

# Evaluation de l'efficacité du franchissement piscicole de l'ouvrage du seuil Métral (Borne) Rapport final



BEAUFILS M.  
Mai 2020

Rapport FDP74.20/09

Etude financée par :



# Table des matières

<b>1. INTRODUCTION ET CONTEXTE DE L'ETUDE.....</b>	<b>2</b>
<b>2. OBJECTIFS .....</b>	<b>4</b>
<b>3. MATERIEL ET METHODES .....</b>	<b>5</b>
1.1 PRINCIPE DE LA TECHNOLOGIE RFID MISE EN ŒUVRE POUR LE SUIVI .....	5
1.2 DESCRIPTION DU DISPOSITIF TELEMETRIQUE MIS EN PLACE SUR L'OUVRAGE .....	6
2 CAPTURE ET MARQUAGE DES POISSONS .....	8
2.1 <i>Bancarisation des données télémétriques issues du dispositif fixe .....</i>	<i>11</i>
2.2 MESURES DES PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX .....	11
2.2.1 <i>Le débit.....</i>	<i>12</i>
2.2.2 <i>La température.....</i>	<i>12</i>
2.3 ACQUISITION D'AUTRES DONNEES PISCICOLES DANS LES PECHEES D'INVENTAIRES .....	14
2.4 ANALYSE DES DONNEES ET TESTS STATISTIQUES.....	15
<b>4. RESULTATS DISCUTES.....</b>	<b>16</b>
2.5 FONCTIONNEMENT DU DISPOSITIF DE DETECTION .....	16
2.5.1 <i>Alimentation et réglage des antennes .....</i>	<i>16</i>
2.5.2 <i>Définition des débits limitants pour le fonctionnement du dispositif de détection .....</i>	<i>19</i>
2.6 CAPTURES ET MARQUAGE DES POISSONS .....	22
2.6.1 <i>Bilan des marquages réalisés entre 2016 et 2018.....</i>	<i>22</i>
2.6.2 <i>Caractérisation de l'échantillon marqué pour le suivi du seuil Métral .....</i>	<i>25</i>
2.7 DETECTIONS AU DISPOSITIF FIXE ET FRANCHISSEMENT DE L'OUVRAGE DU SEUIL METRAL .....	27
2.7.1 <i>Effectifs, origines et caractéristiques des poissons détectés au niveau du dispositif .....</i>	<i>27</i>
2.7.2 <i>Définition des groupes d'individus en fonction de leur comportement de déplacement et de leur évolution dans l'ouvrage .....</i>	<i>31</i>
2.7.3 Franchissements des individus détectés aux antennes.....	33
2.7.3.1 Période de déplacements et de franchissement des espèces .....	35
2.7.3.2 Temps de passage dans l'ouvrage mis en relation avec les variables abiotiques.....	36
2.8 AUTRES DONNEES SUR LES DEPLACEMENTS D'INDIVIDUS .....	41
2.8.1 <i>Recaptures par la pêche (amateur ou scientifique).....</i>	<i>41</i>
2.8.2 <i>Données historiques des inventaires piscicoles entre l'aval et l'amont de l'ouvrage.....</i>	<i>42</i>
<b>5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....</b>	<b>44</b>
<b>6. BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>47</b>
<b>7. ANNEXES.....</b>	<b>50</b>

# Table des figures

FIGURE 1 : LOCALISATION DU SITE D'ETUDE ET DES AUTRES SUIVIS D'OUVRAGE MIS EN ŒUVRE SUR LE BASSIN VERSANT DE L'ARVE .....	2
FIGURE 2 : OUVRAGE DU SEUIL METRAL AVANT ET APRES AMENAGEMENT .....	3
FIGURE 3 : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES ANTENNES PIT-TAG .....	5
FIGURE 4 : (A) SCHEMA DE LA DISPOSITION DES ANTENNES ET LEUR DENOMINATION, (B) SENS DE FRANCHISSEMENT DES POISSONS, (C) DISPOSITION DE L'ANTENNE (A4) AMONT RAMPE, (D) DISPOSITION DE L'ANTENNE AMONT RIVE GAUCHE A6 (EN L'ABSENCE DE GROS BLOCS, L'ANTENNE A ETE FIXEE SUR DES BORDURES BETONS, ELLES-MEMES MAINTENUES AU FOND DU LIT PAR DES FERS A BETON), (E) BOITIER EDF POUR RACCORDEMENT ELECTRIQUE DE L'INSTALLATION ET (F) CABLE AERIEN D'ALIMENTATION ELECTRIQUE DES ANTENNES RIVE DROITE .....	7
FIGURE 5 : MARQUAGE INTERNE D'UNE TRUITE AVEC UN PIT-TAG DE 23 MM ; (A) INCISION EN POSITION VENTRALE ET CENTRALE REALISEE AU BISTOURI JUSTE EN DESSOUS DE LA CEINTURE PECTORALE ; (B) INSERTION DU PIT-TAG DANS LA CAVITE GENERALE DU POISSON. ....	10
FIGURE 6 : FORMAT DES DONNEES GENEREES PAR UN LECTEUR-ENREGISTREUR OREGON RFID .....	11
FIGURE 7 : GRAPHIQUE DES DEBITS JOURNALIERS ENTRE 2016 ET 2019 SUR LE BORNE A SAINT-JEAN-DE-SIXT .....	12
FIGURE 8 : TEMPERATURES MOYENNES JOURNALIERES DES 2 STATIONS DE SUIVI DE LA TEMPERATURE .....	13
FIGURE 9 : CARTE DE LOCALISATION DE L'AIRE DE REPARTITION (SUR LES LINEAIRES PROSPECTES) DES BARBEAUX FLUVIATIILES ET CHEVESNES. LES POINTS CORRESPONDENT A DES INDIVIDUS DE CES 2 ESPECES QUI ONT ETE MARQUES DANS LE CADRE DU PROGRAMME INTERREG IV ESPACE (CHASSERIEAU ET AL., 2015) ET DES SUIVIS RFID ACTUELS .....	14
FIGURE 10 : GRAPHIQUE DU NOMBRE DE DETECTIONS PAR JOUR DES TAGS TEMOINS PERMETTANT DE VERIFIER LE BON FONCTIONNEMENT DE CHAQUE ANTENNE .....	16
FIGURE 11 : GRAPHIQUE DU NOMBRE DE POISSONS DETECTES PAR JOUR SUR L'ANTENNE A1 MIS EN RELATION AVEC LE FONCTIONNEMENT DE L'ANTENNE VIA LE NOMBRE DE DETECTIONS DU MARKER TAG .....	17
FIGURE 12 : GRAPHIQUE DU NOMBRE DE POISSONS DETECTES PAR JOUR SUR L'ANTENNE A2 MIS EN RELATION AVEC LE FONCTIONNEMENT DE L'ANTENNE VIA LE NOMBRE DE DETECTIONS DU MARKER TAG .....	18
FIGURE 13 : GRAPHIQUE DU NOMBRE DE POISSONS DETECTES PAR JOUR SUR L'ANTENNE A3 MIS EN RELATION AVEC LE FONCTIONNEMENT DE L'ANTENNE VIA LE NOMBRE DE DETECTIONS DU MARKER TAG .....	18
FIGURE 14 : GRAPHIQUE DU NOMBRE DE POISSONS DETECTES PAR JOUR SUR L'ANTENNE A4 MIS EN RELATION AVEC LE FONCTIONNEMENT DE L'ANTENNE VIA LE NOMBRE DE DETECTIONS DU MARKER TAG .....	19
FIGURE 15 : DEBIT JOURNALIER DU BORNE ENREGISTRE A LA STATION LIMNIMETRIQUE DE LA DREAL A SAINT-JEAN-DE-SIXT DE JANVIER 2017 A AVRIL 2019 AVEC LES JOURS DES TESTS DE DETECTION (POINTS) SUR L'ENSEMBLE DES ANNEES 2017 ET 2018 .....	20
FIGURE 16 : COURBE DES DEBITS INSTANTANES CLASSES DURANT LA PERIODE DU SUIVI ET IDENTIFICATION DES VALEURS DE DEBIT DU TABLEAU 5 RELIEES AU POURCENTAGE DE TEMPS OU CES DERNIERES SONT SUPERIEURES OU EGALES .....	21
FIGURE 17 : LOCALISATION DES SECTEURS DE COURS D'EAU PROSPECTES ENTRE 2016 ET 2018 POUR EFFECTUER LES MARQUAGES RFID POUR LES SUIVIS D'OUVRAGES SUR LE BASSIN VERSANT DE L'ARVE .....	23
FIGURE 18 : EFFECTIFS DE POISSONS MARQUES PAR ESPECE REPARTIS PAR COURS D'EAU ET PAR ANNEE AVEC LE TOTAL CHIFFRE PAR COURS D'EAU A DROITE TOUTES ESPECES ET ANNEES CONFONDUES .....	23
FIGURE 19 : POURCENTAGES INTERANNUELS QUE REPRESENTE CHAQUE ESPECE EN FONCTION DU NOMBRE D'INDIVIDUS MARQUES POUR L'UNE PAR RAPPORT A L'EFFECTIF TOTAL GLOBAL (DE 2016 A 2018) .....	24
FIGURE 20 : POURCENTAGES INTERANNUELS QUE REPRESENTE CHAQUE ESPECE EN FONCTION DU NOMBRE D'INDIVIDUS MARQUES POUR L'UNE PAR RAPPORT A L'EFFECTIF TOTAL GLOBAL (DE 2016 A 2018) .....	24
FIGURE 21 : A GAUCHE, REPARTITION DU NOMBRE D'INDIVIDUS MARQUES (ENTRE 2016 ET 2018) DANS LE CADRE DES SUIVIS RFID DU BASSIN VERSANT DE L'ARVE REPARTIS PAR COURS D'EAU, PAR TAILLE DE TRANSPONDEUR AINSI QUE PAR ESPECE ET A DROITE, LA PART D'INDIVIDUS MARQUES PAR TAILLE DE TRANSPONDEUR, TOUTES ESPECES CONFONDUES PAR COURS D'EAU. ....	25
FIGURE 22 : STRUCTURE DE L'ECHANTILLON DE TRUITE FARIO MARQUE .....	26
FIGURE 23 : STRUCTURE DE L'ECHANTILLON DE BARBEAU FLUVIATILE, CHABOT, CHEVESNE ET OMBRE COMMUN MARQUE .....	27
FIGURE 24 : CARTE DE LOCALISATION DU LIEU DE MARQUAGE DES POISSONS DETECTES SUR LE DISPOSITIF RFID DU SEUIL METRAL ..	29
FIGURE 25 : HISTOGRAMMES DE TAILLE DES INDIVIDUS DETECTES AU NIVEAU DU DISPOSITIF RFID DU SEUIL METRAL ET PART D'INDIVIDUS GENITEURS ET DE JUVENILES DE TRUITES FARIO. ....	31

FIGURE 26 : DEFINITION DES DIFFERENTS GROUPES D'INDIVIDUS EN FONCTION DE LEURS COMPORTEMENTS ET DE LEURS DETECTIONS AUX ANTENNES DU DISPOSITIF DU SEUIL METRAL .....	32
FIGURE 27 : (A) NOMBRE DE FRANCHISSEMENTS DE L'OUVRAGE DU SEUIL METRAL EFFECTUES PAR ESPECE ET (B) NOMBRE DE FRANCHISSEMENTS EN FONCTION DU LIEU DE PASSAGE DANS LE DISPOSITIF DE FRANCHISSEMENT .....	34
FIGURE 28 : AGE DES INDIVIDUS A LA DATE DE LEUR FRANCHISSEMENT .....	34
FIGURE 29 : (A) GRAPHIQUE DE LA SAISONNALITE DES FRANCHISSEMENTS SUR UNE ANNEE, EN FONCTION DU STADE DE MATURITE DES INDIVIDUS DE TRUITES FARIO ET DU SENS DE FRANCHISSEMENT (MONTAISON OU DEVALAISON) ET (B) FOCUS SUR LES PERIODES DE MONTAISON DES INDIVIDUS DE TRUITES FARIO JUVENILES-IMMATURES ET GENITEURS .....	36
FIGURE 30 : GRAPHIQUES RELIANT DES TEMPS DE FRANCHISSEMENTS DES TRUITES SELON LEUR LIEU ET SENS DE PASSAGE EN FONCTION DES VARIABLES ABIOTIQUES : (A) DEBIT HORAIRE, (B) TEMPERATURE HORAIRE, (C) MOIS DE FRANCHISSEMENT ET (D) HEURE DE FRANCHISSEMENT.....	38
FIGURE 31 : RESULTATS DES TESTS DE CORRELATION DE SPEARMAN POUR LES TRUITES FARIO EN MONTAISON (EN HAUT) ET EN DEVALAISON (EN BAS). A GAUCHE, LES TABLEAUX AVEC LES P-VALUES ET LES COEFFICIENTS DE CORRELATION. LES VALEURS EN GRAS SONT SIGNIFICATIVES. A DROITE, LA CARTE DES CORRELATIONS QUI TRADUISENT LES TABLEAUX DE GAUCHE. LES CASES NOIRES INDIQUENT LES CORRELATIONS SIGNIFICATIVES.....	39
FIGURE 32 : BOX-PLOTS MENSUELS DES DEBITS HORAIRES DU BORNE MIS EN RELATION AVEC LES DEBITS ENREGISTRES AU MOMENT DES TRAVERSEES DE L'OUVRAGE (EN MONTAISON ET EN DEVALAISON) PAR LES TRUITES FARIO.....	40
FIGURE 33 : (A) BOX-PLOTS MENSUELS DES TEMPERATURES HORAIRES DU BORNE MIS EN RELATION AVEC LES TEMPERATURES ENREGISTRES AU MOMENT DES TRAVERSEES DE L'OUVRAGE (EN MONTAISON ET EN DEVALAISON) PAR LES TRUITES FARIO ; (B) HEURE EN FONCTION DES MOIS DES TRAVERSEES DE L'OUVRAGE .....	40
FIGURE 34 : NOMBRE D'INDIVIDUS DE TRUITES FARIO MARQUES QUI ONT ETE RECAPTURES PAR LA SUITE SOIT PAR DES PECHEES ELECTRIQUES (RELACHES VIVANTS) OU PAR PECHE A LA CANNE (NON RELACHE, INDIVIDUS MORTS) .....	41
FIGURE 35 : LOCALISATION DES PECHEES ELECTRIQUES D'INVENTAIRES.....	42
FIGURE 36 : VALEURS DE DENSITE (INDIVIDUS/10 ARES, BLEU) ET BIOMASSE (KG/HA, VERT) DE TRUIE FARIO PAR STATION DE SUIVI PISCICOLE.....	43
FIGURE 37 : FOCUS DE LA BIOMASSE SUR LA STATION DE PONT L'ÉSSERT DE « L'OBSERVATOIRE DEPARTEMENTAL » DE LA FDPPMA 74.....	43

## Table des tableaux

TABLEAU 1 : CARACTERISTIQUES DES ANTENNES DU DISPOSITIF DE DETECTION MIS EN ŒUVRE POUR LE SUIVI .....	7
TABLEAU 2 : RECAPITULATIF DES OPERATIONS DE CAPTURES ET MARQUAGE EFFECTUEES POUR LE SUIVI DU SEUIL METRAL.....	9
TABLEAU 3 : VALEURS GUIDES POUR LES TAILLES D'INDIVIDUS A MARQUER EN FONCTION DES TAILLES DE TRANSPONDEURS DISPONIBLES.....	9
TABLEAU 4 : REPARTITION SPATIO-TEMPORELLE DES DONNEES PISCICOLES EXISTANTES A PROXIMITE DU SEUIL METRAL (BARRE HORIZONTALE NOIRE EN GRAS CORRESPOND A LA SITUATION DU SEUIL METRAL PAR RAPPORT AUX AUTRES STATIONS CLASSEES D'AMONT EN AVAL) .....	15
TABLEAU 5 : VALEURS MAXIMALES DES DEBITS ENREGISTRES LORS DES TESTS DE DETECTION DE SURFACE POUR LES 3 TAILLES DE TRANSPONDEURS SUR CHACUN DES 6 ANTENNES DU DISPOSITIF .....	21
TABLEAU 6 : BILAN DES DETECTIONS PAR ANTENNE ET PAR TAILLE DE TRANSPONDEURS ASSOCIEES AUX DEBITS MINIMUM ET MAXIMUM OBSERVES AU COURS DU SUIVI RFID 2016-2019.....	22
TABLEAU 7 : LONGUEURS TOTALES MOYENNES ET MEDIANES PAR ESPECE AU SEIN DE L'ECHANTILLON MARQUE DANS LE CADRE DU SUIVI DE L'OUVRAGE DU SEUIL METRAL .....	25
TABLEAU 8 : DECOMPTE PAR ESPECE DES INDIVIDUS DETECTES AU NIVEAU DU DISPOSITIF RFID DE L'OUVRAGE DU SEUIL METRAL POUR CHAQUE ANNEE DU SUIVI (DE 2016 A 2019) ET AU GLOBAL .....	28
TABLEAU 9 : DECOMPTE PAR ESPECE DES INDIVIDUS DETECTES AU NIVEAU DU DISPOSITIF RFID DE L'OUVRAGE DU SEUIL METRAL POUR CHAQUE ANNEE DU SUIVI EN FONCTION DE LEUR ANNEE DE MARQUAGE .....	29
TABLEAU 10 : DECOMPTE PAR ESPECE DES INDIVIDUS DETECTES AU NIVEAU DU DISPOSITIF RFID DE L'OUVRAGE DU PONT SNCF DE MARIGNIER SUR LE GIFFRE MAIS MARQUES DANS LE BORNE POUR CHAQUE ANNEE DU SUIVI EN FONCTION DE LEUR ANNEE DE MARQUAGE.....	30
TABLEAU 11 : EFFECTIFS DE POISSONS MARQUES, « SUPPOSES MIGRANTS » ET DETECTES CLASSES PAR GROUPE DE COMPORTEMENT DE DEPLACEMENT DONNANT ACCES AUX PARAMETRES D'ATTRACTIVITE ET DE FRANCHISSABILITE.....	33
TABLEAU 12 : TEMPS DE FRANCHISSEMENT ET DE DEVALAISON MINIMA, MAXIMA ET MOYENS PAR GAMME DE DUREES OBSERVEES POUR LA TRUITE FARIO AU COURS DU SUIVI .....	36

## Table des annexes

ANNEXE 1 : LOCALISATION DES POINTS DE MARQUAGE (DE 2016 A 2018) POUR CHACUNE DES ESPECES CIBLES.....	50
ANNEXE 2 : GRAPHIQUES DES CORRELATIONS DE SPEARMAN ENTRE LES TEMPS DE FRANCHISSEMENTS DES TRUITES FARIO ET LES PARAMETRES ABIOTIQUE.....	52

# 1. Introduction et contexte de l'étude

L'ouvrage du seuil Métral (N°ROE42500) est situé sur le Borne, dans la commune de Saint Pierre en Faucigny, dans sa partie aval à environ 4 km de la confluence avec l'Arve (figure 1). Cette partie du cours d'eau est classé en réservoir biologique, et en « bon état écologique » au sens du SDAGE 2016-2021.

BORNE

*Figure 1 : Localisation du site d'étude et des autres suivis d'ouvrage mis en œuvre sur le bassin versant de l'Arve*

Ce seuil est une prise d'eau qui fonctionne au fil de l'eau permettant de dévier une partie de l'eau du Borne dans un bief, appelé Bief Métral, alimentant une minoterie toujours en fonctionnement du même nom (celui du propriétaire). Cet ouvrage bétonné (Figure 2), avec une hauteur de chute de près de 3 m, avait été classé de totalement infranchissable pour la truite lors du recensement des ouvrages existants par l'ONEMA (actuellement AFB) en 2009. Mais les données de radiopistage du programme Interreg IV A ESPACE Arve & Rhône (CHASSERIEAU *et al.*, 2015) ont permis de faire le constat que certains individus de truite fario adultes réussissaient à franchir l'ouvrage. Cependant, cette étude n'a pas permis de montrer un éventuel « retard » de migration (difficultés de franchissement), ni de passages à faibles débits ou encore de franchissements par des individus de petites tailles.

La situation aval sur le linéaire du Borne de l'ouvrage pouvait donc induire un blocage pour l'accès à l'entrée des gorges, juste au-dessus de cet ouvrage. L'ouverture de ce point de blocage permet un accès à un linéaire de 4 km en amont. Le linéaire est ensuite à nouveau bloqué par le barrage de Beffay, ouvrage exploité par EDF d'une hauteur de chute de 11 m, totalement infranchissable à la montaison. Le barrage a fait l'objet d'un dispositif permettant la dévalaison des poissons en 2018.

Le projet de construction d'un dispositif de franchissement piscicole sur le seuil Métral a été porté par le SM3A. Le suivi de l'efficacité de franchissement de ce dispositif via la technologie de télémétrie RFID (Radio Fréquence IDentification) est inscrit dans le contrat vert et bleu « Arve Porte des Alpes » (Fiche Action n°12), porté par le SM3A. Ce suivi s'est effectué en co-maîtrise d'ouvrage entre le SM3A (acquisition du matériel) et la FDPPMA 74 (temps de travail).

Les travaux de construction du dispositif de franchissement piscicole ont consisté en la réalisation d'une rampe avec 6 bassins successifs, située au milieu du seuil. La partie du seuil en rive gauche a été conservée telle quelle (batardeaux côté vannes), et sur la partie de droite, une recharge en enrochement du coursier a été faite (Figure 2) permettant *à priori* également le franchissement grâce à une bonne rugosité permise par les blocs et une pente adoucie.



Figure 2 : Ouvrage du Seuil Métral avant et après aménagement

L'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse ainsi que l'AFB (Agence Française pour la Biodiversité anciennement ONEMA) préconisent d'évaluer l'impact, sur les milieux et les populations, des actions de protection et de restauration des milieux aquatiques. Cette acquisition de connaissances permet d'une part, d'apprécier l'efficacité des travaux réalisés par rapport aux objectifs initiaux et d'autres part, de mieux comprendre le fonctionnement des milieux et donc d'être en capacité de mieux les gérer. Les suivis d'évaluation d'efficacité de travaux permettent également d'avoir des retours d'expérience sur les solutions techniques choisies en fonction des objectifs initiaux. Ces retours sont importants pour orienter des aménagements futurs pertinents et efficaces.

La co-maîtrise d'ouvrage a été possible grâce aux compétences de la FDPPMA74 dans la technologie RFID, déjà utilisée par le passé dans d'autres études. Une telle méthode de suivi a été choisie car elle permet de quantifier un flux de poissons préalablement marqués franchissant ou dévalant l'ouvrage (muni de plusieurs antennes de détection) et ce à tout moment du jour ou de la nuit. Ainsi certains patrons de franchissement de l'ouvrage (période de passage, temps de passage, flux...) peuvent être mis en évidence.

## 2. Objectifs

Les objectifs de ce suivi sont de :

- Evaluer l'efficacité de franchissement de la rampe à bassins successifs et/ou du coursier en enrochement libre des différentes espèces piscicoles présentes dans le Borne, mais en particulier les 2 espèces-cibles : la truite fario et le chabot, via un dispositif RFID et ce pour toutes les saisons.
- Confronter les franchissements observés avec les variables de thermie et de débit disponibles, via respectivement, des sondes de température posées sur le linéaire du Borne et la station limnimétrique N°V0205420 située à Saint-Jean-de-Sixt soit environ 17 km en amont du site d'étude [cette station est tenue par la DREAL et les données sont disponibles sur la Banque Hydro]. Cette analyse permettra de définir les conditions préférentielles de franchissement.
- Formuler, le cas échéant, des propositions d'amélioration des aménagements à l'échelle du site pour améliorer son efficacité.



## 3. Matériel et méthodes

### 1.1 Principe de la technologie RFID mise en œuvre pour le suivi

L'efficacité d'un ouvrage de franchissement s'évalue de manière pertinente via des dispositifs télémétriques, en particulier via la technologie RFID puisqu'ils permettent de quantifier le flux de poissons marqués franchissant ou dévalant l'ouvrage et ce à tout moment du jour ou de la nuit. Ainsi certains patrons de franchissement d'ouvrages (période de passage, temps de passage, flux...) peuvent être mis en évidence uniquement via de telles technologies.

La technologie RFID utilise des transpondeurs passifs ou PIT-tag (Passive Integrated Transponder) qui sont des marques non alimentées par une batterie. Ils émettent une fréquence radio lorsqu'ils sont excités par un champ magnétique (constitué par une antenne). Le signal transmis est un code unique qui permet l'identification précise d'un individu marqué. Cette méthode permet le marquage rapide d'un grand nombre d'individus (plusieurs centaines) pour un temps quasi illimité (très longue durée de vie de la marque, généralement le temps de vie de l'individu pour les espèces étudiées ici). Ceux-ci peuvent ensuite être détectés grâce à des antennes fixes ou mobiles, à une distance maximale variant de 30 à 80 cm en moyenne (Figure 3). Les antennes fixes sont disposées ici au fond du lit et fixées sur des gros blocs mais il est également possible suivant le gabarit du cours d'eau de les installer en position verticale.

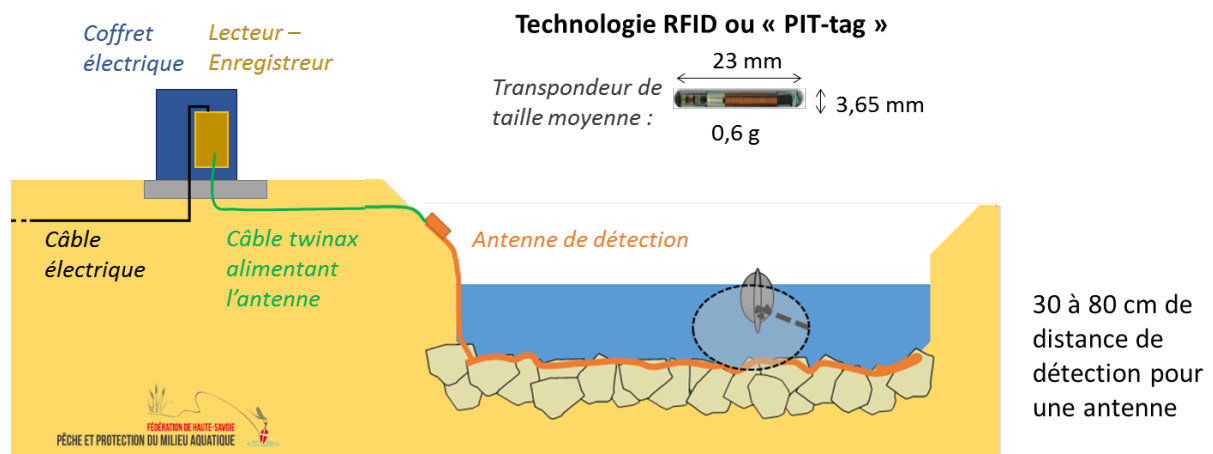


Figure 3 : Principe de fonctionnement des antennes PIT-tag

Lorsqu'un poisson marqué passe dans le champ de détection d'une antenne, une donnée de la forme « date / heure / numéro du poisson / numéro de l'antenne » est créée et enregistrée par un lecteur/enregistreur relié à l'antenne de détection et situé en berge. Plusieurs lecteurs peuvent être nécessaires pour couvrir l'ensemble de l'ouvrage. Les données engendrées par chaque lecteur sont téléchargées régulièrement, dans l'idéal, à un pas de temps hebdomadaire.

Ces données permettent de connaître : le nombre d'individus (par espèce) ayant transité dans l'ouvrage, les sens de déplacement (montaison et/ou dévalaison), les temps de franchissement, les relations éventuelles avec les variables du milieu (débit et température) et les caractéristiques morphologiques des individus (taille, poids, âge).

## 1.2 Description du dispositif télémétrique mis en place sur l'ouvrage

La rampe rustique de franchissement réalisée sur cet ouvrage est placée au milieu du lit. Le poisson dispose donc de 3 voies de passage dont 2 *a priori* franchissables, ainsi il a fallu mettre en place autant d'antennes dans la largeur afin de savoir si le poisson emprunte la rampe, le côté gauche (côté batardeau, considéré non franchissable) ou le côté droit (côté recharge du coursier en enrochement, certainement franchissable en périodes de hautes eaux). Afin de déterminer également le sens du passage et l'éventuel franchissement de la rampe, il a fallu doubler les antennes (amont et aval de chaque voie de passage soit 6 antennes au total ; Figure 4 (a)). En ce qui concerne la rampe du milieu, il n'était pas possible de placer des antennes juste au milieu du lit puisqu'il faut qu'elles soient raccordées proches de leur tuner box. Et mettre ces tuner box au milieu du lit du Borne était trop risqué au regard des crues qui peuvent avoir lieu en période de hautes eaux. Donc, il a fallu faire des antennes qui partent du bord (rive droite) et qui englobent la rampe. Mais, pour pouvoir dissocier la rampe du coursier en enrochement, des antennes plus courtes n'englobant que le coursier ont été mises. Ainsi, lorsqu'un poisson est détecté sur le ou les couple(s) d'antennes (A1-A3 et/ou A2-A4) cela signifie qu'il se situe dans le coursier. Mais si un individu n'est détecté que sur les grandes antennes (A3 et A4), c'est qu'il est dans la rampe (Figure 4 (b)).

Les tuners boxes des antennes A1 et A2 « côté recharge du coursier en enrochement » (rive droite) et A3 ; A4 de la rampe du milieu sont donc placés en rive droite ; un câble aérien à quelques mètres au-dessus de la rivière permet de relier les lecteurs tous situés en rive gauche (Figure 4 (f)). En effet, l'alimentation électrique provient d'un boîtier EDF situé de l'autre côté de la route dans la rue attenante à la prise d'eau (rive gauche) (Figure 4 (e)) ; il a donc fallu placer les lecteurs au plus proche mais dans un endroit peu fréquenté pour éviter le vandalisme. Ces derniers ont été mis en sécurité dans l'enceinte sécurisée par une barrière verrouillée de la prise d'eau de M. Métral.

*Chaque antenne possède une largeur inférieure à 20 m (largeur maximum au-delà de laquelle une perte de hauteur de détection est trop importante). Les antennes sont disposées « à plat » dans le lit du cours d'eau ce sont des antennes dites « pass-over ». Elles sont fixées aux blocs en respectant le plus possible un écartement d'environ 60 cm de large (Figure 4 (c) et*

Tableau 1). Lorsque le fond du lit est constitué de substrats plus fins (galets), comme c'est le cas pour l'antenne A6 : amont batardeau, l'antenne est fixée sur des bordures bétons (Figure 4 (d)), elles-mêmes stabilisées au fond du lit grâce à des fers à bétons. L'engravement naturelle va légèrement enterrer l'antenne de sorte qu'elle ne se fasse pas emporter pas les crues.

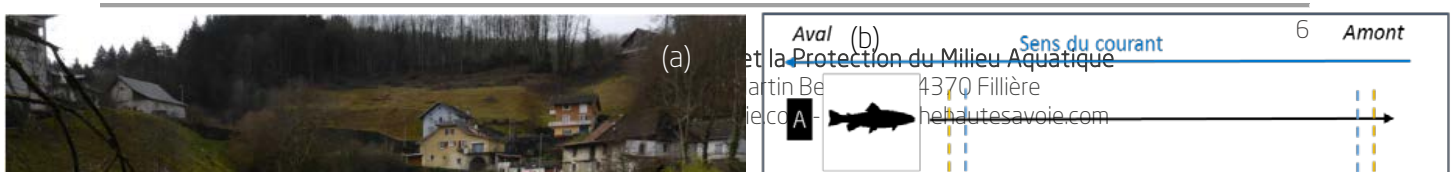


Figure 4 : (a) Schéma de la disposition des antennes et leur dénomination, (b) sens de franchissement des poissons, (c) disposition de l'antenne (A4) amont rampe, (d) disposition de l'antenne amont rive gauche A6 (en l'absence de gros blocs, l'antenne a été fixée sur des bordures bétons, elles-mêmes maintenues au fond du lit par des fers à béton), (e) boîtier EDF pour raccordement électrique de l'installation et (f) câble aérien d'alimentation électrique des antennes rive droite

Tableau 1 : Caractéristiques des antennes du dispositif de détection mis en œuvre pour le suivi

Antenne	Forme	Longueur (m)	Largeur (m)	Distance de détection (cm)		
				Tag 12 mm	Tag 23 mm	Tag 32 mm
A1	A plat, rectiligne	15	0,60	20	50	70
A2	A plat, rectiligne	15	0,60	20	50	70
A3	A plat, rectiligne	19	0,60	20	50	70
A4	Suit la déclinaison des blocs	19	0,60	20	50	70
A5	Suit la déclinaison des blocs	11	0,60	10	25	35
A6	A plat, rectiligne	18	0,60	10	25	35

Les antennes A3 et A4 sont les plus grandes, mais lors de tests après installation, les hauteurs de détection se sont avérées aussi bonnes que les antennes A1 et A2, plus petites. Les antennes A5 et A6 ont une moins bonne détection, pourtant leur taille et leur disposition n'est pas limitante. Ceci est dû au fait qu'elles soient branchées sur un seul et même lecteur. Les lecteurs multi-antennes provoquent une baisse de hauteur de détection lorsque plusieurs antennes sont branchées dessus c'est pourquoi, lorsque cela était possible, une seule antenne est branchée sur un seul lecteur.

## 2 Capture et marquage des poissons

La capture des poissons s'effectue par pêche électrique de sondage (non-exhaustif) ou d'inventaire selon la méthode par enlèvement successif (DE LURY, 1951). La FDAAPPMA 74 n'a pas effectuée seule toutes les captures en vue des marquages. En effet, afin d'optimiser les opérations de captures et minimiser le dérangement des poissons, elle s'est associée aux opérations de captures piscicoles pouvant être effectuées entre 2016 et 2018 par d'autres opérateurs sur le périmètre d'étude. Pour ces dernières, au cours de la biométrie habituelle, le personnel de la fédération effectuait les opérations de marquage.

*Il y a eu au total 12 jours de captures, opérés entre le 12 septembre 2016 et le 29 septembre 2018 qui ont permis de prospecter un cumul de 10 km avec uniquement des pêches de sondage (*

Tableau 2).

Tableau 2 : Récapitulatif des opérations de captures et marquage effectuées pour le suivi du seuil Métral

Cours d'eau	Date	Linéaire prospecté (m)	Linéaire total (m)	Opérateur	Raison	Sondage	Inventaire
Borne	12/09/2016	155	8064	Sauv'pêche	Pêche avant travaux	x	
	26/09/2016	2100		FDPPMA 74	Marquage RFID - suivi	x	
	21/10/2016	750		FDPPMA 74	Marquage RFID - suivi	x	
	18/04/2017	3000		FDPPMA 74	Marquage RFID - suivi	x	
	20/06/2017	998		FDPPMA 74	Marquage RFID - suivi	x	
	08/09/2017	300		Asconit	Pêche réseau AFB	x	
	26/03/2018	163		FDPPMA 74	Marquage RFID - suivi	x	
	22/08/2018	153		FDPPMA 74	Marquage RFID - suivi	x	
	29/09/2018	445		FDPPMA 74	Marquage RFID - suivi	x	
Arve	31/01/2017	140	1290	FDPPMA 74	Marquage RFID - suivi	x	
	01/02/2017	50		FDPPMA 74	Marquage RFID - suivi	x	
	26/03/2018	1100		FDPPMA 74	Marquage RFID - suivi	x	
Foron de la Roche	27/03/2018	120	120	FDPPMA 74	Marquage RFID - suivi	x	
Nant de Sion	26/03/2018	500	500	FDPPMA 74	Marquage RFID - suivi	x	

L'aménagement réalisé sur le seuil Métral a pour vocation première d'être aisément franchissable par la truite fario, toute taille confondue, mais également pour le chabot. Ce sont les 2 espèces-cibles identifiées grâce aux résultats de pêches électriques d'inventaires sur le secteur. Ceci étant dit, l'aménagement, s'il s'avère franchissable par la truite et le chabot, devrait l'être par d'autres espèces telles que l'ombre commun et les cyprinidés d'eaux vives (chevesne, barbeau fluviatile). Si le cahier des charges ne prévoient pas ces espèces c'est tout simplement qu'il n'y a pas de véritables populations en place. Toutefois, lors des opérations de marquage, toutes effectuées en aval du seuil, il a été décidé de marquer toutes les espèces présentes à savoir : truite fario, chabot, ombre commun, chevesne et barbeau fluviatile bien que ces 2 dernières soient présentes de manière sporadique. D'autres suivis RFID sont actuellement en cours sur le bassin de l'Arve (Giffre et Menoge), des échanges inter-bassins peuvent avoir lieu, il est donc intéressant de marquer des espèces susceptibles de rejoindre ces cours d'eau.

Chaque individu ainsi capturé est anesthésié dans une solution d'eugénol (3 ml d'une solution à 10 % pour 10 l d'eau) puis pesé et mesuré, ceci permettant, outre d'avoir les caractéristiques morphologiques des individus franchissant le dispositif, de choisir la taille du transpondeur (appelé aussi PIT-tag) à insérer dans le poisson.

En effet, pour éviter la moindre gêne de l'individu dans son développement et ses déplacements, gêne pouvant être occasionnée par le transpondeur, il convient de respecter la « règle des 2 % » énoncée par WINTER & ROSS (1983) communément adoptée en télémétrie. Cela signifie que le poids du transpondeur dans l'air ne doit pas dépasser 2 % du poids du poisson dans l'air. Cette notion a été convertie en longueur totale par espèce en prenant une certaine marge pour s'assurer du bien-être du poisson notamment pour les petits individus et les petites espèces (Tableau 3).

Tableau 3 : Valeurs guides pour les tailles d'individus à marquer en fonction des tailles de transpondeurs disponibles.

Transpondeur Oregon RFID - type HDX		Poids de l'individu (g) marqué à 2%	Poids de l'individu retenu (g) pour le marquage	Longueur totale spécifique (cm)				
Taille (mm)	Poids (g)			Truite fario	Chabot, Blageon, Spirlin	Chevaîne	Barbeau fluviatile	Ombre commun
12	0,1	5	6	8	8	9	8	8
23	0,6	30	40	15		18	16	13
32	0,8	40	100	21		24	20	17

Les individus ciblés pour le marquage sont incisés à l'aide d'un bistouri (incision < 5 mm) légèrement en arrière de la ceinture pectorale pour les salmonidés et les cyprinidés mais derrière la ceinture pelvienne et un peu décalé par rapport à la ligne centrale pour le chabot (voir OVIDIO *et al.*, 2007). Le transpondeur désinfecté à la bétadine dermique (10 %) est inséré dans la cavité péritonéale à la verticale puis basculé vers la ceinture pelvienne (Figure 5).



Figure 5 : Marquage interne d'une truite avec un PIT-tag de 23 mm ; (a) Incision en position ventrale et centrale réalisée au bistouri juste en dessous de la ceinture pectorale ; (b) insertion du PIT-tag dans la cavité générale du poisson.

En plus du marquage, un prélèvement d'écaillés est réalisé afin de définir ultérieurement l'âge du poisson au moment de sa capture. Cette information est importante pour l'analyse de la dynamique des populations.

Les prélèvements d'écaillés se font dans la zone standardisée définie par OMBREDANE & RICHARD (1990) pour les salmonidés et par VITALI & BRAGHIERI (1984) pour les grands cyprinidés. Le traitement et la lecture des écaillés se font au laboratoire à l'aide d'un lecteur microfiches.

Une fois la biométrie, la chirurgie et les prélèvements réalisés, les individus sont stockés pour la phase de réveil dans des viviers immergés dans le cours d'eau. Ces derniers sont placés de préférence dans un endroit ombragé, abrité mais bien oxygéné. Une fois que les individus sont totalement réveillés et présentent un état de santé satisfaisant, ils sont remis à l'eau là où ils ont été capturés (ou à l'aval dans le cas de la pêche de sauvegarde).

Ce suivi télémétrique, en plus d'étudier le franchissement de l'ouvrage en question, a vocation également d'essayer d'appréhender les dynamiques de populations à l'échelle du cours d'eau ou un peu plus largement, à l'échelle du bassin versant. La FDAAPPMA 74 a réalisé dans les années antérieures plusieurs suivis de cette nature et son retour d'expérience montre que seulement 10 % des individus marqués sont détectés au niveau des dispositifs de détection.

De plus, pour définir des schémas de déplacements à l'échelle d'une population plutôt que des comportements individuels, un nombre suffisant de détections de poissons au niveau de l'ouvrage est nécessaire. L'idéal serait d'obtenir des détections d'une trentaine d'individus de grande espèce : truite fario et ombre commun (le barbeau fluviatile et le chevesne n'étant pas des espèces forcément présentes à proximité directe de l'ouvrage et à l'amont). Le chabot n'étant pas connu pour effectuer des « longs » déplacements, les objectifs de détection sont plus modestes.

Ainsi, il est prévu de marquer environ 1500 individus toutes espèces et tous stades confondus.

## 2.1 Bancarisation des données télémétriques issues du dispositif fixe

La récolte des données nécessite une visite hebdomadaire du site d'étude afin de télécharger les données de chaque lecteur et vérifier le bon fonctionnement de l'ensemble du dispositif RFID. Les fichiers générés sont ensuite mis en forme sous Excel puis importés dans une base de données Access compilant toutes les données liées aux suivis RFID fait par la FDPPMA 74 et permettant de relier les numéros PIT-tag aux caractéristiques biologiques et spatio-temporelles des individus détections.

La Figure 6 décrit le format des données générées par les lecteurs-enregistreurs Oregon RFID.

*Figure 6 : Format des données générées par un lecteur-enregistreur Oregon RFID*

## 2.2 Mesures des paramètres environnementaux

Les conditions hydrologiques et thermiques jouent un rôle essentiel dans les déplacements et comportements piscicoles. Pour les salmonidés par exemple, les variations de débits stimulent leurs migrations aussi bien vers l'amont que vers l'aval (BANKS, 1969 ; NORTHCOTE, 1984 ; JONSSON, 1991 ; CRISP, 1996) et tandis qu'une fluctuation de température peut déclencher leurs mouvements vers l'amont (OVIDIO *et al.*, 1998 ; CLAPP *et al.*, 1990 ; MEYERS *et al.*, 1992).

La température de l'eau est aussi importante dans le succès de passage d'obstacles des poissons car elle conditionne l'efficacité musculaire et les capacités de saut et de nage des poissons (WARDLE, 1980 ; BEACH, 1984 ; LARINIER *et al.*, 1993 ; GHAAPPE, 2001). OVIDIO *et al.* (2002) ont montré par exemple dans l'Ourthe (affluent de la Meuse) que les obstacles étaient majoritairement franchis dans une gamme de température entre 10°C et 12°C (espèces étudiées : la truite, l'ombre et le brochet).

Les variables hydrologiques et thermiques ont été enregistrées et compilées à proximité de la zone d'étude afin de les confronter aux mouvements piscicoles détections au niveau du dispositif RFID.

## 2.2.1 Le débit

La station hydrologique sur le Borne à Saint-Jean-de-Sixt (V0205420) gérée par la DREAL Rhône-Alpes a été utilisée pour obtenir les données de débit de ces cours d'eau durant la période de suivi (Figure 7). Cette station est située à environ 15 km à l'amont du seuil Métral, sur le haut du bassin versant. Les débits présentés ici ne sont donc pas les débits réellement observés sur la zone d'étude mais la tendance reste la même. Les débits moyens journaliers sont présentés ici dans un souci de clarté mais l'analyse des résultats sera faite à partir du débit horaire.

Les années 2016 et 2018 ont été celles qui ont connu le plus de variations : des débits très élevés en hiver et au printemps mais des étés très secs. Les années 2017 et 2019 ont été globalement plus sèches, notamment 2017, avec des hivers très secs et des hautes eaux printanières ne dépassant pas les 7 m<sup>3</sup>/s.

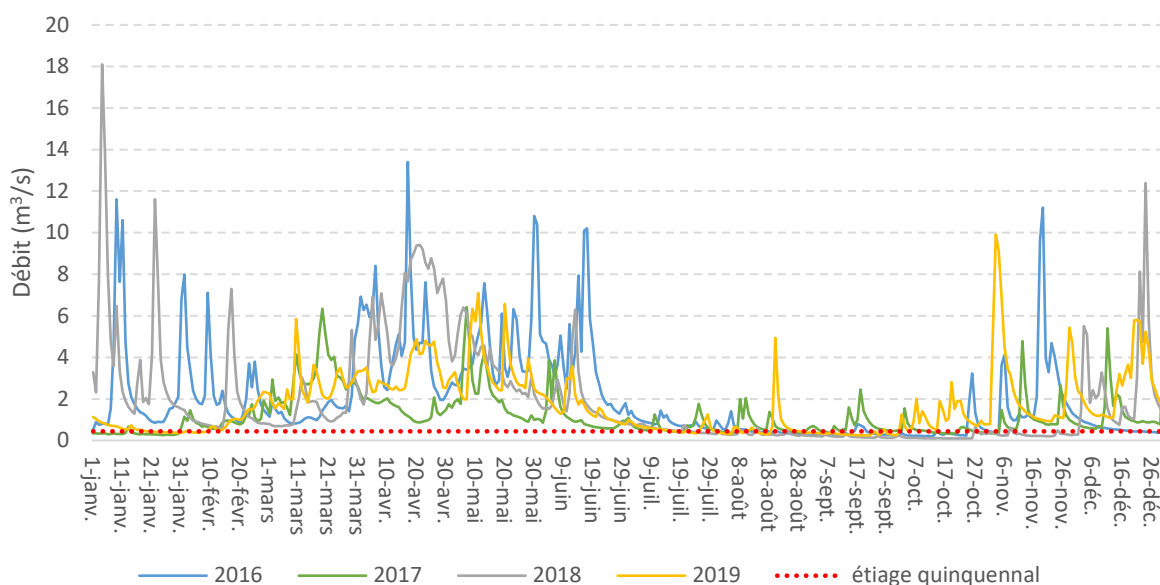


Figure 7 : Graphique des débits journaliers entre 2016 et 2019 sur le Borne à Saint-Jean-de-Sixt

## 2.2.2 La température

Pour bien appréhender ce paramètre, un thermogramme a été posé dans le Borne à proximité du seuil (en aval) et enregistre la température de l'eau au pas de temps horaire durant toute la durée du suivi. Dans l'Arve, une sonde a été posée juste en aval de la confluence avec le Borne, cependant une première sonde a été perdue emportant avec elle les données acquises de novembre 2016 à janvier 2018. La seconde qui a été posée par la suite, n'a pas pu être récupérée à l'issue du suivi puisque l'Arve ayant un régime glaciaire, les hautes eaux estivales ne permettait pas une récupération avant l'hiver 2019-2020 et que l'hiver, exceptionnellement chaud de cette même année, n'a pas permis d'obtenir un débit suffisamment faible pour intervenir. Toutefois, une sonde en amont de la confluence (au niveau du Pont de l'Europe à Bonneville) posée dans le cadre du suivi PIT-tag sur le Giffre a été récupérée en début d'année 2018, permettant de couvrir l'année 2017. Les données thermiques de ces 2 mêmes sites avaient été traitées dans le cadre du programme INTERREG ESPACE Arve & Rhône (CHASSERIEAU *et al.*, 2015) et ne montraient pas de différence significative, c'est pourquoi les données de la sonde amont confluence Borne peuvent être utilisées ici.



Toutes les modalités de pose des enregistreurs, de validation et de traitement des données thermiques sont décrites dans le manuel d'utilisation de la Macro Excel d'Aide au Calcul de variables thermiques appliquées aux Milieux Aquatiques Salmonicoles (MACMASalmo V1.0, DUMOUTIER *et al.*, 2010).

Une fois récoltées, les données sont vérifiées pour s'affranchir d'éventuelles valeurs incorrectes causées par un dysfonctionnement, une mise hors d'eau ou un engravement de l'enregistreur.

Après la phase de validation, les données brutes permettent de calculer un certain nombre de variables thermiques à l'aide d'une macro Excel *MACMASalmo*1.0 (DUMOUTIER *et al.*, 2010). Ici, les températures journalières minimales, maximales et moyennes ainsi que les amplitudes thermiques journalières ont été étudiées afin de caractériser le profil thermique des 2 stations de l'aire d'étude.

La chronique de données thermiques est complète pour les 2 stations entre novembre 2016 et avril 2019 ( *Figure 8*) pour le Borne (courbe bleue) et entre novembre 2016 et juin 2018 pour l'Arve (courbe orange). Notons que sur la partie aval du Borne, le lit du cours d'eau est rectiligne, large, peu ombragé et peu profond ce qui a pour conséquences de chauffer rapidement. La sonde a pu se trouver hors d'eau pendant de courtes périodes (n'excédant jamais quelques heures) au cours de l'été 2018 (période encadrée en rouge sur le graphique). En effet, la sonde a affiché des températures horaires pouvant atteindre 35 °C. Durant l'année 2017, la sonde n'a pas été hors d'eau. Ainsi, lors du traitement des résultats de franchissement mis en relation avec les températures, les températures de l'été 2018 ne seront pas prises en compte.

Les températures hivernales du Borne suivent celles de l'Arve (ces dernières étant légèrement plus élevées). La température moyenne journalière minimale en hiver est de 0,2°C sur le Borne et 0,8°C sur l'Arve. En été, les températures du Borne augmentent drastiquement, surtout en 2018, année exceptionnellement chaude et sèche. L'amplitude thermique est de 27°C sur le Borne (en 2017 uniquement) et de 11,3°C sur l'Arve cette même année. L'Arve étant un cours d'eau nivo-glaciaire, elle est alimentée par la fonte des glaces l'été ce qui lui permet de garder une eau fraîche et plus tamponnée toute l'année.

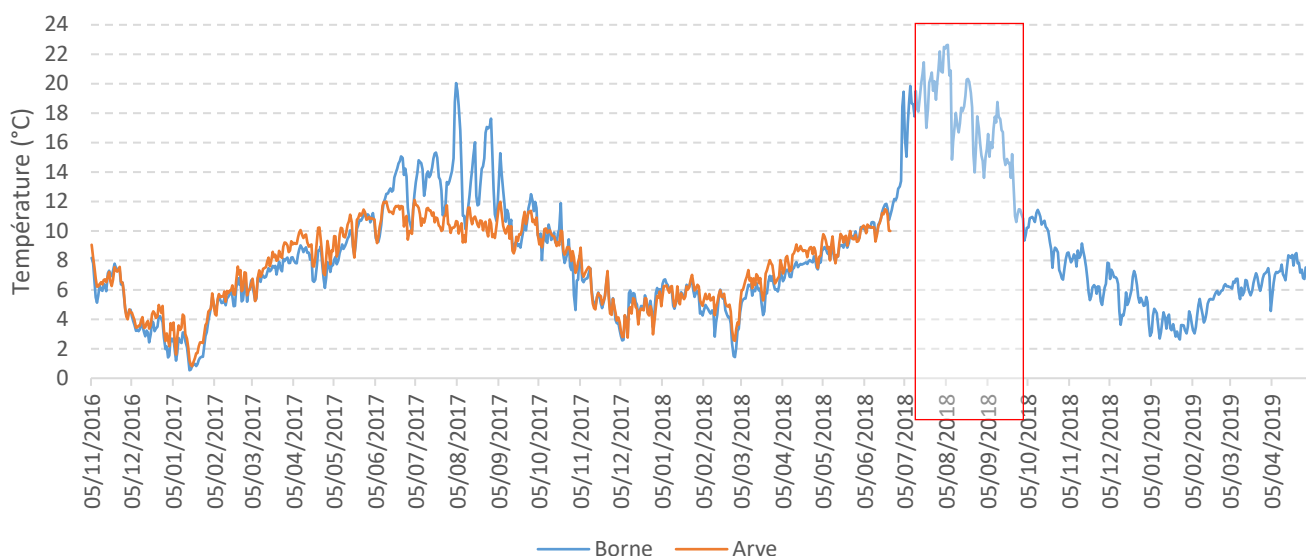


Figure 8 : Températures moyennes journalières des 2 stations de suivi de la température

## 2.3 Acquisition d'autres données piscicoles dans les pêches d'inventaires

L'aménagement du seuil Métral a principalement vocation à ouvrir un linéaire de colonisation pour les truites de l'aval du Borne, voir même de l'Arve et d'autres affluents (Giffre par exemple) afin de trouver d'autres zones de fraies. Il peut également constituer une ouverture pour le chabot bien que ceux-ci n'effectuent pas de grande migration, cela pourra cependant élargir leur domaine vital. En ce qui concerne l'ombre commun, son aire de colonisation n'a pas été constatée jusqu'à présent aussi haut dans le Borne mais il n'est pas impossible que le dispositif de franchissement puisse lui profiter. Concernant le chevesne et le barbeau fluviatile, même si des déplacements sont possibles, la situation du seuil Métral sur le linéaire du Borne est en dehors de leur aire de répartition (Figure 9). Des individus de ces espèces ont été néanmoins marqués, puisque leurs déplacements peuvent aussi bien servir aux autres études menées sur le bassin de l'Arve (suivis sur le Giffre et la Menoge).

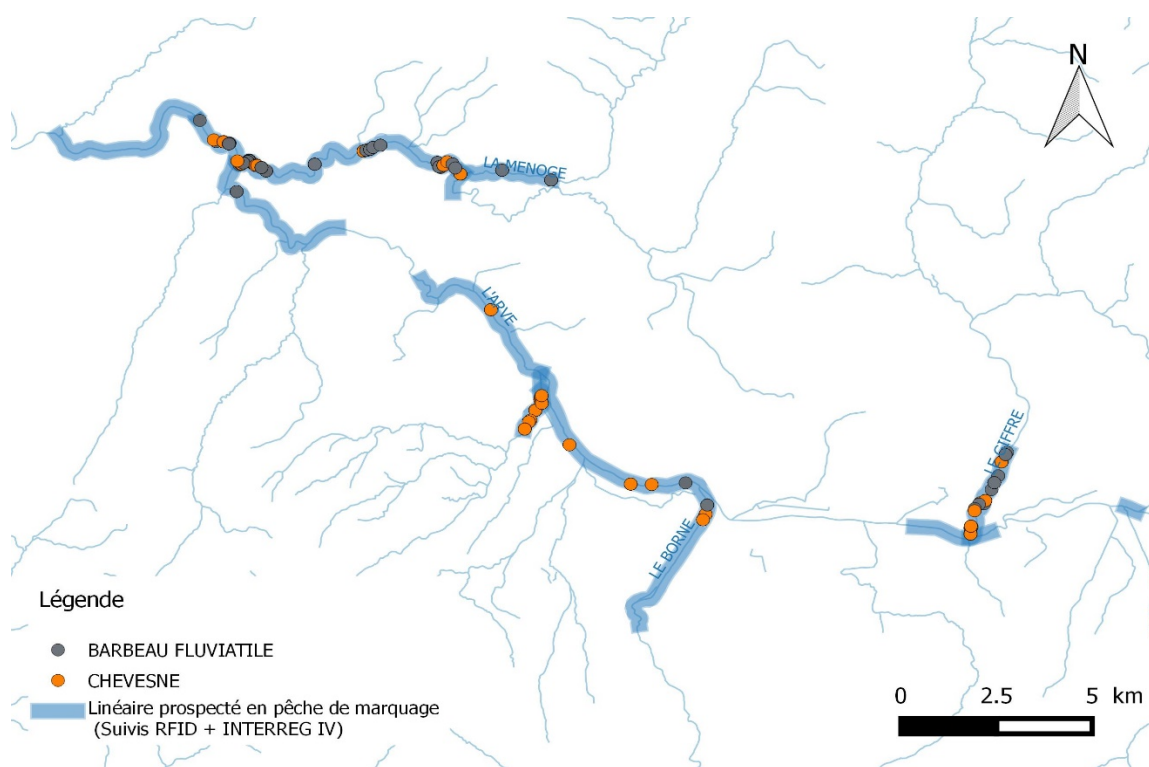


Figure 9 : Carte de localisation de l'aire de répartition (sur les linéaires prospectés) des barbeaux fluviatiles et chevesnes. Les points correspondent à des individus de ces 2 espèces qui ont été marqués dans le cadre du programme Interreg IV ESPACE (CHASSERIEAU *et al.*, 2015) et des suivis RFID actuels

Le

Tableau 4 dresse la liste des données disponibles (pêches d'inventaires) sur un secteur de 9 km à l'amont et 4 km à l'aval. Elles ont été acquises pour la majorité par la FDAAPPMA 74 dans le cadre du plan de gestion du Borne 2009-2013 (VIGIER *et al.*, 2015) et de l'observatoire départemental du recrutement naturel (station Pont l'Essert) (PDPG, 2016 ; JESUS, 2017). Les données piscicoles des stations amont et aval Pont Beffay ont été produites par le Bureau d'études Sage Environnement dans le cadre du suivi du barrage de Beffay pour le compte d'EDF. Néanmoins, le barrage de Beffay constituant un obstacle totalement infranchissable pour toutes les espèces piscicoles présentes, seuls les résultats des pêches Minoterie Métral et Aval Beffay seront présentés.

Tableau 4 : Répartition spatio-temporelle des données piscicoles existantes à proximité du seuil Métal (barre horizontale noire en gras correspond à la situation du seuil Métal par rapport aux autres stations classées d'amont en aval)

P1P2P3P4P5 Données quantitatives par périodes du cycle de vie annuel de la TRF    x Autres données non quantitatives

		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Le Borne	Pont L'essert	x					x		x	x	x	x	x
	Amont Pont Beffay				x			x				x	
	Avl Barrage Beffay				x			x				x	
	Minoterie Metral	x					x						x

## 2.4 Analyse des données et tests statistiques

L'analyse des données a été réalisée sous le logiciel Excel 2013 à l'aide de formules de conditions et les tests statistiques à l'aide du logiciel XLSTAT 2019 4.2.

Le test de corrélation de Spearman a été utilisé pour mettre en évidence les éventuelles corrélations entre les temps de passage et les paramètres abiotiques (heures, mois, températures, débits).

## 4. Résultats discutés

### 2.5 Fonctionnement du dispositif de détection

#### 2.5.1 Alimentation et réglage des antennes

Le fonctionnement du dispositif RFID est vérifié à l'aide de PIT-tags « témoins », appelés marker tags, positionnés sur chaque antenne de détection. Ces derniers sont détectés deux fois par heure, soit 48 fois par jour. Les variations du nombre de détections journalières indiquent des dysfonctionnements plus ou moins conséquents pouvant induire des pertes de données momentanées ou plus longues lors de l'arrachage d'une antenne par exemple.

Depuis le début du suivi, un certain nombre de dysfonctionnements a pu être remarqué grâce à ces marker tags (Figure 10). Parfois, il peut s'agir de l'antenne qui ne détecte plus du tout (panne électrique, arrachage de l'antenne, panne du tuner box etc...), donc les poissons ne sont plus détectés ; ou bien un défaut de réglage peut occasionner une sur-détection du marker tag engendrant ainsi une perte de données par le phénomène de collision de PIT-tags (l'antenne n'étant pas capable de lire plusieurs PIT-tags de manière simultanée) ; mais le plus souvent il s'agit simplement d'un dysfonctionnement du marker tag qui n'est plus détecté alors que l'antenne fonctionne encore et peut détecter des poissons.

Un seul évènement marquant a occasionné un non fonctionnement total et simultané des antennes entre le 26 juin 2018 et le 8 juillet 2018 (soit 12 jours), il s'agissait d'une coupure d'électricité. Puis d'autres évènements ne concernant qu'une partie des antennes sont détaillés ci-après.

Durant la période de suivi, il n'y a pas eu de crue marquante dépassant la crue biennale (35 m<sup>3</sup>/s). On notera toutefois que les hautes eaux hivernales ont pu occasionner quelques problèmes sur certaines antennes, c'est le cas le 4 janvier 2018, sur les antennes A1 ; A2 et A4, puis en avril 2018 sur l'antenne A3 totalement arrachée ; et en décembre 2018 de nouveau sur l'antenne A3.



Figure 10 : Graphique du nombre de détections par jour des tags témoins permettant de vérifier le bon fonctionnement de chaque antenne

Les figures suivantes présentent les antennes une à une avec le nombre de détections totales de poissons par jour (c'est-à-dire que plusieurs détections peuvent correspondre à un seul poisson). Le nombre de détections est mise sur une échelle de 50 détect./j pour un souci de lisibilité du graphique mais vont parfois bien au-delà.

L'antenne A1 (aval coursier) a été mise en état de fonctionnement qu'à partir du 11 janvier 2017 (Figure 11). En fin d'année 2017, le marker tag a été détérioré et remplacé en janvier 2018. Durant ce laps de temps, le nombre de détections de poissons montrent bien que l'antenne fonctionnait. Lors du remplacement du marker tag, de nombreuses détections ont été occasionnées pouvant parfois compromettre la détection de certains poissons mais cela n'a pas duré longtemps. Puis, fin janvier 2018, le même problème s'est reproduit jusqu'au mois d'avril. Des poissons ont été détectés durant cette période. Au final, il n'y a que la coupure d'électricité qui a occasionné la perte totale de données de détections de poissons sur cette antenne entre fin juin et début juillet 2018, ce qui ne représente qu'1,4% de la durée du suivi.

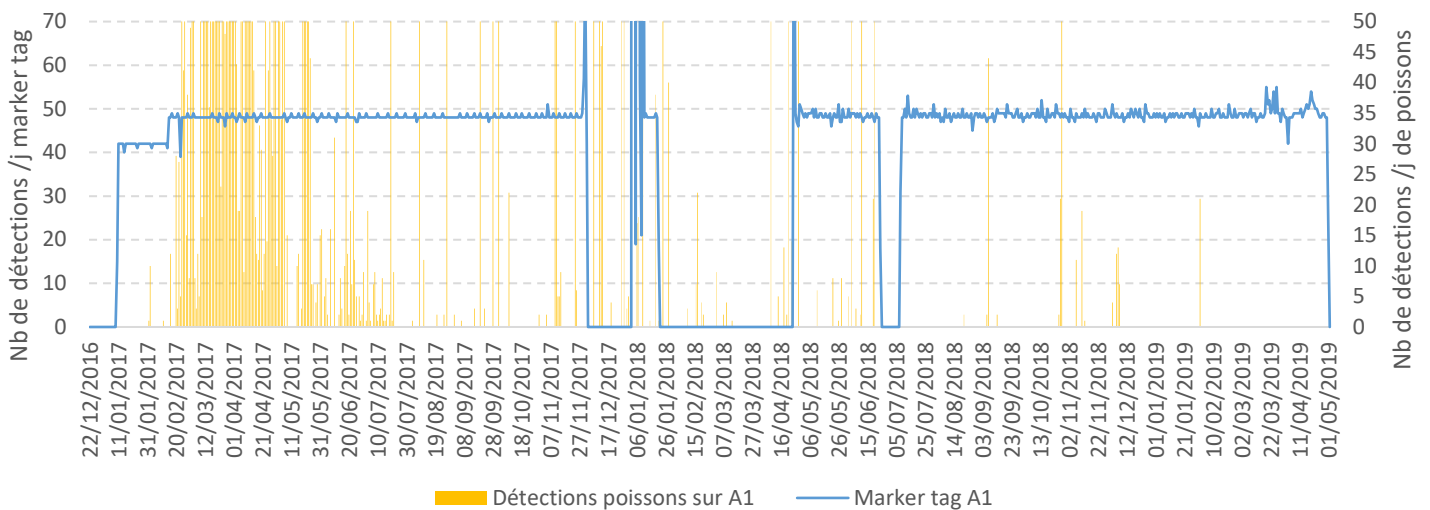


Figure 11 : Graphique du nombre de poissons détectés par jour sur l'antenne A1 mis en relation avec le fonctionnement de l'antenne via le nombre de détections du marker tag

L'antenne A2 (amont coursier) et son marker tag enregistrent un fonctionnement plus régulier depuis le 10 janvier 2017 (Figure 12). Hormis la coupure générale d'électricité de l'été 2018, il n'y a qu'une seule autre période de dysfonctionnement durant le mois de janvier 2018. Il s'agit du même problème que sur l'antenne A1, c'est le marker tag qui était mal détecté (parfois pas du tout, parfois trop). Il a été remplacé le 7 février et a bien fonctionné depuis. Cette antenne n'a donc pas pu détecter de poisson pendant 1,4% du temps du suivi, comme A1.

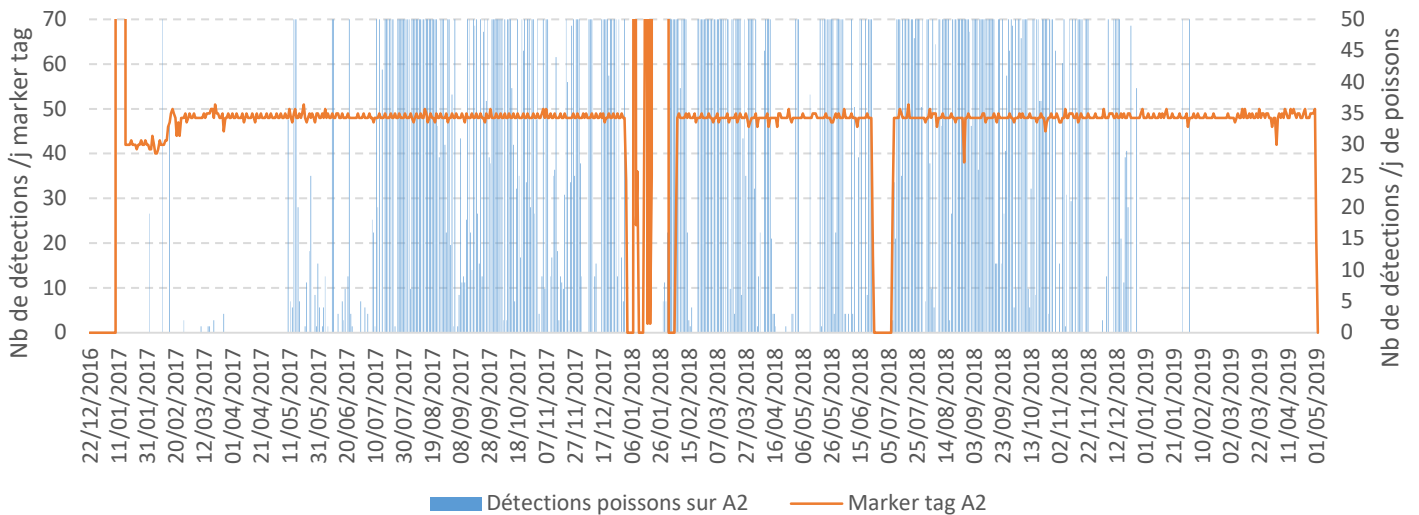


Figure 12 : Graphique du nombre de poissons détectés par jour sur l'antenne A2 mis en relation avec le fonctionnement de l'antenne via le nombre de détections du marker tag

Les antennes A3 et A4 sont très importantes puisqu'elles permettent d'évaluer le passage dans la rampe du milieu mais également dans le coursier. Si A1 et A2 ne fonctionne plus, il reste possible de déterminer le franchissement des poissons grâce à ce couple d'antenne A3 et A4 sans qu'il soit possible de déterminer le lieu, mais l'information de franchissement est tout de même présente. Malgré cela, A3 a subi plusieurs dysfonctionnements (Figure 13). Mise en route le 22 décembre 2016, le marker tag a cessé d'être détecté au mois d'avril 2017. Il a été remplacé mi-mai mais l'antenne n'a pas cessé de fonctionner au vu du nombre de détections de poissons durant cette période. Quelques fluctuations durant l'hiver 2017-2018 sont à noter, probablement liées à la hausse du niveau d'eau. Puis, l'antenne a été arrachée en avril 2018, à cause du débit important (l'antenne avait probablement été fragilisée avant). S'en est suivi un non fonctionnement jusqu'à sa réparation lorsque les conditions l'ont permises fin août 2018. Aucune donnée de présentation dans la rampe ne sera donc accessible sur cette antenne durant tout l'été 2018. En 2017, c'est durant cette période qu'il y a eu le plus de détections. Toutefois, grâce à l'antenne A4, il sera possible de savoir si certains individus ont eu accès à l'amont du dispositif durant cette période. D'autres dysfonctionnements de l'antenne ont eu lieu en début d'année 2019 sur des périodes plus courtes (janvier et mars). L'antenne n'a pas permis de détecter des poissons durant 20% du temps du suivi.

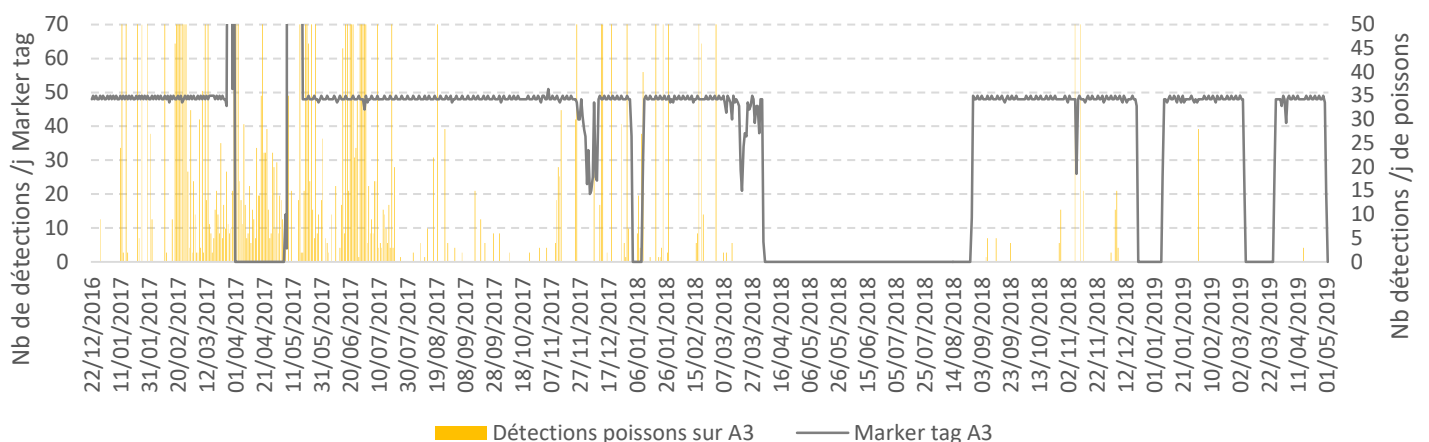


Figure 13 : Graphique du nombre de poissons détectés par jour sur l'antenne A3 mis en relation avec le fonctionnement de l'antenne via le nombre de détections du marker tag

L'antenne A4 a subi des fluctuations de février à avril 2017 (Figure 14). En effet, l'antenne se déréglaït constamment et cela nécessitait de re-régler manuellement chaque fois qu'un technicien allait télécharger les données. Le problème a été résolu à la fin du mois d'avril 2017, mais des données de franchissements de poissons (du fait de sa position sur l'amont du dispositif) ont pu être occultées. Quelques irrégularités de détections sont à noter également fin décembre 2017-début janvier 2018. Le reste du temps (en dehors de la période de coupure générale d'électricité), l'antenne a fonctionné de manière régulière. L'antenne a pu rater des détections pendant 4% du temps du suivi.

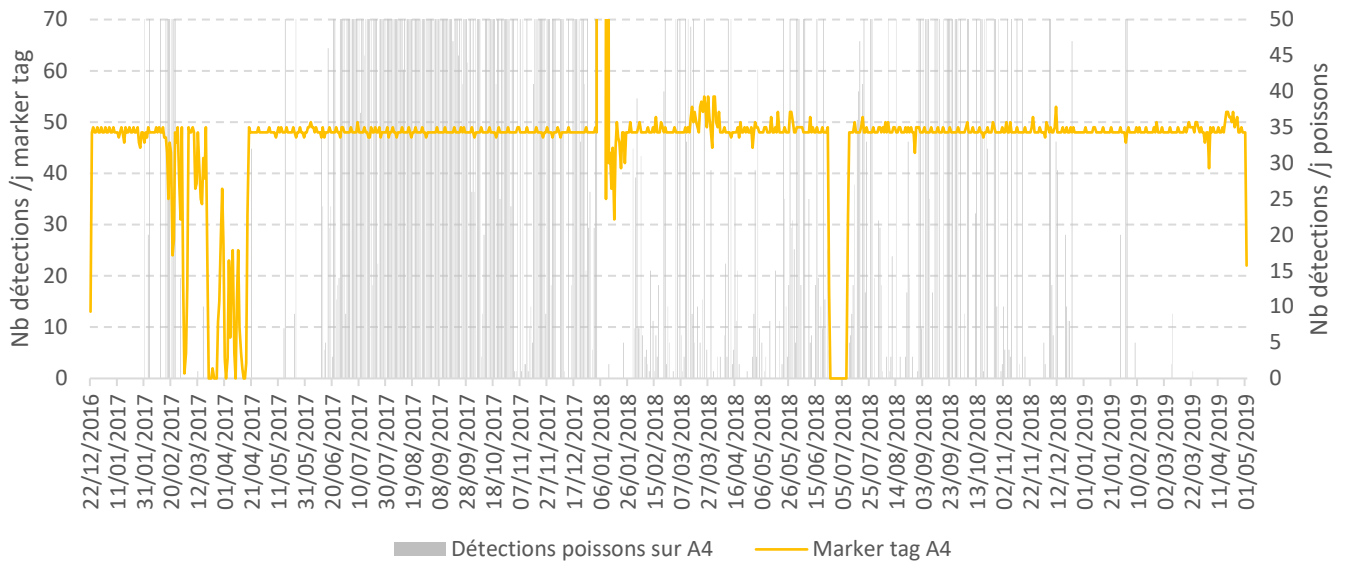


Figure 14 : Graphique du nombre de poissons détectés par jour sur l'antenne A4 mis en relation avec le fonctionnement de l'antenne via le nombre de détections du marker tag

En ce qui concerne les antennes A5 et A6, elles ont été mises en route respectivement le 25 février et 26 mars 2017. Depuis, elles ont toujours fonctionné mais avec quelques fluctuations (nombres de détections du « tag témoin » plus bas entre avril et mai et octobre-novembre 2017, sans que cela ne semble corrélé avec les débits). Ces 2 antennes étant branchées sur le même lecteur, elles subissent les mêmes variations. Elles ont fonctionné de manière régulière durant l'année 2018. Aucun graphique n'est présenté pour ces 2 antennes puisqu'elles n'enregistrent que très peu de détections de poissons du fait de leur situation (antennes côté vannes, infranchissables).

## 2.5.2 Définition des débits limitants pour le fonctionnement du dispositif de détection

Les antennes ont une distance de détection définie par leur design, leurs caractéristiques intrinsèques (taille de câble, longueur, forme) et leur environnement. Cette distance de détection diffère légèrement entre les 6 antennes qui composent le dispositif de détection RFID du seuil Metral (

Tableau 1).

Suivant le débit du Borne, la hauteur d'eau sur l'ouvrage est plus ou moins importante et donc les antennes remplissent entièrement ou partiellement leur rôle de détection dans la lame d'eau.

Afin de définir la gamme de débits pour laquelle les antennes sont fonctionnelles sur toute la lame d'eau, des tests de détection ont été réalisés avec des transpondeurs positionnés à la surface de l'eau de manière ponctuelle (lors de la visite hebdomadaire du site). Les trois tailles de transpondeurs utilisées pour les marquages ont été testées : 12 mm, 23 mm et 32 mm. Ces tests ont été effectués 37 fois entre le 10 avril 2017 et le 25 juin 2018 en essayant de couvrir un large panel de valeurs de débit.

La gamme de débits testée se situe entre 0,331 et 8,28 m<sup>3</sup>/s, en considérant que si tous les tags tests sont détectés à 0,331 m<sup>3</sup>/s, les débits inférieurs sont validés, puisque la lame d'eau est plus faible. Ceci représente 98,7% des débits observés dans le Borne durant la durée du suivi en considérant cette durée à partir de janvier 2017 (les premières antennes ayant été mises en fonctionnement fin décembre 2016) à avril 2019 (Figure 15).

Les débits aux dates où les tests ont été effectués sont illustrés sur la Figure 15 ci-dessous pour les années 2017 et 2018. Rappelons que plus le tag est petit, plus la distance de détection est restreinte. Ainsi, la présence ou l'absence de la donnée de chaque tag dans le fichier de téléchargement indique si le débit a permis ou non de le détecter.

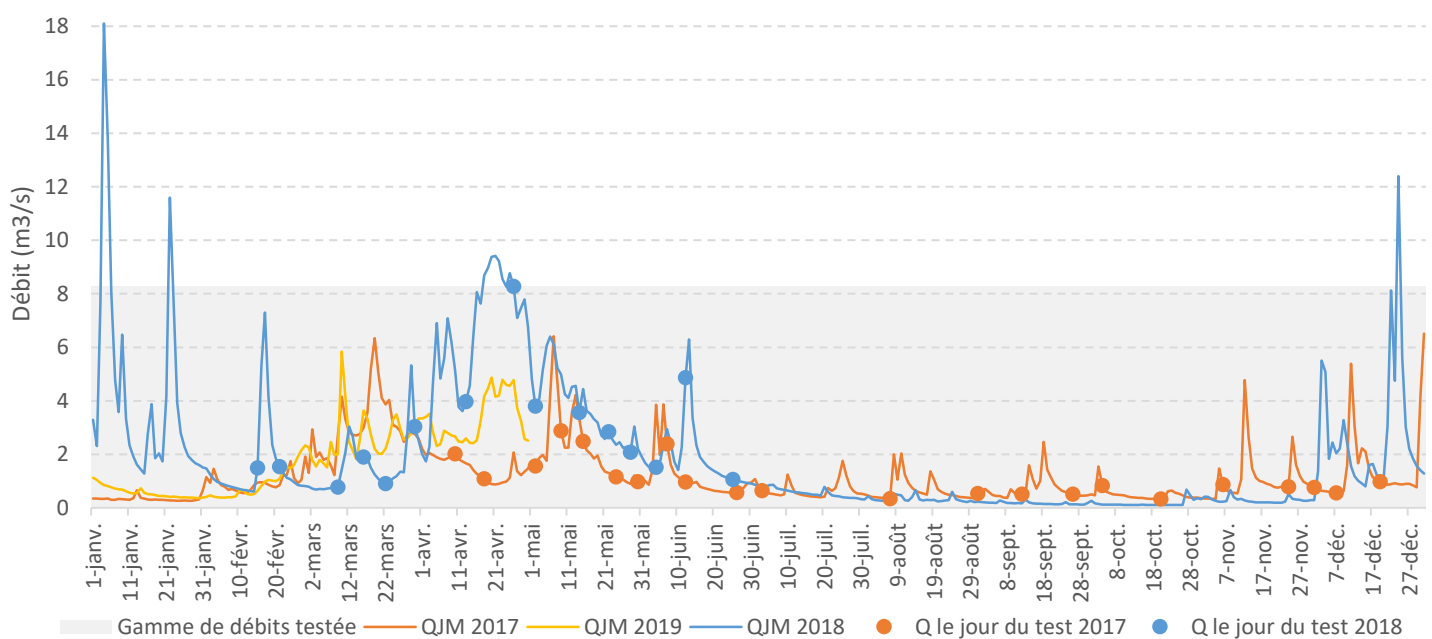


Figure 15 : Débit journalier du Borne enregistré à la station limnimétrique de la DREAL à Saint-Jean-de-Sixt de janvier 2017 à avril 2019 avec les jours des tests de détection (points) sur l'ensemble des années 2017 et 2018

Le Tableau 5 ci-dessous présente les débits minimum pour lesquels le tag test a été détecté sur chacune des 6 antennes et pour chaque taille de tag. Pour les antennes A1 et A2, les tests n'ont pas permis de déterminer un débit maximum de détection puisqu'ils ont été détectés au débit le plus haut testé, soit 8,3 m<sup>3</sup>/s. Ces tags ont donc pu être détectés dans 98% des débits du Borne entre janvier 2017 et avril 2019 sur les antennes 1 et 2 (Figure 16). Les tags de 12 mm sont détectés à un débit maximum de respectivement 3,8 et 2,5 m<sup>3</sup>/s sur ces antennes. En ce qui concerne l'antenne A3, elle obtient des détections pour des débits plus faibles : entre 2,5 et 2,9 m<sup>3</sup>/s pour les 3 tailles de tag, soient autour de 80% du temps ce qui reste tout de même satisfaisant. L'antenne A4 est détectée par les tags 23 et 32 mm à un débit de 4,9 m<sup>3</sup>/s, soit 94 % du temps, mais seulement 1,2 m<sup>3</sup>/s pour le tag 12 mm (environ 55%).



Enfin, les antennes A5 et A6 étant reliées sur le même lecteur, les mêmes résultats peuvent être observés. Aucun débit maximum n'a pu être déterminé pour le tag 12 mm, c'est-à-dire que même pour un débit de 0,331 m<sup>3</sup>/s, ce tag n'est pas détecté. Pour le tag 23 mm, le débit maximum est de 1 m<sup>3</sup>/s, soit une détection dans seulement 50% des débits. Le tag 32 mm obtient un résultat de 3,8 m<sup>3</sup>/s ce qui est plus satisfaisant.

Tableau 5: Valeurs maximales des débits enregistrées lors des tests de détection de surface pour les 3 tailles de transpondeurs sur chacun des 6 antennes du dispositif

Antenne		A1	A2	A3	A4	A5	A6
Taille de tag	12 mm	3,8	2,5	2,5	1,2	X	X
	23 mm	8,3	8,3	2,9	4,9	1	1
	32 mm	8,3	8,3	2,9	4,9	3,8	3,8

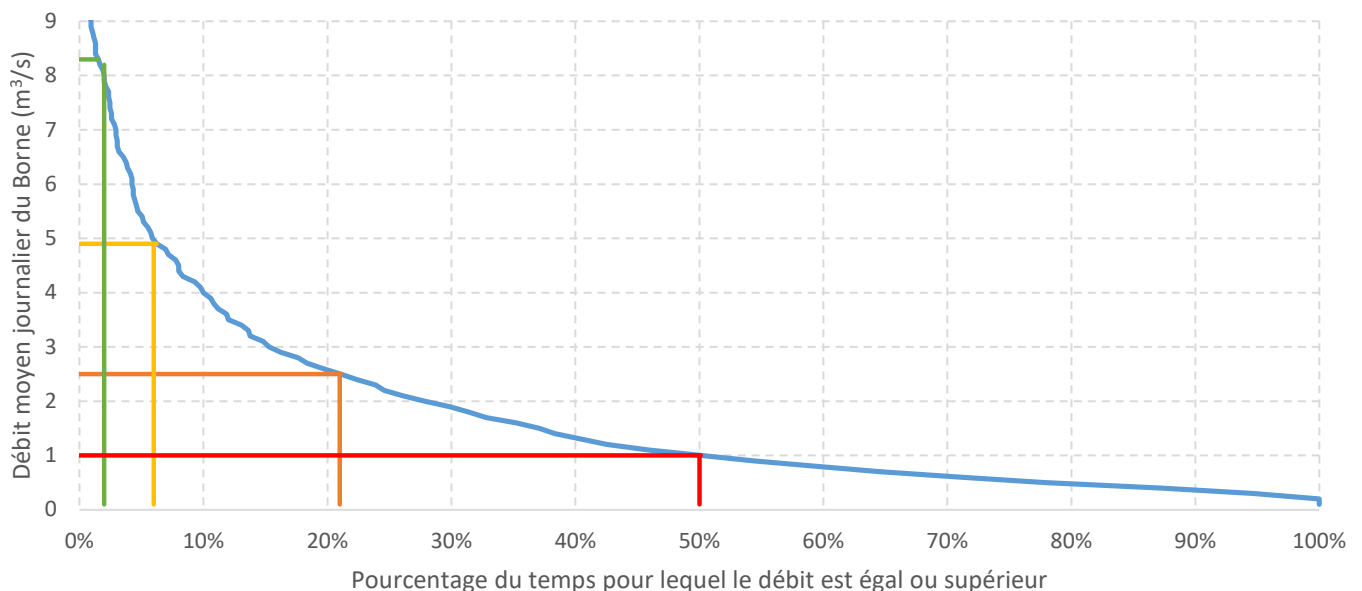


Figure 16: Courbe des débits instantanés classés durant la période de suivi et identification des valeurs de débit du Tableau 5 reliées au pourcentage de temps où ces dernières sont supérieures ou égales

En dépit de ces résultats, pour la plupart montrant des gammes de détections satisfaisantes, il est nécessaire de rappeler que les poissons tels que la truite fario ne nagent généralement pas en surface et des détections de poissons ont eu lieu à des valeurs de débit ne permettant pas la détection sur la hauteur maximale de la lame d'eau pour certaines antennes. Ceci est d'autant plus vrai que les espèces sont petites (par exemple les chabots tous marqués d'un tag de 12 mm, mais c'est une espèce benthique donc nageant sur le fond du lit).

Ainsi, le tableau ci-dessous montre que les antennes n'ont pas été inopérantes pour des débits plus élevés (Tableau 6).

Tableau 6 : Bilan des détections par antenne et par taille de transpondeurs associées aux débits minimum et maximum observés au cours du suivi RFID 2016-2019.  
Les cases rouges identifient un dépassement significatif du débit maximum de détection limite de surface défini précédemment.

Antennes	Nb de détections			Gamme de débits concernés (m <sup>3</sup> /s)					
				12 mm		23 mm		32 mm	
	12	23	32	min	max	min	max	min	max
A1	7237	10536	3719	0,235	11,6	0,201	6,41	0,275	7,3
A2	190597	874	2142	0,103	8,77	0,201	5,5	0,275	8,69
A3	27630	3806	6347	0,235	11,6	0,201	6,41	0,268	7,92
A4	168412	1751	21253	0,103	8,98	0,201	4,87	0,275	8,69
A5	12706	3163	6400	0,331	2,49	0,235	4,77	0,291	8,77
A6	80	14	130	0,349	6,51	0,349	5,08	0,36	7,64

## 2.6 Captures et marquage des poissons

### 2.6.1 Bilan des marquages réalisés entre 2016 et 2018

Le suivi du franchissement de l'aménagement du seuil Métral n'est pas le seul mis en œuvre dans le bassin versant de L'Arve. Deux autres suivis de même nature ont débuté également en 2016 : l'un sur le Giffre soit plus à l'amont sur le bassin de l'Arve et l'autre sur la Menoge, soit sur la partie aval de l'Arve. Des déplacements inter-affluents peuvent être observés, c'est pourquoi les résultats des marquages sont présentés dans un premier temps à l'échelle du bassin de l'Arve (Figure 17).

Depuis le début des suivis en 2016, 4243 poissons ont été marqués sur un linéaire total cumulé de 30.3 km en 32 jours de pêche électrique (figure 18, annexe 1).

A l'échelle du bassin versant de l'Arve, la majorité des individus marqués sont des truites (62 %) puis secondairement des barbeaux fluviatiles (16 %) et des chabots (11 %) (Figure 19). Les autres espèces (chevesne, blageon, spirilin, et ombre commun) représentent entre 1 % et 6 % de l'effectif total (Figure 19).

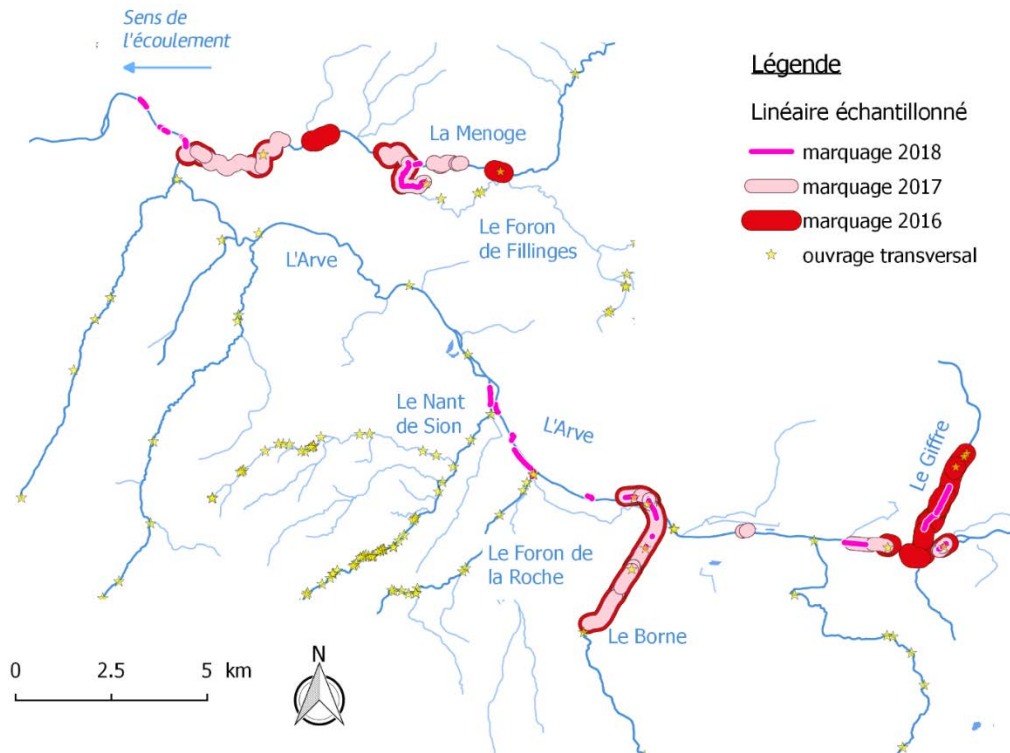


Figure 17 : Localisation des secteurs de cours d'eau prospectés entre 2016 et 2018 pour effectuer les marquages RFID pour les suivis d'ouvrages sur le bassin versant de l'Arve

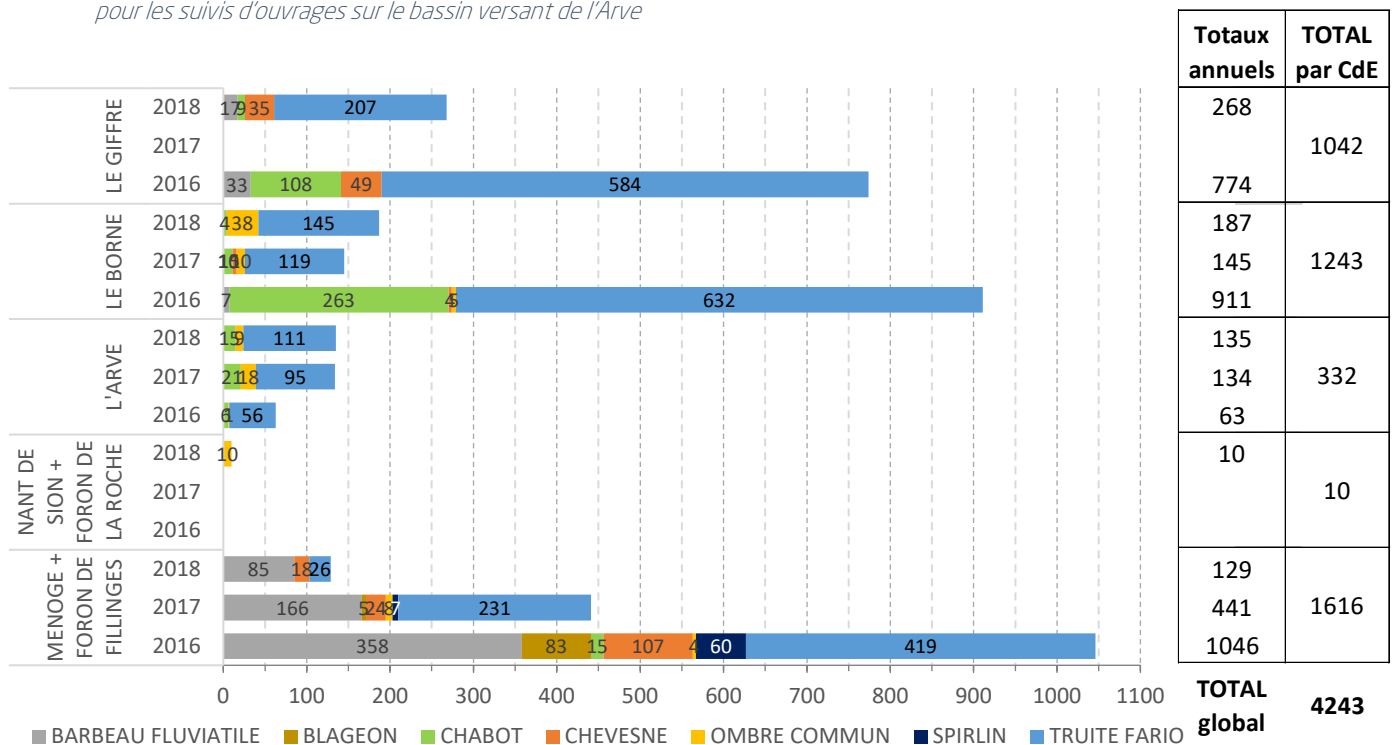
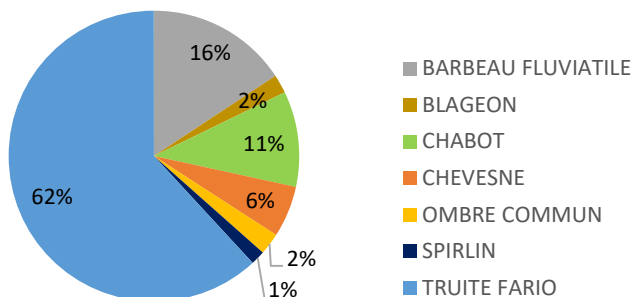


Figure 18 : Effectifs de poissons marqués par espèce répartis par cours d'eau et par année avec le total chiffré par cours d'eau à droite toutes espèces et années confondues



## Marquages interannuels

Total entre 2016 et 2018

Figure 19: Pourcentages interannuels que représente chaque espèce en fonction du nombre d'individus marqués pour l'une par rapport à l'effectif total global (de 2016 à 2018)

31 % des marquages (soit 1321 individus) ont été effectués sur des linéaires « proches » de l'ouvrage du seuil Métral. Ils concernent le Borne, l'Arve en aval de la confluence Arve-Borne jusqu'à la confluence avec le Foron de la Roche, le Foron de la Roche et le Nant de Sion.

Lorsqu'on fait un focus sur ce sous-échantillon (Figure 20), la répartition spécifique diffère un peu en ce qui concerne les cyprinidés, puisque le Borne (majorité des marquages) est composé essentiellement de truites et de chabots (92% des individus marqués sont des truites (71%) ou des chabots (21%)). Ainsi, les chevesnes et barbeaux représentent à eux deux seulement 2% des marquages. L'ombre commun occupe quant à lui une part plus importante des marquages puisque 6% des individus marqués dans le cadre de ce suivi étaient des ombres contre seulement 2% sur le total des 3 suivis.

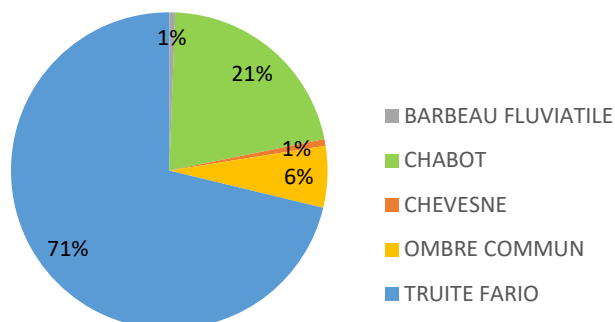


Figure 20: Pourcentages interannuels que représente chaque espèce en fonction du nombre d'individus marqués pour l'une par rapport à l'effectif total global (de 2016 à 2018)

Sur le plan purement technique, la Figure 21 fait état du nombre de poissons marqués par taille de transpondeur. Cette information croisée avec la « performance » des lecteurs présentée au 2.5.2 permet de définir la part des individus éventuellement non détectés lors des périodes de hautes eaux notamment.

Dans le Borne, un peu plus de la moitié des individus ont été marqués avec des PIT-tags de 12 mm soit les plus petits (55%). Les 23 et 32 mm représentent 45 % des effectifs marqués. Ces deux tailles de PIT-tags sont détectées à minima dans 80 % du temps sur toute la hauteur de la lame d'eau. Les poissons munis d'un petit PIT-tag de 12 mm appartiennent pour 40% à des chabots (évoluant au fond du lit). Ces derniers sont donc a priori détectés par les antennes posées au fond du lit.

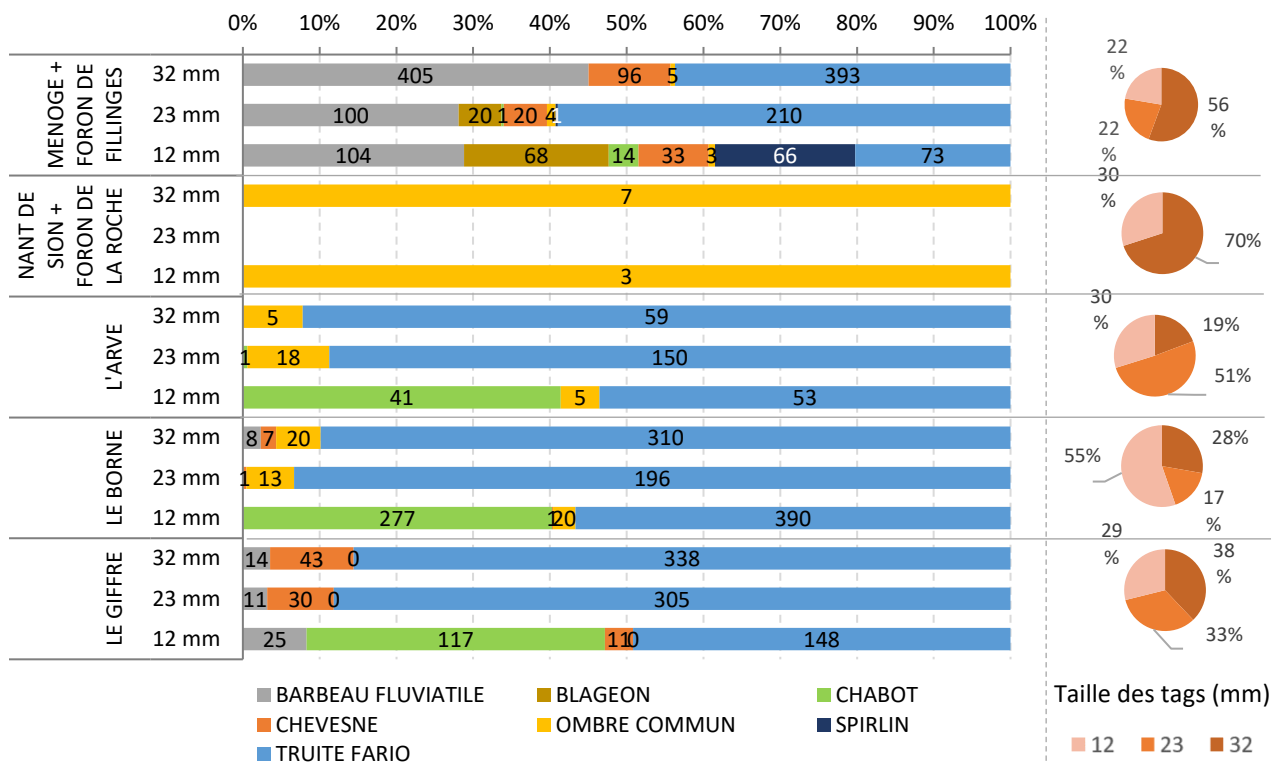


Figure 21 : A gauche, répartition du nombre d'individus marqués (entre 2016 et 2018) dans le cadre des suivis RFID du bassin versant de l'Arve répartis par cours d'eau, par taille de transpondeur ainsi que par espèce et à droite, la part d'individus marqués par taille de transpondeur, toutes espèces confondues par cours d'eau.

## 2.6.2 Caractérisation de l'échantillon marqué pour le suivi du seuil Métral

Le Tableau 7 fait état des caractéristiques morphologiques des poissons marqués dans le cadre de ce suivi.

Tableau 7 : Longueurs totales moyennes et médianes par espèce au sein de l'échantillon marqué dans le cadre du suivi de l'ouvrage du seuil Métral

	Truite Fario	Chabot	Ombre Commun	Chevesne	Barbeau Fluvial	
Longueur totale (mm)	moyenne (±écart-type)	183 (±92)	104 (±14)	224 (±99)	302 (±94)	591 (±26)
	médiane	157	102	218	349	598
	mini; maxi	75; 540	81; 144	106; 530	145; 398	533; 616
Biomasse (g)	moyenne (±écart-type)	124 (±214)	15 (±7)	165 (±240)	413 (±274)	2067 (±411)
	médiane	40	13	88	502	2081
	mini; maxi	5; 1622	5; 43	10; 1267	35; 741	1166; 2592

En plus des caractéristiques morphologiques (longueur totale et masse), l'âge des individus de truites via la scalimétrie (lecture des écailles) est important à connaître pour approcher la dynamique de leurs populations. Il n'a été effectué qu'une lecture des écailles des individus de truites ayant été détectées au dispositif RFID.

L'âge des autres individus a été extrapolé par proportion, en fonction de leur longueur totale (figure 22).

D'après la littérature (BAGLINIERE & MAISSE, 1991 ; CHAMPIGNEULLE *et al*, 1988 et 2003), l'âge de la maturité sexuelle, pour les salmonidés, serait de 2 ans. Ainsi, on évalue 61% d'individus juvéniles ou

immatures (les 0+ et 1+) et 39% d'individus pouvant potentiellement participer à la reproduction. Ce taux est à recalculer par rapport à la date de détection des poissons, puisque plusieurs années ont pu s'écouler entre la date de marquage et celle de détection.

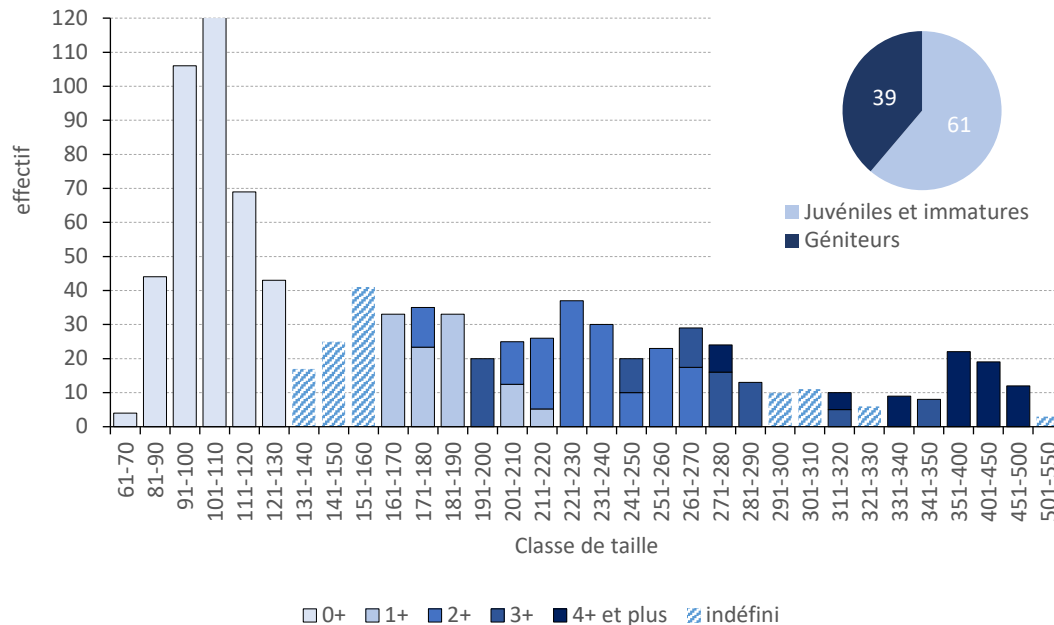


Figure 22 : Structure de l'échantillon de truite fario marqué

Pour les autres espèces, les âges ne sont pas connus, la Figure 23 présente seulement les effectifs en fonction de leur taille. Les chabots sont représentés par des tailles allant de 70 mm jusqu'à 140 mm. On peut penser qu'une majorité de l'échantillon concerne des géniteurs au regard de la taille importante de certains individus (supérieur à 100 mm). En ce qui concerne l'ombre commun, le peu d'effectifs est représenté par une large gamme de taille allant de 100 mm jusqu'à 500 mm, ce qui peut donner une bonne variété d'âge au sein de l'échantillon. Les cyprinidés (chevesnes et barbeaux) sont quant à eux exclusivement représentés par des individus de grande taille allant de 350 mm à 650 mm.

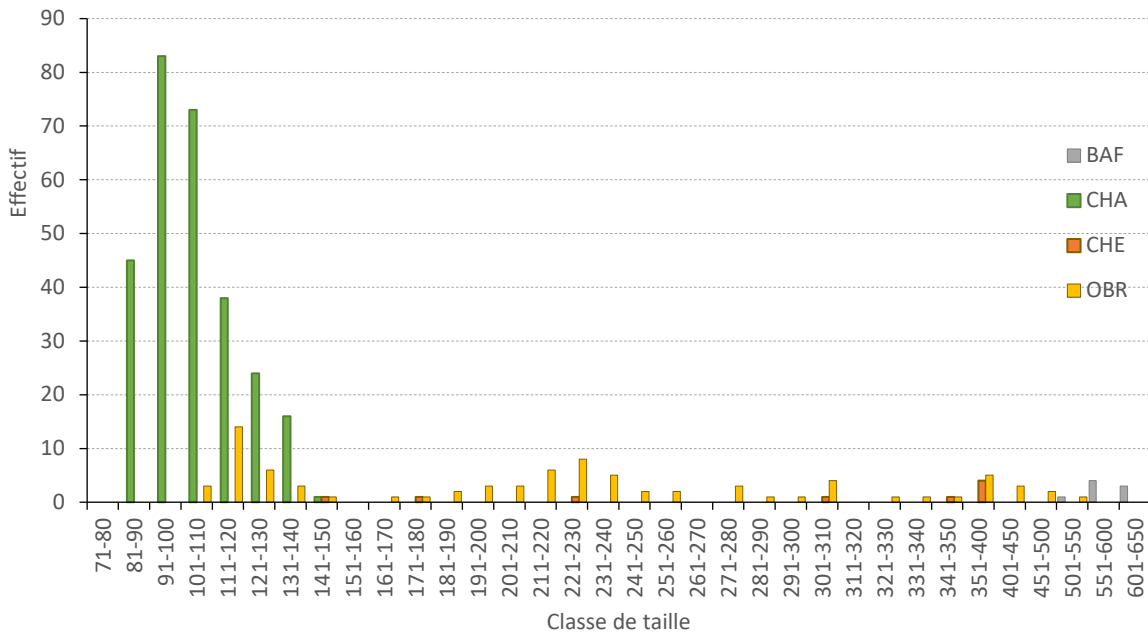


Figure 23 : Structure de l'échantillon de barbeau fluviatile, chabot, chevesne et ombre commun marqué

## 2.7 Détections au dispositif fixe et franchissement de l'ouvrage du seuil Métral

### 2.7.1 Effectifs, origines et caractéristiques des poissons détectés au niveau du dispositif

Parmi ces 4243 individus marqués, mais plus spécifiquement les 1321 du Borne et rayon proche, seulement 156 individus d'entre eux ont été détectés au moins une fois sur au moins une antenne pendant la durée du suivi de décembre 2016 à avril 2019 (Tableau 8).

On retrouve une grande majorité de truite fario (espèce-cible de cette étude et également espèce principale sur le Borne) avec 136 individus de cette espèce détectés, soient 87%. Puis, derrière la truite se trouve le chabot avec 18 individus détectés, soient 12%, ce qui représente une part assez importante des détections du fait que le chabot est une espèce qui se déplace assez peu sur le court-terme. Enfin, les 2% restant correspondent à un individu de chevesne et un d'ombre commun. On déplore l'absence de barbeau fluviatile, mais comme cela a été évoqué au paragraphe 2.3, on ne s'attend pas forcément à la présence de cette espèce ni même à celle du chevesne puisque l'ouvrage est en-dehors de leur aire de répartition sur le bassin de l'Arve. Il en va de même pour l'ombre commun, qui n'était jusqu'à peu même pas recensé par les pêches électriques dans le Borne et ce pour plusieurs raisons :

- l'ombre commun est une espèce difficilement capturable par pêche électrique ;
- si la rivière concernée n'est fréquentée par l'ombre commun qu'en période de fraie, il est possible que les pêches électriques d'inventaires aient été réalisées hors période de migration et donc que les ombres aient été absents ;

- le Borne n'accueillait auparavant (avant 2015) que très peu d'ombres communs (d'après les dire des pêcheurs, il y en avait de manière anecdotique). La crue de mai 2015 a eu pour conséquence d'engraver le seuil de la STEP de Bonneville (sur l'Arve en aval de la confluence avec le Borne) qui a été « lisser » donc plus facilement franchissable. C'est depuis cet évènement que des ombres ont pu être capturés en pêche électrique et les pêcheurs amateurs nous confirment que cette espèce est de plus en plus présente dans leurs captures ;
- la zone sur laquelle les ombres ont été marqués correspond probablement à sa limite amont de répartition.

Ainsi, la répartition de l'ombre commun dans le Borne n'est pas encore totalement connue.

La quasi-totalité de l'effectif contacté au dispositif RFID fixe provient du Borne ou de l'Arve à proximité immédiate (individus marqués dans l'Arve pour ce suivi en particulier). Quatre individus de truites fario et un de chevesne originaires du Giffre ont été enregistrés en 2017 et 2018, parcourant ainsi entre 12 et 14,3 km depuis leur point de marquage (Figure 24). On note aussi des connexions en sens inverse entre le Giffre et le Borne, dont on parlera dans un paragraphe suivant.

Tableau 8 : Décompte par espèce des individus détectés au niveau du dispositif RFID de l'ouvrage du seuil Métrol pour chaque année du suivi (de 2016 à 2019) et au global

INDIV. DETECTES		Effectifs totaux annuels								Eff. Total			Pourcentages annuels								
Espèce	Rivière d'origine	2016 (1 mois)		2017		2018		2019 (4 mois)		interrannuel Pois. Différents			2016 (%)		2017 (%)		2018 (%)		2019 (%)		
		par CdE	tot.	par CdE	tot.	par CdE	tot.	par CdE	tot.	par CdE	tot.	equiv. en %	par CdE	tot.	par CdE	tot.	par CdE	tot.	par CdE	tot.	
CHABOT	BORNE	0	0	17	17	1	1	0	0	18	18	12%	0%	0%	13%	13%	2%	2%	0%	0%	
CHEVESNE	GIFFRE	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1%	0%	0%	0%	0%	2%	2%	0%	0%	
OMBRE COMMUN	ARVE	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1%	0%	0%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	
TRUITE FARIO	BORNE	2	2	105	111	40	44	8	8	127	136	87%	100%	100%	81%	86%	87%	96%	100%	100%	
	ARVE	0		2		3		0		5			0%		2%		7%		0%		
	GIFFRE	0		4		1		0		4			0%		3%		2%		0%		
Total		2		129		46		8		156			100%			100%		100%		100%	



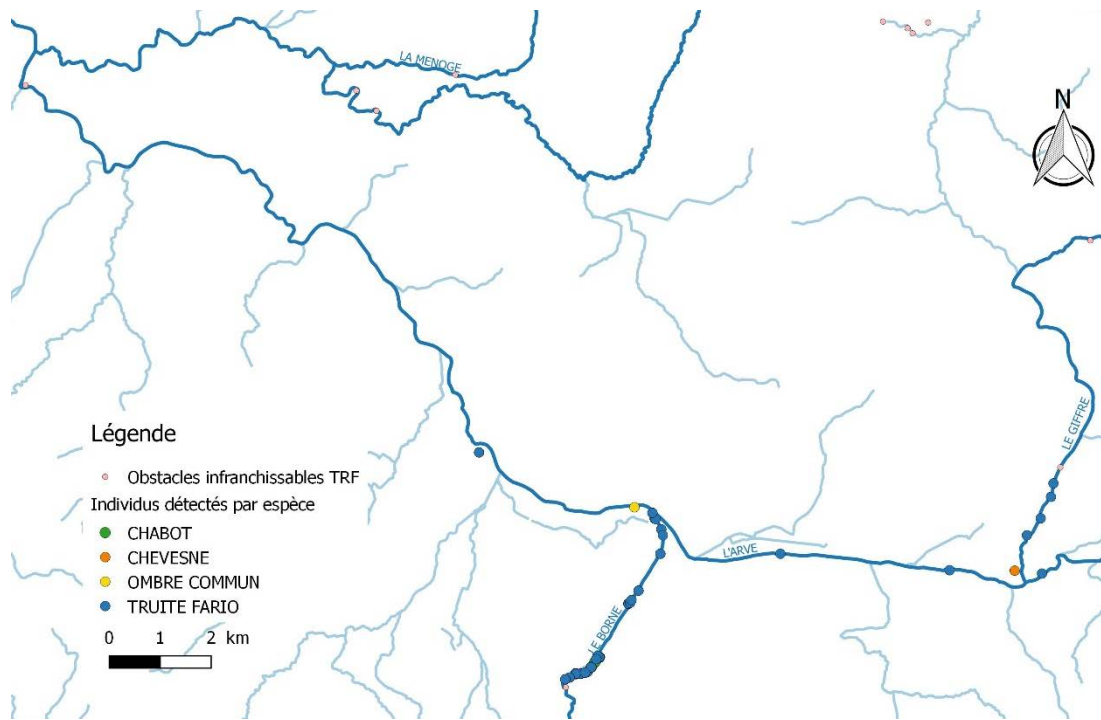


Figure 24 : Carte de localisation du lieu de marquage des poissons détectés sur le dispositif RFID du seuil Métral

Au niveau de la dynamique de détection, on remarque que la 1<sup>ère</sup> année de suivi (2017 car 2016 ne comprend qu'un mois de suivi) est celle qui enregistre le plus d'individus, puis les effectifs décroissent sur la seconde année jusqu'à la fin notamment pour la truite fario (les autres espèces étant déjà trop peu nombreuses à avoir été détectées). Ceci peut être expliqué principalement par le fait que l'effort de marquage est, comme le nombre de détections, également décroissant à mesure que les années de suivi avancent tandis que la perte d'individus (mortalité naturelle ou capture par la pêche amateur) est croissante.

Le Tableau 9 montre justement cette décroissance du taux de recontacts en fonction de l'effort de marquage annuel. Le taux de recontacts est majoritaire pour les truites fario dans ce cours d'eau (14 %) alors qu'il n'est que de 6 % pour le chabot et 1% pour l'ombre commun. Il convient de ne pas tenir compte dans ce pourcentage du seul chevesne détecté par rapport à l'effectif marqué puisque ce dernier provient du Giffre. Le taux de recontacts total, toutes espèces confondues, est de 12%. A titre de comparaison, on obtient un taux de 9% sur la Menoge dans le cadre du suivi du Pont de Fillinges et 20 % sur le Giffre dans le cadre du suivi du Pont SNCF.

Tableau 9 : Décompte par espèce des individus détectés au niveau du dispositif RFID de l'ouvrage du seuil Métral pour chaque année du suivi en fonction de leur année de marquage

Espèce	Année de marquage	Effectif marqué	Effectif annuel détecté (a)				% détectés VS marqués
			2016	2017	2018	2019	
CHABOT	2016	263	0	17	1	0	6%
	2017	13		0	0	0	
	2018	4			0	0	
OMBRE COMMUN	2016	5	0	0	0	0	1%
	2017	22		1	0	0	
	2018	56			0	0	
TRUITE FARIO	2014		0	2	0	0	
	2016	632	1 (2)	97 (106)	16 (32)	3 (4)	14%
	2017	137		3	3	0	
	2018	172			8	3 (4)	
TOTAL		1321*	1	120	28	6	12%

(a) effectif sans doublon interrannuel (effectif avec doublon interrannuel)

\* Effectif total d'individus marqués en comptant les barbeaux

Un focus sur le nombre de poissons marqués dans le Borne mais détectés dans le cadre d'un autre suivi (ici le suivi du Pont SNCF à Marignier sur le Giffre) a été fait puisqu'environ 1% des poissons marqués sur le Borne a été détecté dans le Giffre (Tableau 10). Cela représente un barbeau fluviatile et 15 truites fario, parfois détectés plusieurs années de suite. Aucun individu marqué dans le Borne n'a été détecté sur la Menoge.

Tableau 10 : Décompte par espèce des individus détectés au niveau du dispositif RFID de l'ouvrage du Pont SNCF de Marignier sur le Giffre mais marqués dans le Borne pour chaque année du suivi en fonction de leur année de marquage.

Détection sur le Giffre d'individus marqués dans le Borne							
Espèce	Année de marquage	Effectif marqué	Effectif annuel détecté (a)				% détectés VS marqués
			2016	2017	2018	2019	
BARBEAU FLUVIATILE	2016	7	0	1	0 (1)	0 (1)	
	2017	1		0	0	0	
	2018	0			0	0	
TRUITE FARIO	2016	632	3	8	0	0	2%
	2017	137		1	0	0	
	2018	172			3	0 (1)	
TOTAL		1321*	3	10	3	0	1%

(a) effectif sans doublon interrannuel (effectif avec doublon interrannuel)

\* Effectif total d'individus marqués en comptant les barbeaux

Contre toute attente, les géniteurs (de truites fario) constituent une légère minorité (43%) des individus détectés (Figure 25). Cela est dû en grande partie au fait qu'une majorité d'individus encore immatures aient été marqués. Il conviendra toutefois de regarder le nombre d'année entre la date de marquage et celles de détection, en effet, une grande part des individus considérés comme juvéniles/immatures au moment du marquage ont pu devenir des individus participant à la reproduction à leurs dates de détection. La part importante d'individus immatures se présentant au dispositif peut être expliquée par le fait que certains de ces individus ont été marqués à proximité de l'ouvrage et n'ont pas une volonté de migration pour la reproduction mais simplement des déplacements territoriaux n'ayant pas de lien direct avec la reproduction.

Lorsqu'on regarde les classes de tailles des individus détectés par rapport à celles de l'effectif marqué, il apparaît une structure assez semblable avec une proportion d'immatures et de géniteurs très fidèle à l'échantillon marqué.

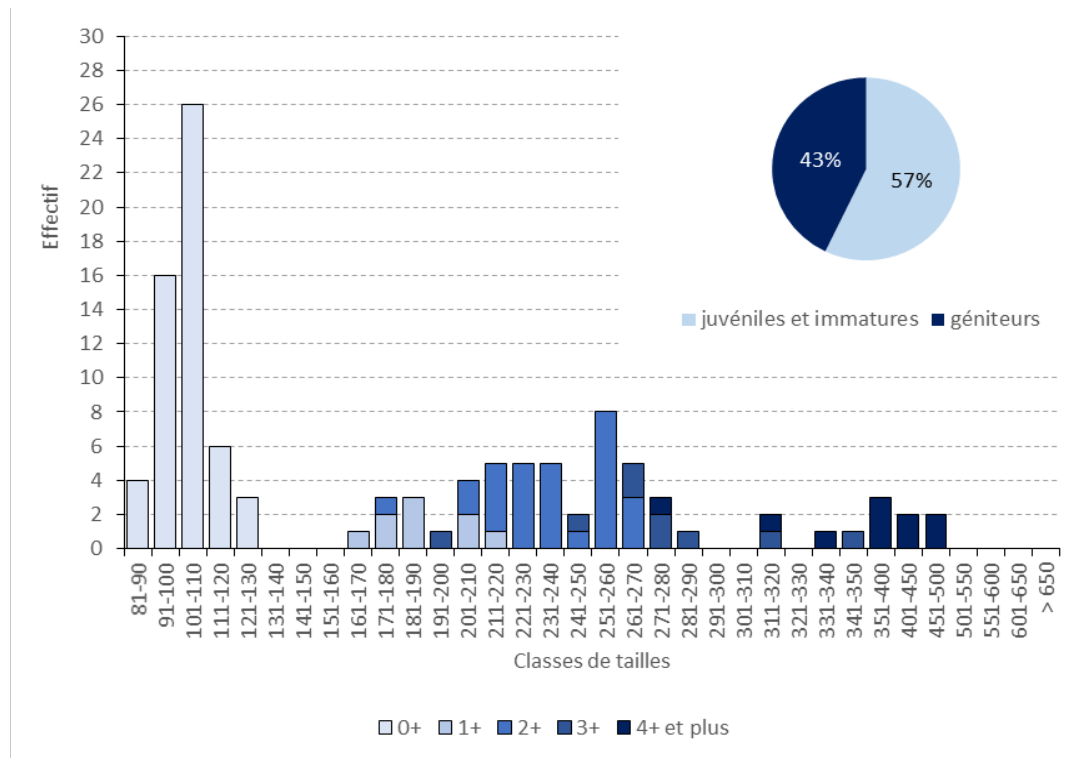


Figure 25 : Histogrammes de taille des individus détectés au niveau du dispositif RFID du seuil Métral et part d'individus géniteurs et de juvéniles de truites fario.

## 2.7.2 Définition des groupes d'individus en fonction de leur comportement de déplacement et de leur évolution dans l'ouvrage

Le but premier de ce suivi est d'évaluer le franchissement de l'aménagement par les espèces présentes dans le Borne. Cette efficacité de franchissement se décompose, selon plusieurs auteurs (par exemple BUNT *et al.*, 1999 ; AARESTRUP *et al.*, 2003), en plusieurs paramètres de franchissement qui sont liées à différents comportements de déplacements.

Le premier paramètre est « l'attractivité » qui prend en compte la probabilité d'un individu à détecter l'entrée de l'ouvrage et à y pénétrer. Pour une rampe enrochée comme celle du seuil Métral, cette attractivité correspond à l'arrivée des poissons sur l'ouvrage. Le second paramètre est « la franchissabilité » qui est définie par la probabilité qu'a un individu à parcourir l'ensemble de l'aménagement et en sortir par l'amont.

L'efficacité de franchissement correspond au produit de ces deux probabilités. L'estimation de ces paramètres de franchissement, en particulier l'attractivité, ne peut reposer sur l'ensemble des individus marqués d'un PIT-tag puisqu'une fraction de l'échantillon marqué ne cherche pas nécessairement à franchir l'ouvrage et n'a donc pas un comportement « migrant ». Aussi, l'effectif sur lequel reposent ces estimations de franchissement est le nombre d'individus marqués par un PIT-tag corrigé par la part de « migrants » au sein des populations étudiées. Les pourcentages d'individus dits migrants au sein

des populations étudiées a été défini par télémétrie radio lors d'une précédente étude sur le bassin de l'Arve (voir CHASSERIEAU *et al.*, 2015) et sont redonnés dans le Tableau 11 avec les effectifs « corrigés » de poissons marqués d'un PIT-tag.

Afin de définir l'efficacité de franchissement de l'ouvrage du seuil Métral, les individus marqués ont été classés en 3 groupes différents en fonction de leurs comportements de déplacements (Figure 26).

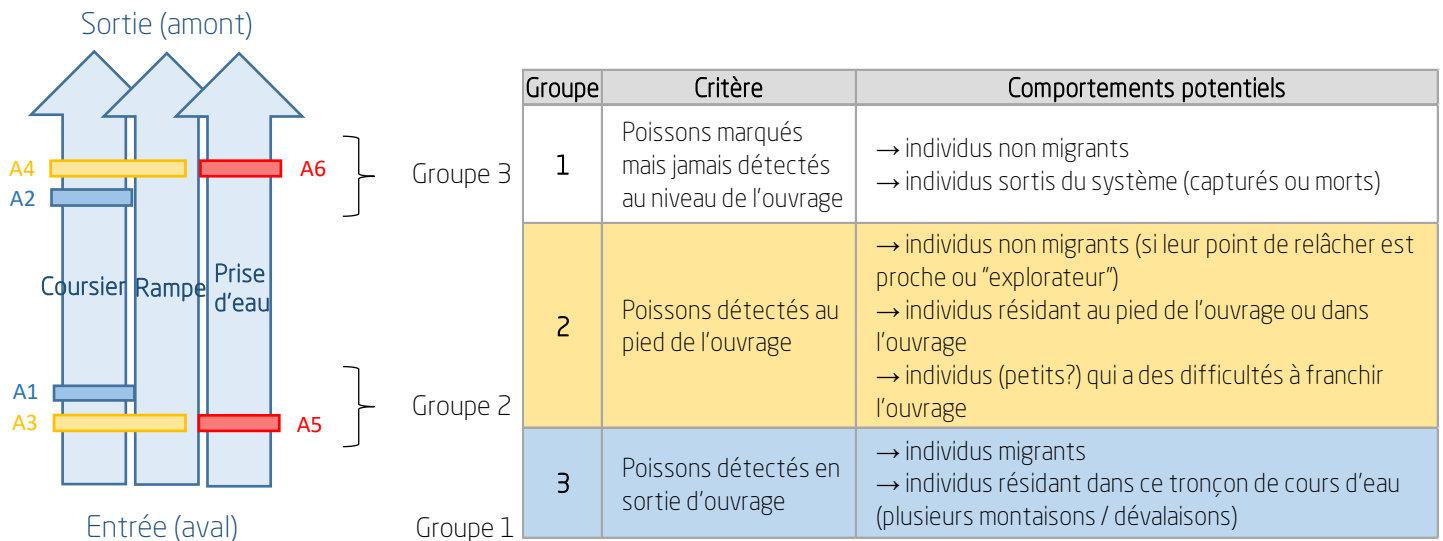


Figure 26 : Définition des différents groupes d'individus en fonction de leurs comportements et de leurs détections aux antennes du dispositif du seuil Métral

Ainsi sur les 1321 individus marqués dans le cadre du suivi du franchissement du seuil Métral sur le Borne, 132 sont estimés migrants à partir des taux observés par CHASSERIEAU *et al.* (2015) (Tableau 11). Ce nombre ne comprend que les truites, puisque le chabot n'est pas une espèce migrante et que les taux n'ont jamais été calculés pour cette dernière ; les barbeaux fluviatiles, chevesne et ombre commun sont en limite de leur aire de répartition et il ne peut être considéré ici une volonté d'aller vers l'amont dans le Borne.

Parmi les individus de truites fario et de chabots marqués, une grande majorité (entre 86 % et 94 %) n'a pas été détecté. Néanmoins, la truite fario est principalement considérée comme sédentaire sur cette partie du Borne suite à l'étude de CHASSERIEAU *et al.* (2015), avec un taux de migration de seulement 14% (contre 57% sur l'ensemble du bassin de l'Arve). Le paramètre d'attractivité est donc très fort (103%) pour cette espèce. Ce taux dépasse 100% puisqu'il y a eu plus de poissons détectés en entrée et en sortie d'ouvrage que d'individus supposés migrants. Ce taux d'attractivité est à relativiser puisque une grande partie de ces truites a été marquée à proximité (moins de 2 km) à l'aval du seuil. Leur détection ne signifie pas forcément une migration.

Les individus ayant totalement franchi le dispositif sont au nombre de 104 (95 truites fario ; 8 chabots et 1 ombre commun mais ce dernier n'a été détecté qu'à l'amont du dispositif). Pour les truites, cela signifie qu'il y a eu une plus grande part d'individus qui a franchi que d'individus seulement détectés en pied d'ouvrage. Pour le chabot, c'est 8 individus qui franchissent contre 10 en pied d'ouvrage. On obtient donc pour la truite un très bon taux de franchissabilité (70%) et un peu moindre pour le chabot (44%) mais tout de même assez bon pour une espèce considérée comme non mobile. L'efficacité de franchissement est de 72% pour la truite fario (le pourcentage de 3% pour le chabot ne tient pas

compte de taux de migration et n'a donc ici que très peu d'intérêt, seul le taux de franchissabilité peut être discuté pour cette espèce).

Tableau 11 : Effectifs de poissons marqués, « supposés migrants » et détectés classés par groupe de comportement de déplacement donnant accès aux paramètres d'attractivité et de franchissabilité

		Taux de migrants dans la population du Borne (cf. Chasserieu <i>et al.</i> , 2015)	14%	Espèce non considérée comme migrante			
		Groupe	Critère	TRUITE FARIO	CHABOT	TRUITE FARIO	CHABOT
Poissons marqués	0	Poissons marqués dans le cadre du suivi du Seuil Métral	941	280			
	0'	Poissons marqués dans le cadre du suivi du Seuil Métral et supposés migrants	132	X			
Poissons détectés	1	Poissons marqués mais jamais détectés au niveau de l'ouvrage	805	262	86%	94%	
	2	Poissons détectés au pied de l'ouvrage	41	10	4,4%	4%	
	3	Poissons détectés en sortie d'ouvrage	95	8	10%	3%	
Attractivité			103%	6%			
Franchissabilité			70%	44%			
<b>Efficacité de franchissement</b>			<b>72%</b>	<b>3%</b>			

### 2.7.3 Franchissements des individus détectés aux antennes

D'après la Figure 27 (a), la majorité des individus qui ont franchi l'ouvrage ne l'ont franchi qu'une seule fois (environ 70% des truites et 87% des chabots). Chez la truite fario, 21% ont franchi une seconde fois et 9% trois voir plus de quatre fois.

La disposition des antennes a permis de connaître le passage emprunté pour la plupart des individus (Figure 27 (b)). Ainsi, on recense entre 73% (pour la truite fario) et 80% (pour le chabot) de franchissements réalisés dans le coursier en enrochements rive droite. Ensuite, pour le reste des chabots (20%), l'unique ombre commun et 11% des truites, le lieu de passage n'a pas pu être déterminé car les individus ont été détectés une 1<sup>ère</sup> fois sur les antennes amont. Plusieurs possibilités peuvent être en cause :

- Les poissons ont franchi avant que les antennes fonctionnent ;
- Plusieurs individus étaient sur une antenne en même temps (lorsque plusieurs PIT-tag passent en même temps sur une antenne, le système de détection ne les discerne pas. On parle alors de collision) ;
- Les poissons sont passés lors d'un dysfonctionnement d'une antenne aval (par exemple l'antenne A3 qui a fortement dysfonctionné) et/ou forts débits.

Le passage appelé « rampe » concerne le passage du milieu, censé être le plus attractif et le plus « franchissable » des passages pour la truite et le chabot. Seulement 5% des truites qui ont franchi ont emprunté ce passage. On peut tout de même considérer qu'une partie des passages « inconnus » aient été réalisés dans cette rampe puisque dans la plupart des cas, les poissons étaient détectés sur l'antenne A4 en première détection (antenne amont rampe) et que la période coïncide souvent avec le dysfonctionnement de l'antenne A3 (antenne aval rampe). Néanmoins, même dans ce cas de figure,

les franchissements dans la rampe sont loin d'être une majorité. De plus, 11% des truites ont aussi emprunté le « passage secondaire ». Ce dernier est en fait une petite rampe qui rejoint la grande du milieu (rampe principale) et qui permet aux poissons qui se présentent au pied du seuil sur l'antenne A5 (rive gauche - infranchissable) d'avoir une chance de reprendre la rampe par un petit passage.

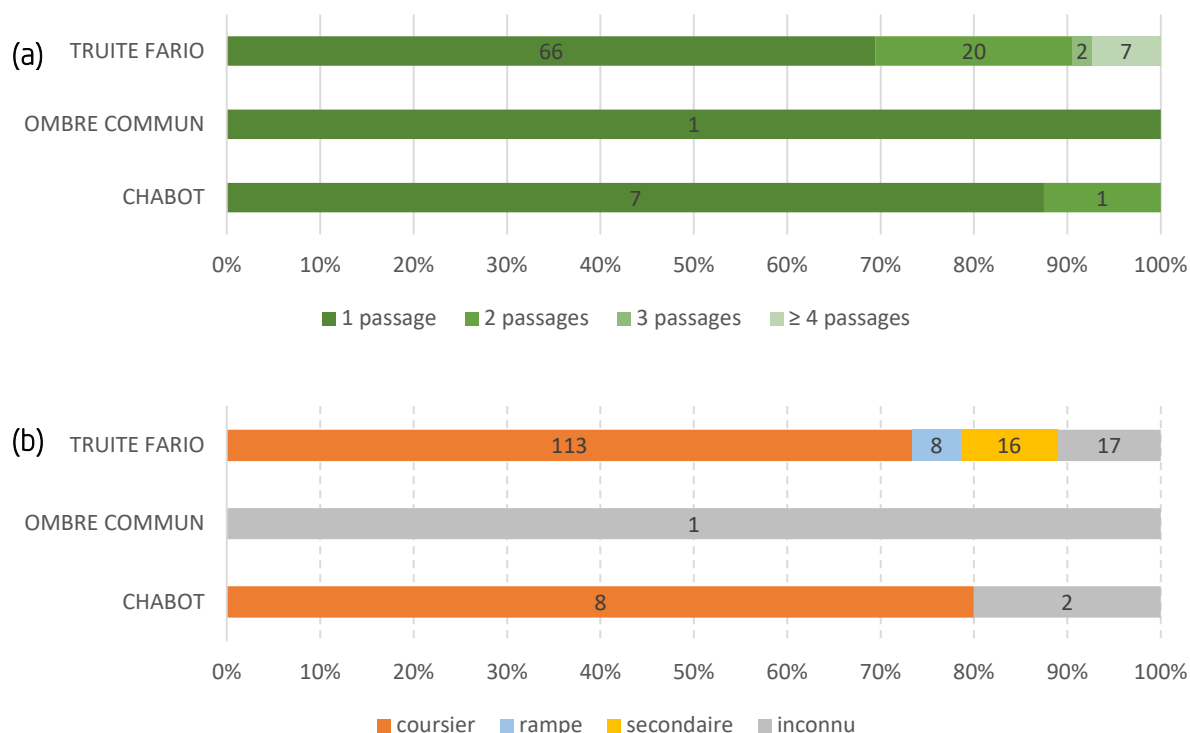


Figure 27: (a) Nombre de franchissements de l'ouvrage du seuil Métral effectués par espèce et (b) Nombre de franchissements en fonction du lieu de passage dans le dispositif de franchissement

Quand on regarde l'âge des individus lorsqu'ils ont franchi (figure 28), on peut noter une majorité de géniteurs (âge supérieur ou égal à 2+), soit 58%. Les 42% restants sont des immatures de 1+ ; on ne retrouve aucun 0+.

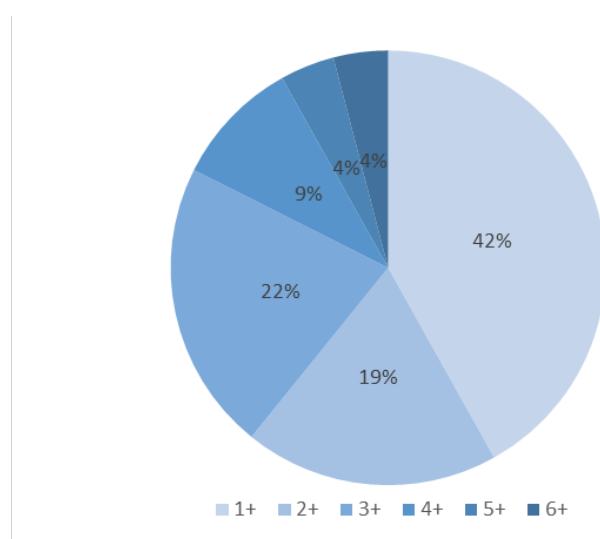


Figure 28: Age des individus à la date de leur franchissement

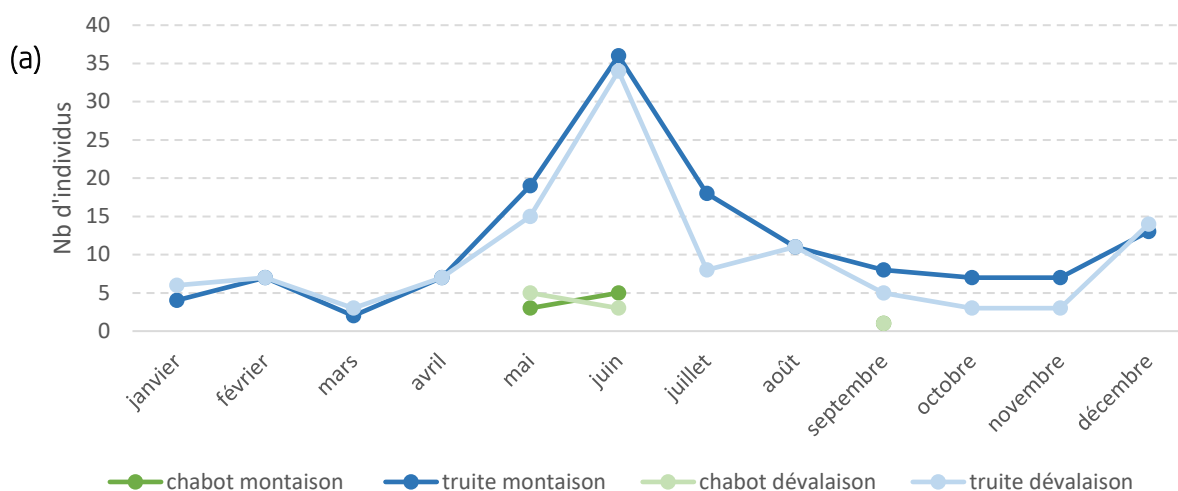
### 2.7.3.1 Période de déplacements et de franchissement des espèces

Les déplacements des individus ne sont pas homogènes selon la période de l'année. La période de fraie de la truite fario s'étend d'octobre à janvier (BAGLINIERE & MAISSE, 1991), on pourrait donc s'attendre à un pic de franchissements à cette période correspondant à la migration des truites adultes matures pour la reproduction. Cependant, d'après la Figure 29 (a), le pic de franchissement (aussi bien dans le sens de la montaison que de la dévalaison) est atteint au mois de juin. On pourrait penser à une migration pré-estivale afin de rechercher des eaux plus fraîches avant une forte montée des températures. Le Borne aval est caractérisé par un secteur fortement anthropisé, linéarisé avec une lame d'eau assez faible et homogène. En été, la température peut monter fortement lorsque les débits sont faibles. Pourtant, on observe quasi-autant de dévalaison ; cette dernière suivant le même pic. Autrement dit, les individus qui montent à cette période ne restent pas.

Un plus petit pic de montaison est atteint en décembre. Les dévalaisons suivent la même tendance que les montaisons.

Pour les chabots, le peu de franchissements enregistrés l'ont tous été entre mai et juin (et une dévalaison en septembre).

Si l'on regarde d'un peu plus près les périodes de franchissements de la truite selon son stade de maturité (Figure 29 (b)), il apparaît que le pic de montaison du mois de juin et en fait principalement détenu par des individus immatures. La courbe des géniteurs est un peu plus lisse, c'est-à-dire qu'on ne peut pas mettre en évidence de « période » de franchissement. On note une très légère hausse de l'activité en décembre (période de reproduction) par rapport au reste de l'année.



(b)

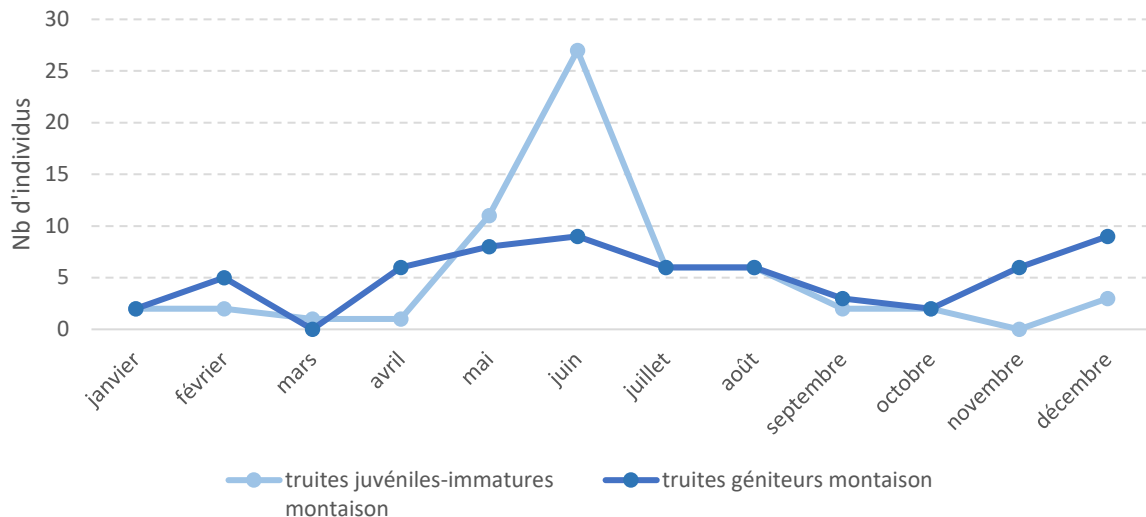


Figure 29 : (a) Graphique de la saisonnalité des franchissements sur une année, en fonction du stade de maturité des individus de truites fario et du sens de franchissement (montaison ou dévalaison) et (b) focus sur les périodes de montaison des individus de truites fario juvéniles-immatures et géniteurs

### 2.7.3.2 Temps de passage dans l'ouvrage mis en relation avec les variables abiotiques

L'aménagement du seuil Métral permet de garantir le franchissement aisé de plusieurs espèces de poissons, notamment la truite fario. N'ayant pas consisté en un effacement total de l'ouvrage, il s'agit d'adoucir la pente de l'ouvrage initial, mais celle-ci reste supérieure au profil en long du Borne. Si dans les paragraphes précédents, il a été mis en évidence de bons résultats de franchissements, il n'en reste pas moins que ceux-ci doivent pouvoir se réaliser en un temps court et ne pas occasionner de « retard de migration ». Ainsi, le ans les interstices des blocs.

Tableau 12 présente les temps de franchissements et de dévalaisons pour la truite fario uniquement. Il apparaît que 50% des franchissements et 45% des dévalaisons aient été réalisés en moins de 2h (quelque soit le lieu de passage). Le record de vitesse en montaison est de 1,4 min, effectuée dans le coursier. C'est aussi dans ce lieu de passage que le maximum est atteint soient 246 jours. Dans la rampe, il a fallu presque 1h à la truite la plus rapide pour la franchir totalement, et 5,5h dans le passage secondaire. Les temps de franchissements de plus de 2j ne signifient pas obligatoirement une difficulté de franchissement mais peuvent être considérés comme un temps de « séjour » dans l'ouvrage puisque chaque individu entrant n'a pas forcément l'intention de gagner l'amont. Les temps rapides nous montrent que le franchissement semble aisé pour les truites fario et d'autant plus lorsqu'elles empruntent le coursier.

La dévalaison de l'ouvrage s'effectue classiquement plus rapidement que sa montaison. Cependant, 35% des dévalaisons ont duré plus de 2j. Là encore, il peut s'agir d'individus n'ayant pas volonté de repartir vers l'aval. Les truites fario peuvent se servir de l'ouvrage pour réaliser des fonctions vitales telles que se nourrir et se cacher dans les interstices des blocs.

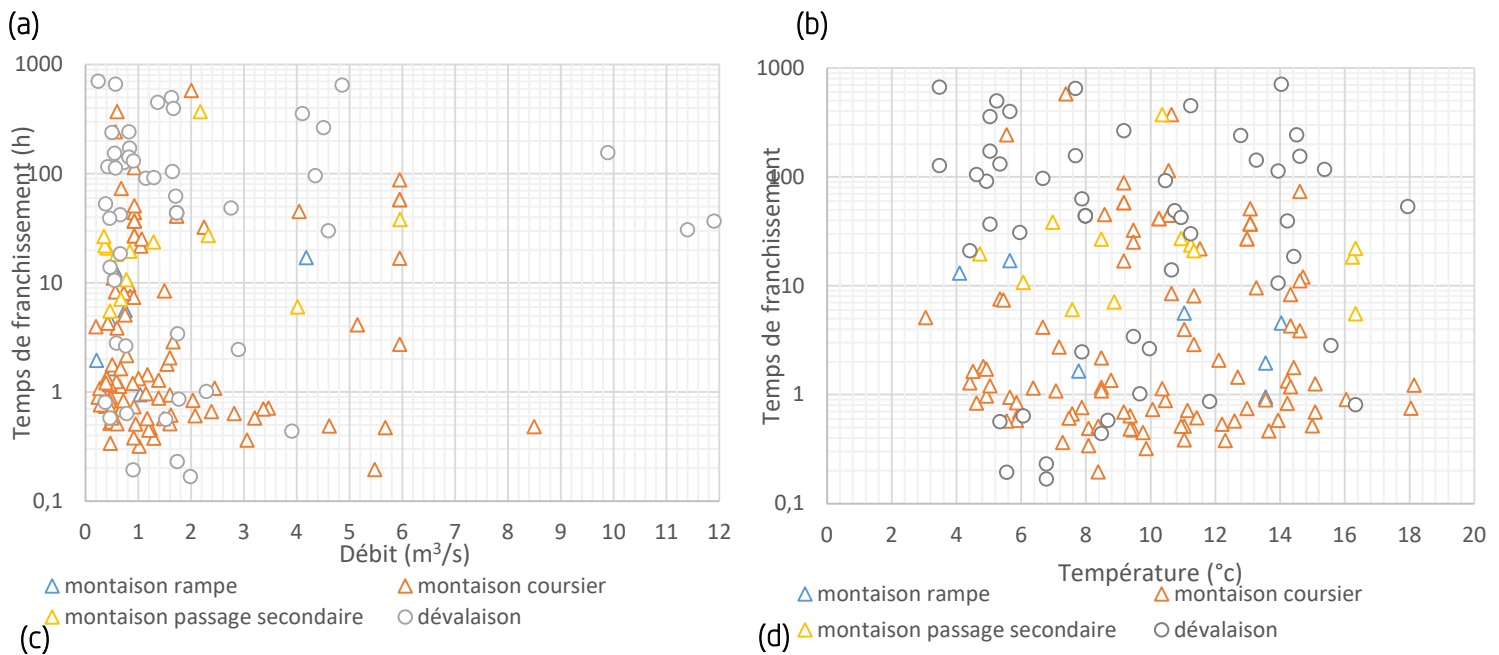
Tableau 12 : Temps de franchissement et de dévalaison minima, maxima et moyens par gamme de durées observées pour la truite fario au cours du suivi



Lieu de franchissement	Temps de franchissement		Temps moyen de franchissement ( $\pm$ écart type ; nb concernés)			
	MINI (min)	MAXI (jrs)	<2h ou 120 min (min)	entre 2h et 12h (h)	entre 12h et 2jrs (h)	> 2 jrs (jrs)
Coursier	1,4	246,0	46,1 ( $\pm$ 26,1 ; n=62)	5,7 ( $\pm$ 2,9 ; n=16)	32,9 ( $\pm$ 10,2 ; n=16)	33,5 ( $\pm$ 72,2 ; n=11)
Rampe	57,1	137,7	90,8 ( $\pm$ 30,6 ; n=3)	5,1 ( $\pm$ 0,7 ; n=2)	15,0 ( $\pm$ 2,8 ; n=2)	137,7 (NA ; n=1)
Passage secondaire	331,8 (=5,5h)	234,8	NA	7,4 ( $\pm$ 2,3 ; n=4)	24,6 ( $\pm$ 6,4 ; n=8)	106,7 ( $\pm$ 94,9 ; n=4)
Nb de franchmt concernés (total =129)			50%	17%	20%	12%

	Temps de dévalaison		Temps moyen de dévalaison ( $\pm$ écart type ; nb concernés)			
	MINI (min)	MAXI (jrs)	<2h (h:min:sec)	entre 2h et 12h	entre 12h et 2jrs	> 2 jrs (jrs)
Dévalaison	0,01	418,8	9,3 ( $\pm$ 16,3 ; n=40)	4,4 ( $\pm$ 3,5 ; n=5)	34,0 ( $\pm$ 11,0 ; n=12)	50,4 ( $\pm$ 105,7 ; n=31)
Nb de franchmt concernés (total = 137)			45%	6%	14%	35%

Ces temps de franchissements sont à mettre en lien avec certains paramètres abiotiques tels que le débit, la température, la période de l'année ainsi que celle de la journée (Figure 30). En effet, les temps de passages sont susceptibles de varier lorsque ces paramètres varient. Par exemple, un faible débit peut occasionner un temps de franchissement plus long à cause d'une hauteur d'eau insuffisante. Ces graphiques, pour lesquels on ne peut observer de corrélation évidente, sont assortis du test de Spearman (Figure 31 et Annexe 2).



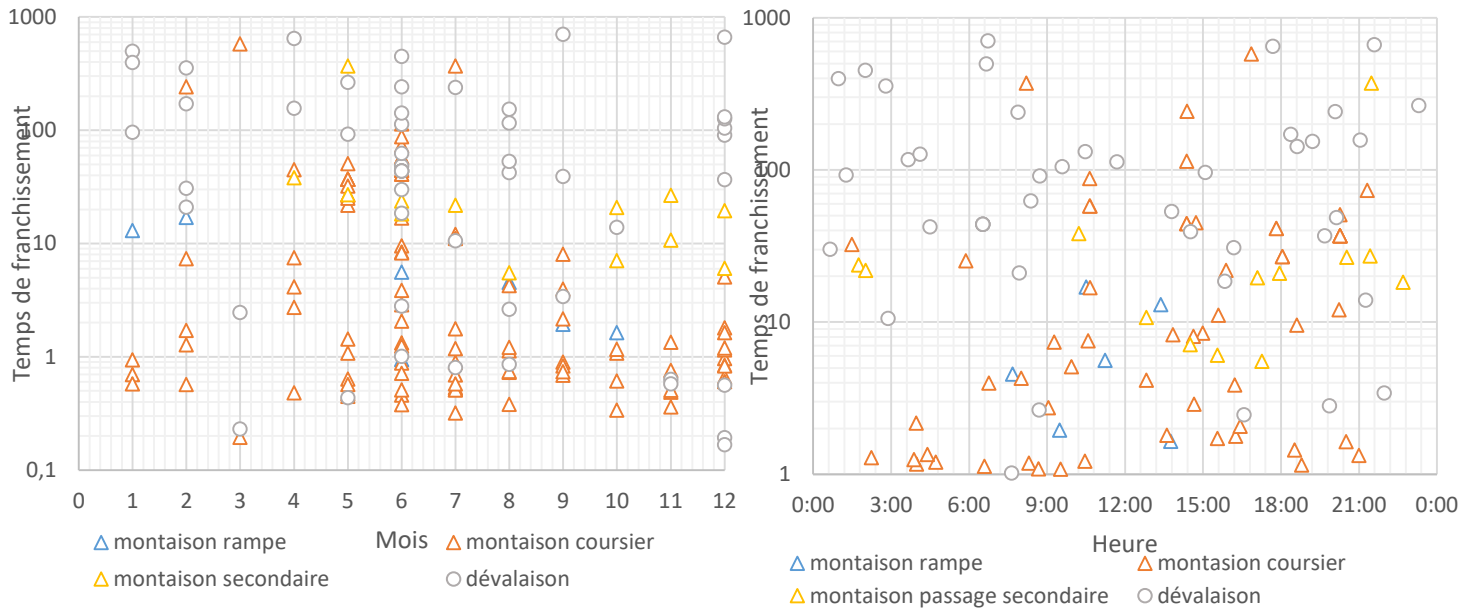
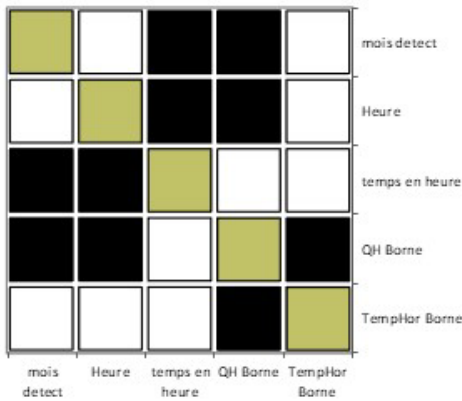


Figure 30 : Graphiques reliant des temps de franchissements des truites selon leur lieu et sens de passage en fonction des variables abiotiques : (a) débit horaire, (b) température horaire, (c) mois de franchissement et (d) heure de franchissement.

En regardant la colonne « temps en heure » qui correspond au temps de franchissement en montaison des truites fario, on remarque que ce paramètre est corrélé avec le mois de franchissement et l'heure. Par contre, il n'y a pas de corrélation entre ces paramètres pour la dévalaison.

Corrélation TRF montaison

Cartes des corrélations :



p-values (Spearman) :

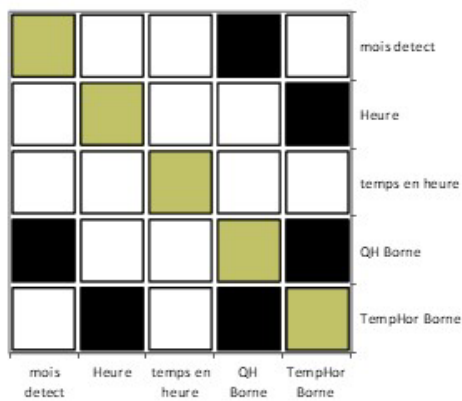
Variables	mois detect	Heure	temps en heure	QH Borne	TempHor Borne
mois detect	0	0,146	0,020	< 0,0001	0,912
Heure	0,146	0	0,039	0,016	0,096
temps en heure	0,020	0,039	0	0,826	0,525
QH Borne	< 0,0001	0,016	0,826	0	< 0,0001
TempHor	0,912	0,096	0,525	< 0,0001	0

Coefficients de détermination (Spearman) :

Variables	mois detect	Heure	temps en heure	QH Borne	TempHor Borne
mois detect	1	0,017	0,042	0,217	0,000
Heure	0,017	1	0,033	0,046	0,022
temps en heure	0,042	0,033	1	0,000	0,003
QH Borne	0,217	0,046	0,000	1	0,220
TempHor	0,000	0,022	0,003	0,220	1

Corrélation TRF dévalaison

Cartes des corrélations :



p-values (Spearman) :

Variables	mois detect	Heure	temps en heure	QH Borne	TempHor Borne
mois detect	0	0,579	0,270	< 0,0001	0,467
Heure	0,579	0	0,094	0,405	0,015
temps en heure	0,270	0,094	0	0,103	0,489
QH Borne	< 0,0001	0,405	0,103	0	< 0,0001
TempHor Borne	0,467	0,015	0,489	< 0,0001	0

Coefficients de détermination (Spearman) :

Variables	mois detect	Heure	temps en heure	QH Borne	TempHor Borne
mois detect	1	0,004	0,014	0,225	0,006
Heure	0,004	1	0,032	0,008	0,067
temps en heure	0,014	0,032	1	0,031	0,006
QH Borne	0,225	0,008	0,031	1	0,272
TempHor Borne	0,006	0,067	0,006	0,272	1

Figure 31 : Résultats des tests de corrélation de Spearman pour les truites fario en montaison (en haut) et en dévalaison (en bas). A gauche, les tableaux avec les p-values et les coefficients de corrélation. Les valeurs en gras sont significatives. A droite, la carte des corrélations qui traduisent les tableaux de gauche. Les cases noires indiquent les corrélations significatives.

Sans tenir compte des temps de franchissements, on peut observer plusieurs tendances :

- Les truites fario ne semblent pas être stoppées par les forts ni les faibles débits (Figure 32). En effet, on constate des franchissements jusqu'à plus de 12 m<sup>3</sup>/s, mais également des franchissements en-dessous de l'étiage quinquennal (0,440 m<sup>3</sup>/s). Les déplacements se sont concentrés majoritairement en mai-juin, et secondairement en décembre. Ces 2 périodes sur le Borne sont concernées par des débits plutôt élevés, correspondant à la fin des hautes eaux printanières pour la période de mai-juin et aux hautes eaux hivernales pour décembre. On notera aussi que durant la période « sèche », de juillet à octobre, les déplacements ont été réalisés lorsque les débits étaient les plus élevés. Ainsi, même si les truites semblent être en capacité de franchir à faible débit, il apparaît toutefois qu'elles choisissent de se déplacer à un débit plus élevé lorsque cela est possible.
- Aucun franchissement n'a été réalisé à une température inférieure à 3°C. Les truites sont actives aussi bien le jour que la nuit dans une gamme de températures comprises entre 3°C et 18°C (

- Figure 33). Cette même observation a été relevée sur les 2 autres suivis RFID du bassin de l'Arve : dans la Menoge (CHASSERIEAU, 2020) et dans le Giffre (CHASSERIEAU, 2020). Cette plage de températures correspond à la gamme de « confort » (7°C et 17°C) définie par plusieurs auteurs (ELLIOTT, 1994 ; JOHNSON & KELSCH, 1998).

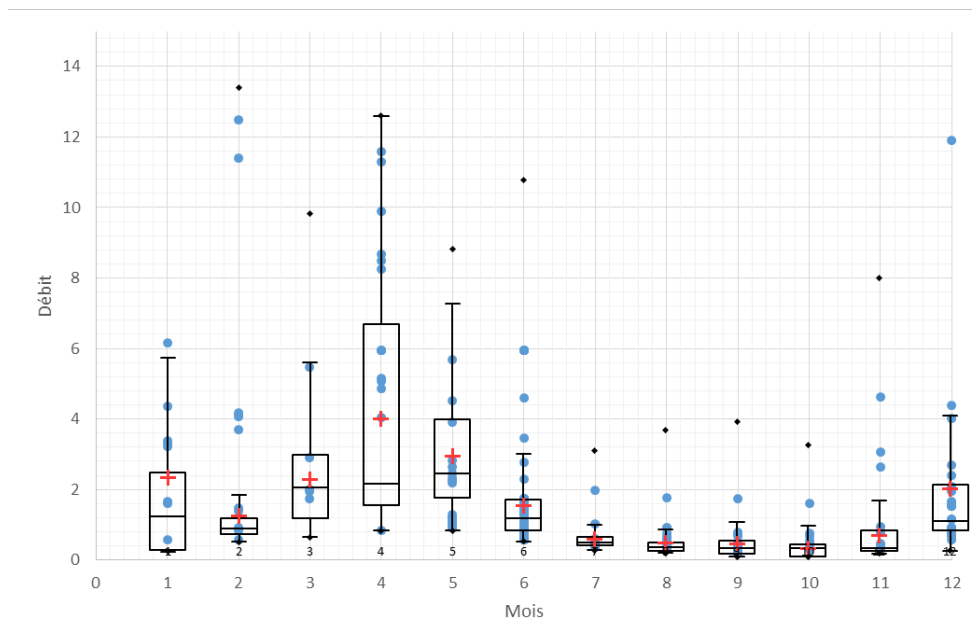


Figure 32 : Box-plots mensuels des débits horaires du Borne mis en relation avec les débits enregistrés au moment des traversées de l'ouvrage (en montaison et en dévalaison) par les truites fario

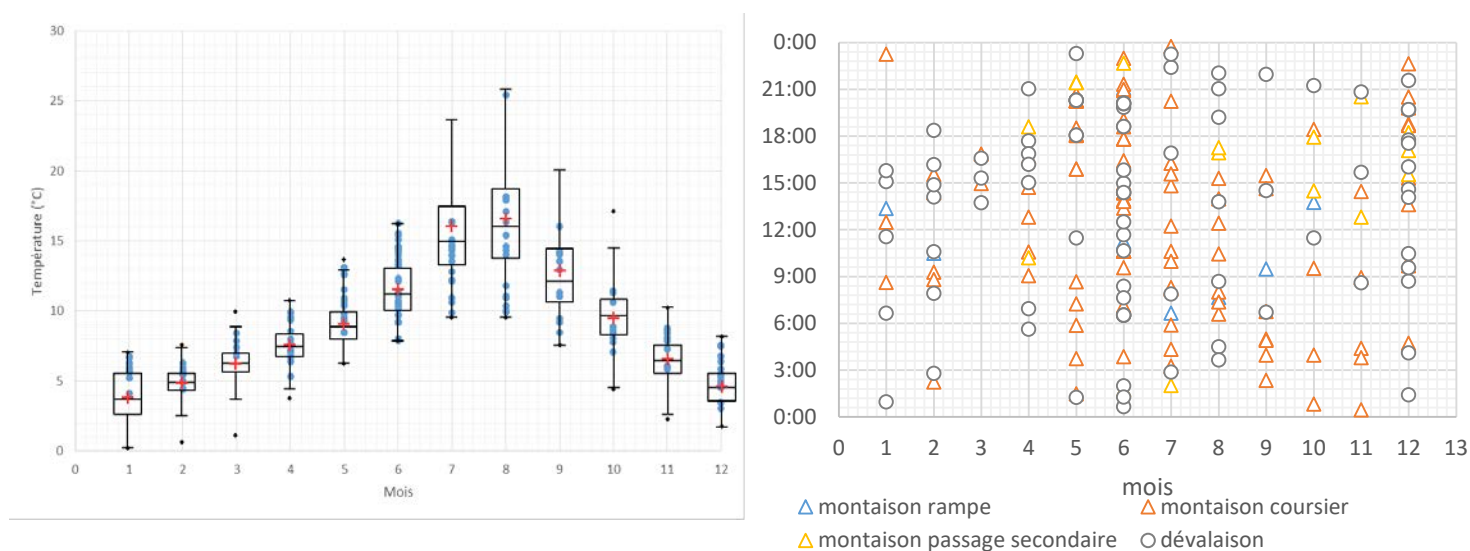


Figure 33 : (a) Box-plots mensuels des températures horaires du Borne mis en relation avec les températures enregistrées au moment des traversées de l'ouvrage (en montaison et en dévalaison) par les truites fario; (b) Heure en fonction des mois des traversées de l'ouvrage

## 2.8 Autres données sur les déplacements d'individus

### 2.8.1 Recaptures par la pêche (amateur ou scientifique)

Les recaptures d'individus marqués lors des opérations de pêche électrique ou par l'intermédiaire de captures à la canne faites par les pêcheurs amateurs, fournissent des informations précieuses et complémentaires à celles fournies par le dispositif de détection RFID. Elles donnent accès à des données de déplacements en d'autres points du bassin versant et précisent les aires de vie des individus (mobilité ou sédentarité).

Dans le cadre de cette étude (entre 2016 et 2019), 49 recaptures (Figure 34) ont été obtenues et concernent trois espèces : la truite fario principalement (n=41) (elle totalise même 100% des captures par la pêche à la canne puisque c'est l'espèce recherchée par les pêcheurs sur ce secteur) ; le chabot (n=5) et le barbeau fluviatile (n=3). Cela représente 3,7% des poissons marqués dans le cadre de ce suivi. Ces individus ont été capturés lors de pêches électriques de sondage (n = 36) et via les pêcheurs amateurs (n = 13). Toutes les pêches à la canne ont été réalisées dans le Borne, la plupart du temps à l'aval de l'ouvrage (entre la confluence de l'Arve et l'ouvrage) mais pour plusieurs d'entre elles (nombre imprécis en raison de l'imprécision des données fournies) les captures se sont faites à l'amont du seuil (dans la zone de gorge quelques mètres au-dessus du seuil). En tout cas, 2 individus ont bien été détectés sur l'ouvrage en montaison.

Il est également à noter une capture à la canne d'une truite fario marquée dans le Giffre en amont de l'ouvrage. Celle-ci a bien été détectée par le dispositif RFID lors de son franchissement de l'ouvrage.

Les recaptures par pêche électrique sont fréquentes lorsque les prospections concernent le même secteur, d'autant plus si elles sont faites peu de temps après. L'effort de marquage a été élevé en 2016 et 2017, la majorité des recaptures a été faite la même année que le marquage soit peu de temps après et à proximité de la zone de marquage (bien souvent ne dépassant pas quelques dizaines de mètres).

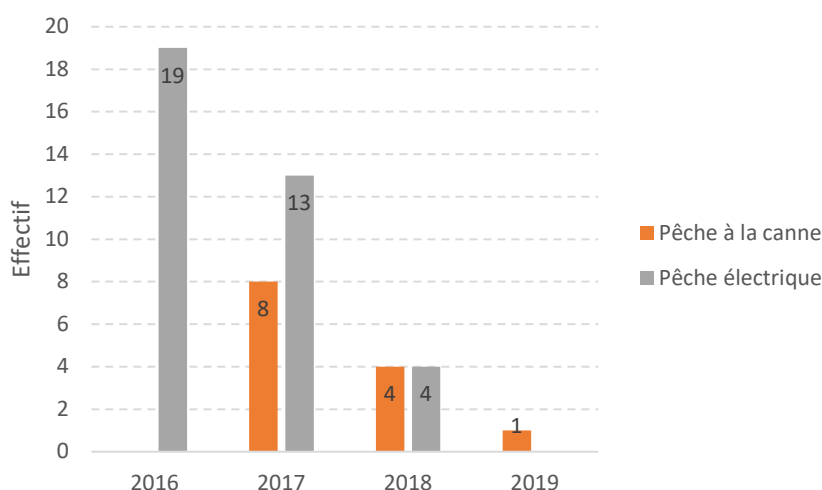


Figure 34 : Nombre d'individus de truites fario marqués qui ont été recapturés par la suite soit par des pêches électriques (relâchés vivants) ou par pêche à la canne (non relâché, individus morts)

## 2.8.2 Données historiques des inventaires piscicoles entre l'aval et l'amont de l'ouvrage

Les données d'inventaires piscicoles sont présentées en Figure 36 pour la truite fario (localisation en Figure 35). Il s'agit des 2 stations encadrant l'ouvrage : l'une à l'aval (quelques centaines de mètres sans obstacle entre la station et l'ouvrage Métral) et l'une à l'amont (située en aval immédiat du barrage de Beffay, soit environ 4 km à l'amont). On note une hausse des densités et biomasses sur la station Minoterie Métral, classant la station dans le « standard départemental bas » pour les 2 paramètres (Figure 36). La station aval barrage Beffay est inventoriée par le bureau d'étude SAGE Environnement dans le cadre du suivi de la dévalaison mis en place au barrage Beffay. Ces seuls résultats ne peuvent permettre de mettre en évidence une amélioration « avant-après » dans le franchissement du seuil Métral. Ce que l'on peut tirer de ces données, c'est que la population de ce secteur du Borne fonctionne naturellement, c'est-à-dire sans alevinage et que les données ponctuelles doivent s'affranchir des fluctuations interannuelles. La Figure 37 met en évidence, sur une station située bien à l'amont du barrage de Beffay mais pêchée chaque année depuis 2011, les fluctuations interannuelles en lien avec la qualité de la reproduction. La reproduction exceptionnelle de 2009 à 2011 suivie d'une crue exceptionnelle en 2015 explique la forte baisse de la biomasse. Depuis 2015, la biomasse est plutôt stable et la population de truite fario se reconstruit lentement tout en restant à un niveau conforme au standard départemental. Il est ainsi normal d'obtenir des résultats plus élevés sur la période 2013-2014 que sur celle de 2018-2019.

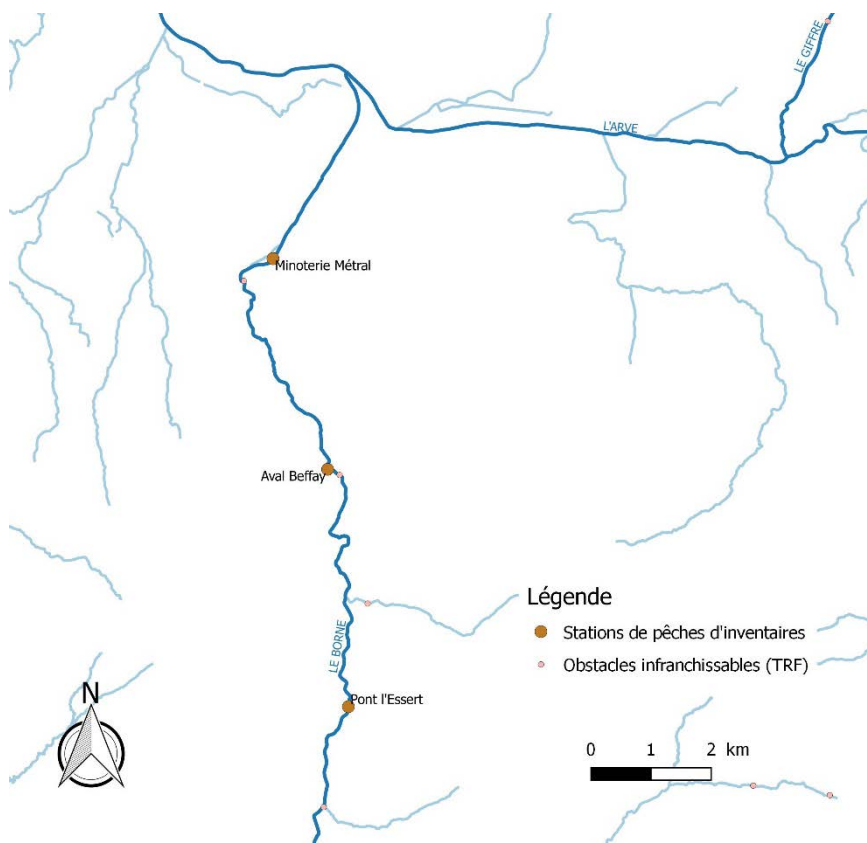


Figure 35 : Localisation des pêches électriques d'inventaires

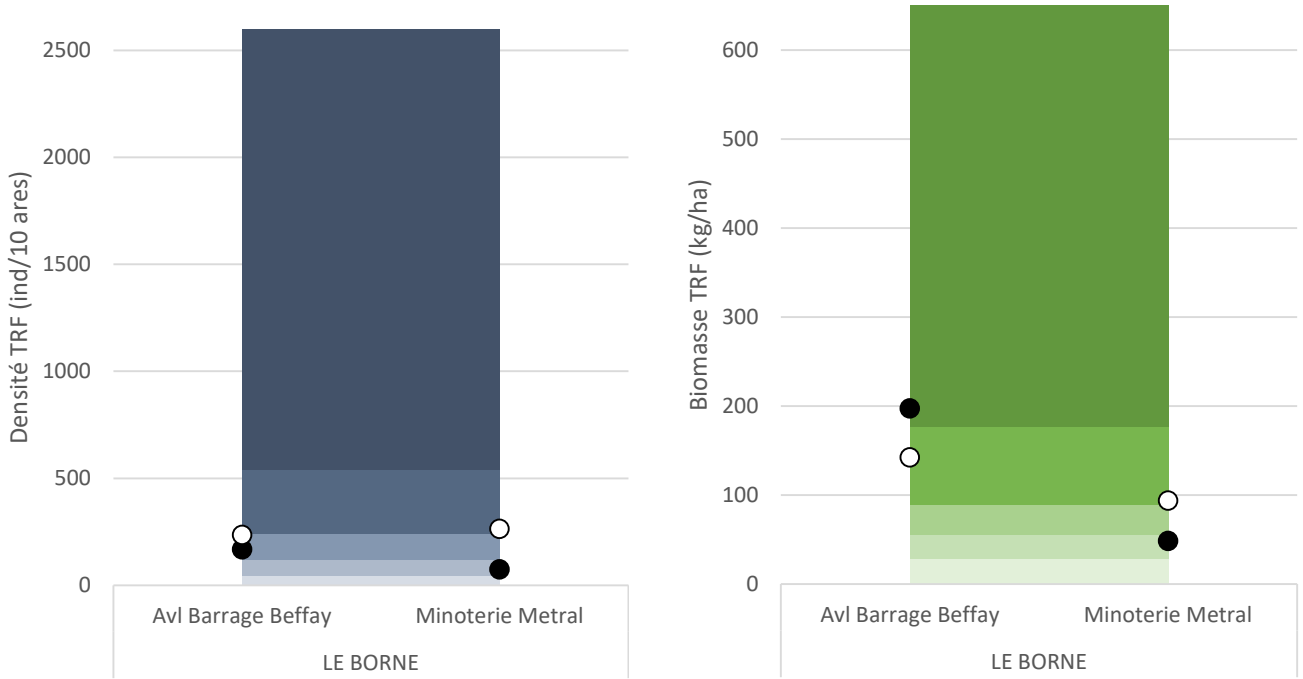


Figure 36 : Valeurs de densité (individus/10 ares, bleu) et biomasse (kg/ha, vert) de truite fario par station de suivi piscicole. Les stations suivent un gradient amont - aval de la gauche vers la droite. Les points blancs correspondent aux années post-travaux (2018 pour aval Beffay et 2019 pour Minoterie Métral) et les points noirs aux données avant travaux (2013 pour Minoterie Métral et 2014 pour Aval Beffay). Le gradient de couleur définit les 5 classes du standard départemental ; du bas vers le haut : dégradé / perturbé / moyen / standard dép. bas / standard dép. haut.

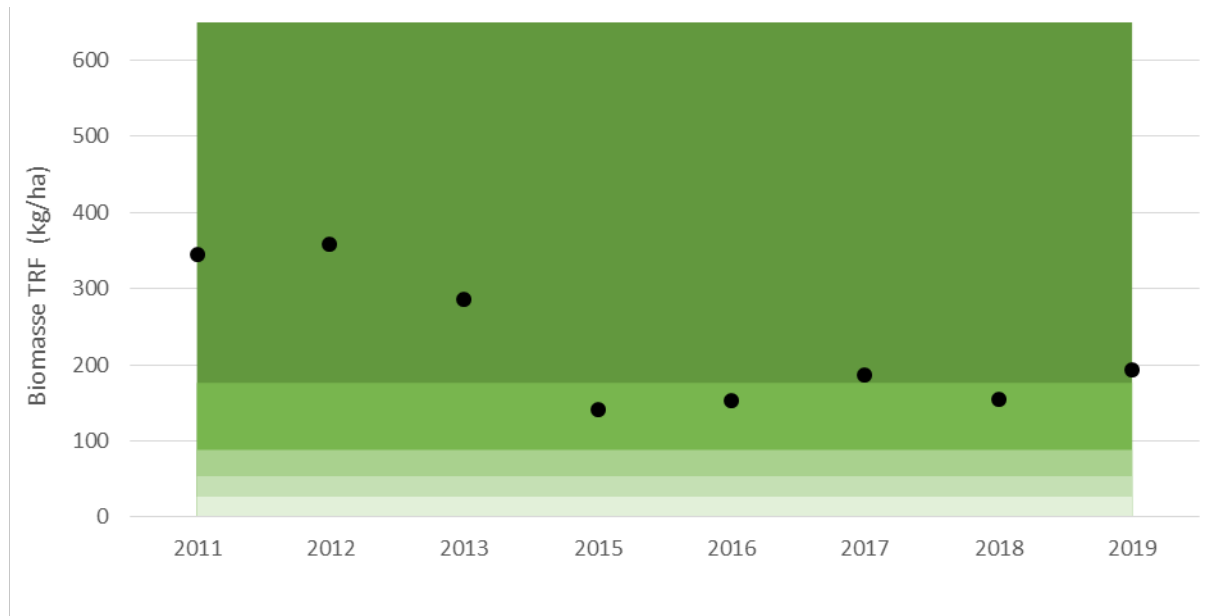


Figure 37 : Focus de la biomasse sur la station de Pont l'Essert de « l'observatoire départemental » de la FDPPMA 74

## 5. Conclusion et perspectives

Le seuil d'alimentation du bief Métral situé à Saint-Pierre-En-Faucigny avait été classé en liste II des ouvrages prioritaires nécessitant des travaux afin de laisser libre-circulation aux espèces-cibles : truite fario et chabot. Ce seuil avait été classé d'infranchissable pour la truite fario, espèce principale du peuplement piscicole du Borne sur ce secteur, empêchant ainsi l'accès à des zones de frayères situées à l'amont de l'ouvrage et ce jusqu'au prochain point dur 4 km en amont : le barrage de Beffay.

En 2013 est initié un programme INTERREG de grande envergure sur le bassin de l'Arve et du Rhône genevois (ESPACE Arve & Rhône). L'un des enjeux de ce programme étant de mieux comprendre les migrations de 4 espèces (truite fario, chevesne, barbeau fluviatile et ombre commun) au sein de ces 2 bassins, un suivi radiotéléométrique a été mis en œuvre. C'est ainsi que sur le Borne, des déplacements de 4 individus de truite fario au-delà du seuil Métral ont été mis en évidence alors que ce dernier était considéré comme infranchissable. Il s'agissait de 4 individus géniteurs ayant migré entre octobre et décembre 2014. Ces résultats ne suffisaient pas à déterminer si l'ouvrage était franchissable pour de plus petits individus, pour d'autres espèces, à quel débit et en combien de temps.

Les travaux d'aménagement réalisés en 2016 par le SM3A dans le cadre du contrat vert et bleu « Arves – Portes des Alpes » ont permis de créer un passage facilitant *à priori* l'accès à l'amont pour la truite fario mais également le chabot qui est la seconde espèce-cible, grâce à un adoucissement de la pente, la création de bassins successifs au milieu de l'ouvrage et la conservation d'une bonne rugosité en conservant un enrochement sur un côté. La prise d'eau a été conservée de manière à ce que l'exploitant puisse continuer son activité. Cet aménagement a également été l'occasion d'installer un dispositif de télémétrie afin de réaliser le suivi de son efficacité dont fait l'objet ce rapport. Le suivi a démarré le 22 décembre 2016 et a terminé le 30 avril 2019 soit une durée de 28 mois.

L'ouvrage entier a été équipé d'un dispositif de détection composé de 6 antennes dites « pass-over » et de 5 lecteurs-enregistreurs. Chaque antenne sert à définir le lieu de passage (seuil, rampe ou enrochement) et le sens (montaison ou dévalaison). Le dispositif a bien tenu dans le temps, avec une seule antenne arrachée. Quelques fluctuations de détections ont été observés et une coupure globale d'électricité. Sur la totalité de la durée du suivi, on estime une faible perte d'information liée à ces dysfonctionnements et / ou à ses caractéristiques limitantes face aux conditions hydrauliques lors d'évènements de hautes eaux (détection uniquement sur les 25 cm à 65 cm inférieurs de la lame d'eau). On considère que les individus ont pu être détectés pour environ 80 à 98,6% du temps et pour 90% des débits durant la période de suivi.

L'antenne A3 est celle qui a le moins bien fonctionné car c'est celle qui a été arrachée. Cette antenne permettait de capter les poissons à l'aval de la rampe du milieu. Ainsi, pendant un certain temps, des franchissements ont eu lieu sans que l'on puisse affirmer qu'ils aient été réalisés dans la rampe. Néanmoins, l'antenne A4 a permis de valider le franchissement puisqu'elle est située en amont de la rampe.

Sur le secteur proche en aval de l'aménagement (Borne aval, Arve depuis sa confluence avec la Nant de Sion jusqu'au seuil de Vougy, Nant de Sion et Foron de la Roche), 1321 poissons ont été capturés entre septembre 2016 et août 2018 et équipés d'un PIT-tag. L'échantillon marqué se composait pour 71% de truites fario ; 21% de chabots ; 6% d'ombres commun ; 1% de barbeaux fluviatiles et 1% de chevesnes. Le peu de cyprinidés marqués tient du fait que ce ne sont pas des espèces cibles dans le franchissement du dispositif et que leur aire de répartition, tout comme celle de l'ombre commun, ne



va pas jusqu'au seuil Métral. Il a toutefois été décidé d'en marquer quelques individus puisque d'autres suivis du même type sont en cours dans le bassin de l'Arve (Giffre et Menoge) et que des échanges entre les sous-bassins peuvent avoir lieu.

Quatre espèces sur les 5 marquées ont été détectées sur le dispositif RFID du seuil Métral, à savoir : la truite fario (87% des individus détectés) ; le chabot (12%) ; l'ombre commun (un seul individu) et le chevesne (un seul individu). Ils sont originaires pour 94 % (n = 146) d'un secteur très proche de l'ouvrage, éloigné au maximum de 5 km. Pour les espèces peu mobiles sur des pas de temps « courts », comme c'est le cas pour le chabot dans cette étude, l'outil génétique semble plus adapté que la télémétrie pour mettre en évidence des mouvements intra-et inter-bassins versants (par exemple LIZEE *et al.*, 2015 pour le chabot au sein du bassin versant Arve – Rhône genevois). En effet, même si ce dernier a été contacté au niveau de l'ouvrage, il s'agissait d'individus marqués à proximité de l'ouvrage (pas plus de 300 m) et pour la majorité d'entre eux, avaient été capturés lors de la pêche de sauvetage avant travaux au niveau même de l'ouvrage et relâché un peu plus à l'aval. Il peut s'avérer d'un retour sur la zone d'habitat initiale de l'individu. L'ombre commun, également rare dans les résultats, migre pourtant facilement sur des longues distances notamment lors de sa phase de reproduction (par exemple, OVIDIO *et al.*, 2004). Néanmoins, dans le Borne, son aire de présence observée se cantonne entre l'Arve en aval de la confluence avec le Borne jusqu'au pont de l'autoroute sur le Borne. Toutefois, sa présence régulière dans le Borne est assez récente (suite à la crue de 2015 ; auparavant l'espèce était présente de manière anecdotique) et sa limite amont dans le Borne est encore mal connue.

Ce suivi pluriannuel a mis en évidence la nécessité de maintenir une pression de marquage sur certaines espèces pour obtenir des résultats exploitables sur l'ensemble de la durée de l'étude. En effet, la truite fario a une espérance de vie plus courte que les cyprinidés et, est la cible principale de la pêche de loisir. Etant l'espèce cible pour le franchissement de l'ouvrage car espèce principale du peuplement piscicole du Borne, il a fallu concentrer les efforts de marquage sur cette espèce. D'autant plus qu'il a été montré que les truites du Borne sont peu mobiles (de l'ordre de 14%) comparé à celles de l'Arve (57%). Sur une telle rivière, la capture de cette espèce en quantité suffisante ne pose pas de problème puisque l'état des populations de truites sur le Borne est globalement bon.

Comme cela avait été observé précédemment (CHASSERIEAU, 2019 ; BEUFILS & CHASSERIEAU, 2018 ; CHASSERIEAU *et al.*, 2015), le taux de recontacts d'individus marqués pour une étude de déplacements à l'échelle d'un bassin versant comme celui du Borne se chiffre à environ 12 %.

La quasi-totalité de l'ouvrage (hors batardeaux de la prise d'eau), modifiée pour être le plus transparent possible dans le but de rétablir la continuité écologique, remplit tout à fait son rôle et permet la libre circulation des poissons. Néanmoins, le passage créé au milieu se voulant être théoriquement le plus « favorable » au franchissement est beaucoup moins emprunté que le côté droit en enrochement.

Sur les 156 individus détectés par les dispositifs, 104 ont franchi l'ouvrage, soit un taux multi-spécifique de franchissabilité de 67 %. La majorité des poissons effectuent la montaison de l'ouvrage en 45min à 5 h. Les plus rapides ne mettent que quelques minutes (moins de 5min, le record étant de 1,4 min) et empruntent le coursier en enrochement, tandis que les plus lents vont y passer plusieurs jours voire plusieurs mois (record de « lenteur » de 246 jours). Ceci ne signifie toutefois pas que ces individus ont du mal à franchir mais simplement que l'ouvrage leur offre des conditions favorables pour accomplir certains besoins vitaux.

Environ 31% de truite fario ont effectué plusieurs montaisons de l'ouvrage, soit la même année, soit chaque année.

Deux pics de déplacements sont observés chez la truite fario dans une année (et ce sur les 2 années de suivis) : un pic principal entre mai et juin, juste avant la période de basses eaux estivales. Ce pic est surtout détenu par des individus de truites immatures. Est-ce que les prémices du réchauffement saisonnier de l'eau les incitent à rejoindre un secteur plus frais (les gorges) ? Pourtant, les dévalaisons suivent le même pic, les individus qui montent, redescendent peu de temps après. Le second pic, bien moindre, est atteint en décembre, majoritairement par les géniteurs. Ceci correspond à la période de reproduction. On aurait pu s'attendre à un plus gros pic de migration pour la reproduction, qui dure plus longtemps (de novembre à janvier) mais il semble que certains individus trouvent des zones de frayères en aval de l'ouvrage.

Les mouvements des truites fario s'effectuent entre 3°C et 18°C ce qui correspond à son préférendum thermique (ELLIOTT, 1994 ; JOHNSON & KELSCH, 1998). Les faibles débits ne semblent pas non plus poser de problèmes pour le franchissement des truites, on observe des franchissements « rapides » à des débits inférieurs au QMNA5.

L'ouvrage actuel ne semble pas créer de difficulté dans les mouvements piscicoles. Même si les cyprinidés et ombre commun n'ont pas ou peu été détectés, cela ne peut être incriminé à l'ouvrage. Il s'agit simplement de la limite de leur aire de répartition. Le fait que des individus de chabot, en plus de ceux de truite, aient pu aisément franchir le dispositif nous laisse à penser que si à l'avenir les ombres, barbeaux et chevesnes devaient s'aventurer au-delà de l'ouvrage, cela pourrait se faire sans difficulté en raison de leur capacité de nage respective. Cette étude aura permis également de montrer qu'il n'est pas nécessaire de faire des « rampes à bassins successifs » très structurés pour que les poissons franchissent. De simples enrochements sur une pente douce remplissent bien, et même mieux, leur rôle.

Même si la majorité des poissons détectés au cours de ce suivi semble vivre sur quelques kilomètres de rivière au sein du bassin versant du Borne, des connexions entre l'Arve et ses sous-bassins existent, même si elles sont à la marge (identifiées pour 11 individus dans le cadre de ce suivi). Il faut garder à l'esprit que le nombre de poissons marqués est faible au regard de l'échelle spatio-temporelle de l'étude. Cet état de fait est encore accentué pour les poissons détectés. L'outil télémétrique montre ses limites pour évaluer les flux d'individus à une large échelle qui sont abordables plus aisément avec la génétique des populations.

Un projet de restauration piscicole du Borne aval est actuellement en cours (diversification de l'habitat piscicole). Ce projet s'inscrit pleinement dans la continuité de la restauration de la continuité écologique du seuil Métral, puisqu'il vise à offrir un meilleur habitat sur toute la zone entre la confluence avec l'Arve et le seuil Métral. Le lit rectifié et donc la pauvreté d'habitat du Borne aval reste l'un des principaux point noir de ce secteur. Cette diversification d'habitat pourra contribuer à augmenter encore les échanges entre l'Arve et ses affluents en offrant des zones de frayères à proximité.

## 6. Bibliographie

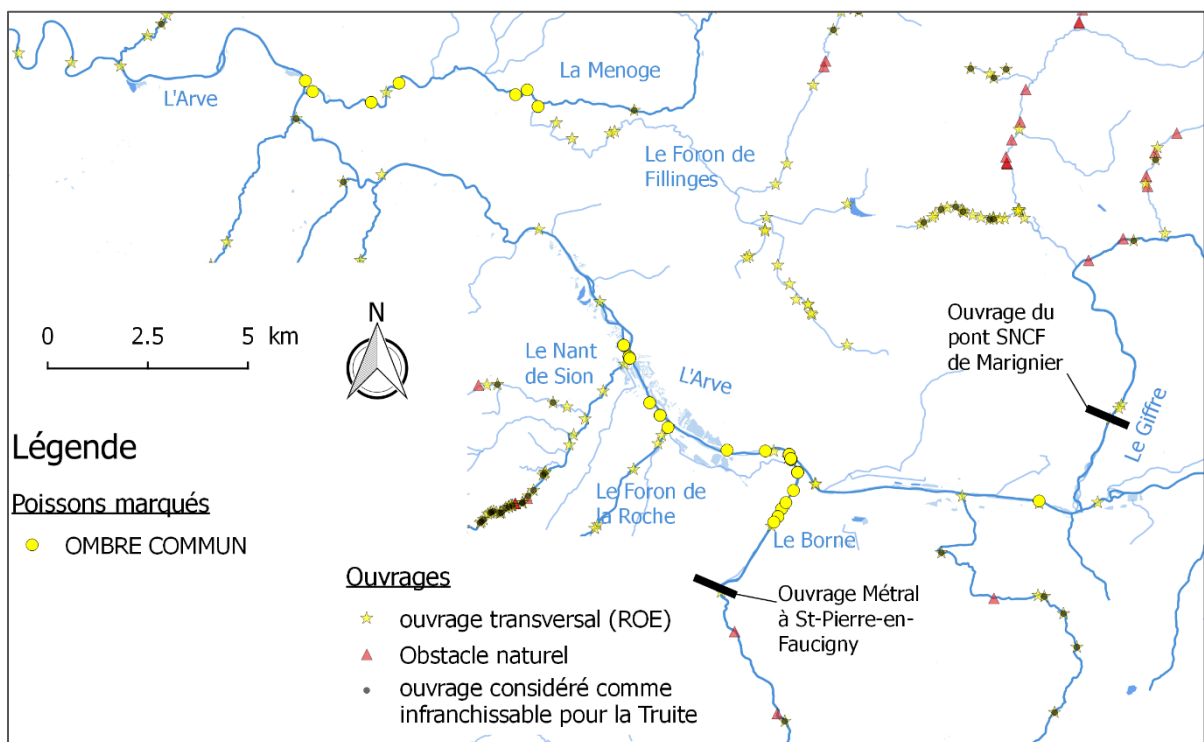
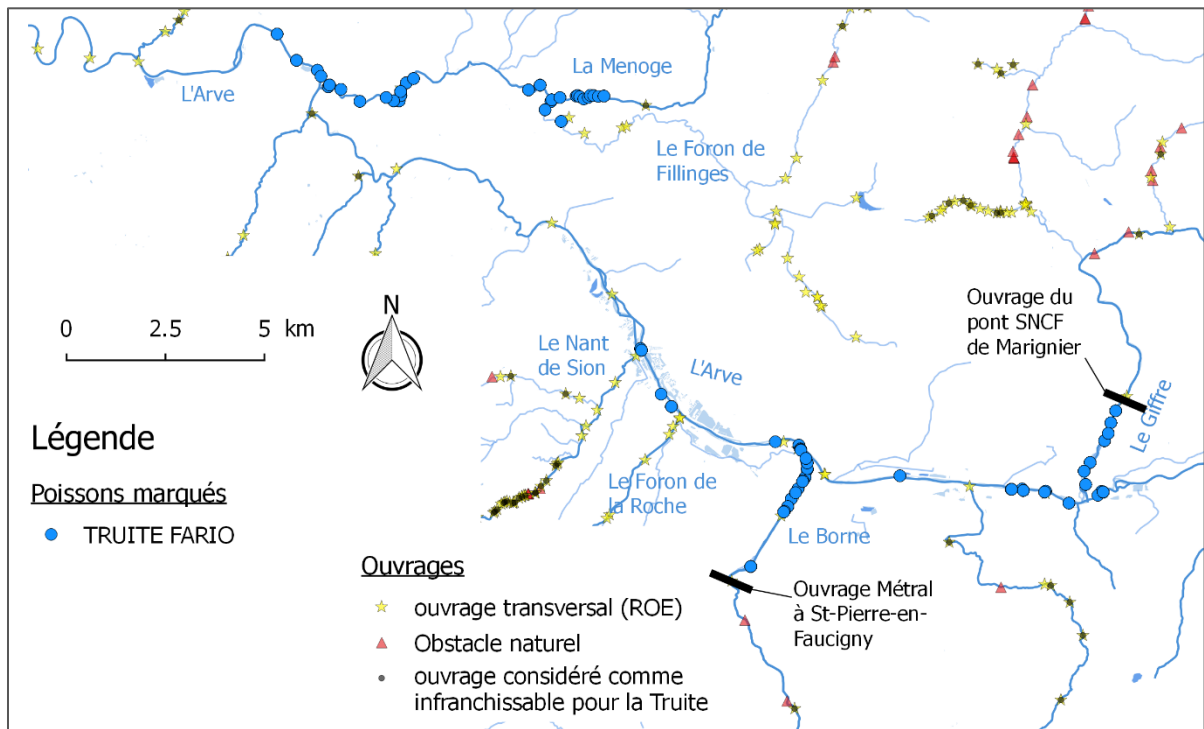
- BAGLINIERE, J. L., & MAISSE, G. (1991). La truite. Biologie et écologie. *Editions Quae*
- BANKS, J.W. (1969). A review of the literature on the upstream migration of adult salmonids. *Journal Fish Biol.*, 1, 85-136.
- BEACH, M.H. (1984). Fish pass design-criteria for the design and approval fish passes and others structures to facilitate the passage of migratory fish in rivers. *MAFF Fisheries Research Technical/Report 78:46* pp.
- BEAUFILS M., CHASSERIEAU C., 2017. Rapport annuel - Suivi du franchissement des ouvrages du seuil du Pont SNCF (Giffre) et du seuil Métral (Borne) - Données 2016. Rapport FDP74.17/03, 17 p.
- BEAUFILS M., CHASSERIEAU C. (2018). Rapport annuel - Suivi du franchissement des ouvrages du seuil du Pont SNCF (Giffre) et du seuil Métral (Borne) - Données 2017. Rapport FDP74.18/04, 40 p + annexes.
- BERGE, J. (2012). Apport de la télémétrie acoustique pour la compréhension de l'utilisation dynamique des habitats par les poissons dans un grand fleuve aménagé, le Rhône. *Thèse école doctorale Lyon 1*, 258 p.
- CHAMPIGNEULLE, A. MELHAOUI, M., MAISSE, G., BAGLINIERE J. L., GILLET, C., GERDEAUX D. (1988). Premières observations sur la truite (*Salmo trutta*L.) dans le Redon, un petit affluent frayère du lac Léman. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 310, 59-76.
- CHAMPIGNEULLE, A., LARGIADER, C. R., CAUDRON, A. (2003). Reproduction de la truite (*Salmo trutta* L.) dans le torrent de Chevenne, Haute-Savoie. Un fonctionnement original ? *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 369, 41-70.
- CHASSERIEAU, C. (2019). Rapport annuel, Suivi du franchissement de l'ouvrage du seuil du Pont SNCF de Marignier (Giffre) -Données 2018. Rapport FDP74.19/03, 33 p. + annexes.
- CHASSERIEAU, C. GRIMARDIAS, D., BEAUFILS, M., & CATTANEO, F. (2015). Aires de vie, déplacements et franchissements de 4 espèces cibles : la truite fario (*Salmo trutta*), le barbeau fluviatile (*Barbus barbus*), le chevaine (*Squalius cephalus*) et l'ombre commun (*Thymallus thymallus*). Chapitre 2, (p. 18 - 157), in Interreg IV A ESPACE Arve & Rhône - Vers une continuité écologique au-delà des frontières. Rapport final.
- CLAPP, D.F., CLARK, R.D. & DIANA, J.S. (1990). Range activity and habitat of large, free-ranging brown trout in a Michigan Stream. *Trans Am. Fish. Soc.* 119, 1022-1034.
- CRISP, D. T. (1996). Environmental requirements of common riverine European salmonid fish species in fresh water with particular reference to physical and chemical aspects. *Hydrobiologia*, 323, 201-210.
- DE LURY, 1951. On the planning of experiments for the estimation of fish population. *Journal of the Fisheries. Research Board of Canada*, 18, 281-307
- DUMOUTIER, Q., VIGIER, L., CAUDRON, A. (2010). Macro Excel d'Aide au Calcul de variables thermiques appliquées aux Milieux Aquatiques Salmonicoles. Rapport, 29p.
- ELLIOTT J.M. (1994). Quantitative ecology and the brown trout. *Oxford University Press*, Oxford, 286 p.
- JESUS G. (2017). Observatoire départemental du recrutement naturel de Haute-Savoie - données 2011-2016. Rapport FDP74. 109 pages + annexes.

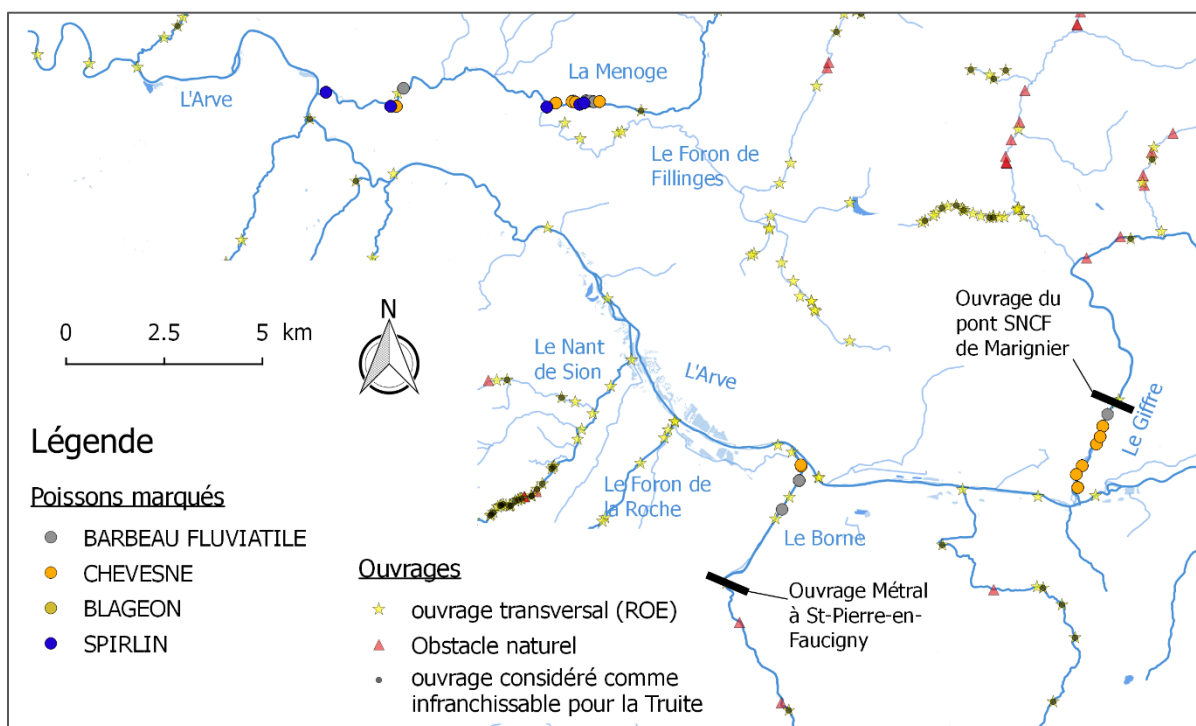
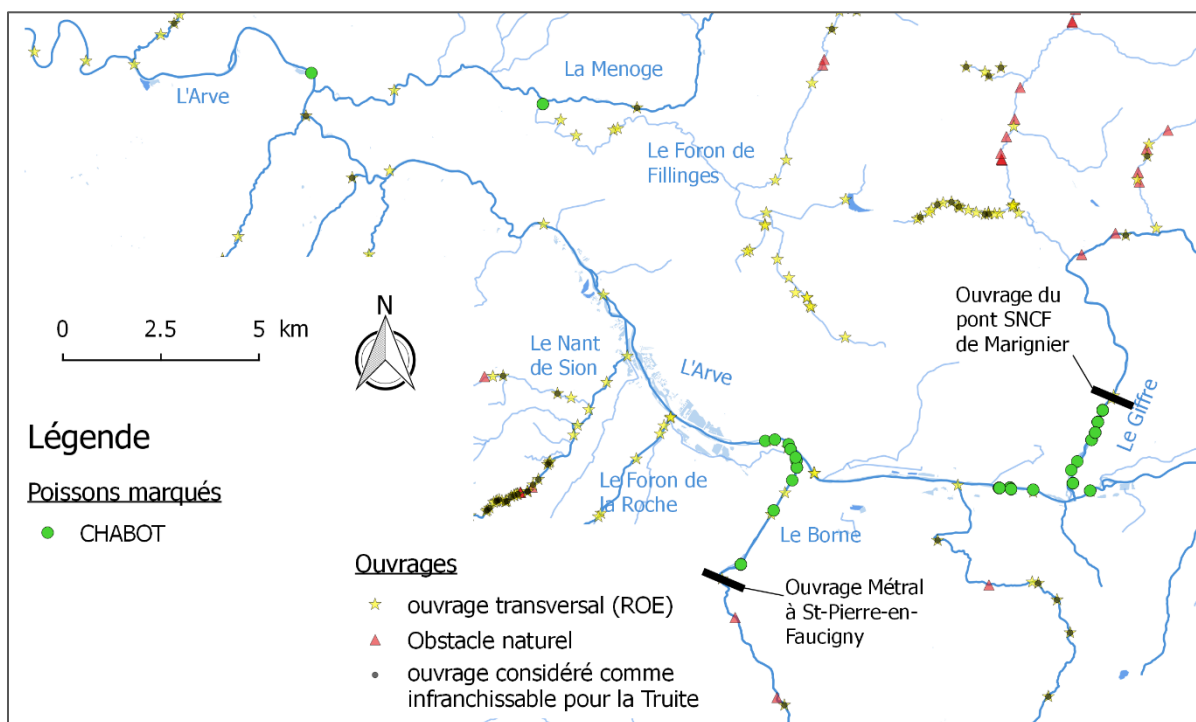
- JONSSON, N. (1991). Influence of water flow, water temperature and light on fish migration in rivers. *Nordic J. Freshw. Res.* 66, 20-35.
- JOHNSON, J. A., & KELSCH, S. W. (1998). Effects of evolutionary thermal environment on temperature-preference relationships in fishes. *Environmental Biology of fishes*, 53(4), 447-458.
- GHAAPPE. (2001). Libre circulation des poissons migrateurs et seuils en rivière. Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, Guide technique n°4 : 28 p.
- LARINIER, M., TRAVADE, F., PORCHER, J.P. & GOSSET, C. (1993). Passes à poissons : expertise et conception des ouvrages de franchissement. Ed. Collection *Mise au point*, CSP. 336 p.
- LIZEE, MH., HUCHET, P., CHASSERIEAU, C., GRENIER, R., MEGLE CZ, E., CHAPPAZ, R., DUBUT, V. (2015). Fonctionnement des populations de Chabots (*Cottus gobio*) - Diversité et Structuration génétique de l'espèce le long de l'Arve et de ses affluents. Chapitre 3 (p. 165 – 205) In Interreg IV A ESPACE Arve & Rhône – Vers une continuité écologique au-delà des frontières. Rapport final,
- MEYERS, L.S., THUEMLER, F.T. & KORNELY, G.W. (1992). Seasonal movements of brown trout in the northeast Wisconsin. *N. Am. J. Fish. Mgmt* 12, 433-441.
- NORTHCOTE, T. G. (1984). Mechanisms of fish migration in rivers. In Mechanisms of migration in fishes. p. 317-355. Eds.: J. D. McCLEAVE, G.P. ARNOLD, J.J. DODSON & W.H. NEIL. *Plenum Publishing Corporation*. New York.
- OMBREDANE, D., & RICHARD, A., (1990). Détermination de la zone optimale de prélèvement d'écaillés chez les smolts de truite de mer (*Salmo trutta*L.). *Bull. Fr. Pêche Pisc.* 319, 224- 238.
- OVIDIO, M. & PHILIPPART, J.-C. (2002). The impact of small physical obstacles on upstream movements of six species of fish. *Hydrobiologia* 483(1): 55-69.
- OVIDIO, M., PARKINSON, D., SONNY, D., & PHILIPPART, J. C. (2004). Spawning movements of European grayling *Thymallus thymallus* in the River Aisne (Belgium). *Folia Zoologica*, 53(1), 87-98.
- OVIDIO, M., BARAS, E., GOFFAUX, D., BIRTLES, C. & PHILIPPART, J.C. (1998). Environmental unpredictability rules fall migration of brown trout (*Salmo trutta*L.) in the Belgian Ardennes. *Hydrobiol.* 371/372, 262-274.
- OVIDIO, M., DETAILLE, A., BONTINCK, C., NEUS, Y., RIMBAUD G., & PHILIPPART, J.C. (2007) Élaboration de recommandations pratiques pour la préservation - restauration d'éléments de l'habitat hydraulique du chabot dans les cours d'eau non navigables de Wallonie. Rapport pour le Ministère de la Région Wallonne, Division de l'Eau Direction des Cours d'Eau Non Navigables. *Université de Liège*, LDPH, 116 pages + annexes (novembre 2007).
- FDAAPPMA 74, (2016). Plan Départemental pour la Protection du milieu aquatique et la Gestion des ressources piscicoles, 656 p.
- VIGIER L., BEAUFILS M. & CHASSERIEAU C., 2015. Bilan Plan de conservation des populations de truite autochtone du Borne et de restauration de la qualité des habitats. Rapport FDP74.15/02, 29p.
- VITALI, R. & BRAGHERI L. (1984). Population dynamics of *Barbus barbus plebejus* (Valenciennes) and *Leuciscus cephalus cabeda* (Risso) in the middle River Po (Italy). *Hydrobiologia* 109, 105-124.
- WARDLE, C.S. (1980). Effects of temperature on the maximum swimming speed of fishes. In Ali, M.A. (ed.), *Environment Physiology of Fishes*. Plenum Press, New York. 519-531.

WINTER J.D. & ROSS, M.J. (1983). Methods in analyzing fish habitat utilization from telemetry data. *Acquisition and Utilisation of Aquatic Habitat Inventory Information, American Fisheries Society; Western division, Fish. Soc., Portland, Oregon.* p. 273-330.

## 7. Annexes

Annexe 1 : Localisation des points de marquage (de 2016 à 2018) pour chacune des espèces cibles.





Annexe 2 : Graphiques des corrélations de Spearman entre les temps de franchissements des truites fario et les paramètres abiotiques

