 147, 1095-1103.
- Winter, J. D., (1983)** Underwater biotelemetry. In: *Fisheries techniques*. L. A. Nielsen and D. L. Johnson (Eds). American Fisheries Society, Bethesda, MD, pp. 371–395.
-