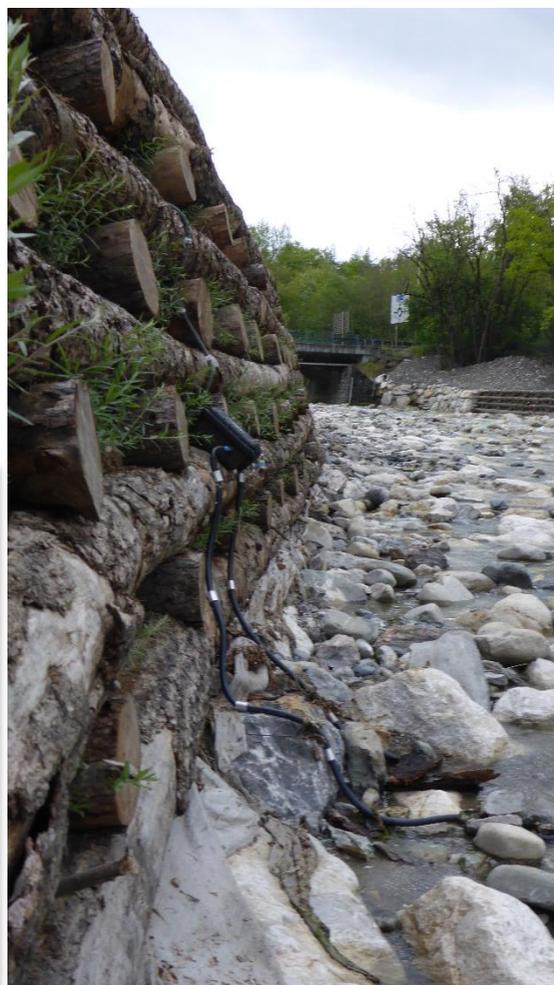


SUIVI DU FRANCHISSEMENT  
PISCICOLE DE L'OUVRAGE DE  
PONT DE FILLINGES (MENOGE)  
Rapport Final



CHASSERIEAU C.  
Décembre 2019

Rapport FDP74.19/08

Partenaires de l'étude :



Référence à citer :

CHASSERIEAU, C. (2019). Suivi du Franchissement piscicole de l'ouvrage de Pont de Fillinges (Menoge) – Rapport final. Rapport FDP74.19/08, 59 p + annexes.

## RESUME

Le seuil maçonné de 6 m de haut de la RD1907 à Pont de Fillings constituait une barrière pour les remontées piscicoles. Cet ouvrage a été aménagé en une rampe enrochée de 224 m de long au cours de l'année 2016 afin de rétablir la continuité écologique de la Menoge. Pour évaluer le franchissement et les mouvements piscicoles au niveau cet ouvrage, un suivi télémétrique utilisant la technologie RFID a été mis en œuvre.

Un dispositif de détection composé de 8 antennes dites « pass-over » et de 5 lecteurs-enregistreurs a enregistré les potentiels mouvements des 1665 poissons marqués sur une durée de 29 mois entre le 12 mai 2017 et s'est terminé le 31 octobre 2019.

Le taux de recontacts d'individus marqués se chiffre à environ 10 %. Les 3 espèces « mobiles » principalement présentes dans la Menoge aval ont été détectées, à savoir : le barbeau fluviatile (74 % des individus détectés), la truite fario (24 %) et le chevesne (2 %). Ils sont originaires pour 89 % d'un secteur très proche de l'ouvrage, éloigné au maximum de 3.5 km. Les petites espèces et l'ombre commun n'ont pas été contactés.

La rampe enrochée de Pont de Fillings remplit bien son rôle et permet la libre circulation des poissons. On observe un taux multi-spécifique de franchissabilité élevé (84 %).

Les déplacements piscicoles au niveau de Pont de Fillings s'effectuent majoritairement sur 7 mois de l'année. Une première période d'avril à août est marquée par la forte circulation des barbeaux entre le crépuscule (21 h) et l'aube (4 h) et par des comportements « aventuriers » de truites et une seconde, en novembre – décembre, cible essentiellement les déplacements de reproduction des géniteurs de truite fario et des dévalaisons de barbeaux adultes qui sont à la recherche de sites d'hivernage.

Aucun mouvement n'est observé en dessous de 4°C.

Les truites ne font que transiter au niveau de l'ouvrage, sans y séjourner longtemps tandis que les barbeaux adultes peuvent y rester plusieurs mois. Parmi les truites qui ont effectué une migration de montaison, presque la moitié d'entre elles n'est pas redescendue, soit trouvant des habitats favorables en amont, soit étant mortes naturellement ou par capture.

L'aire de vie du Barbeau fluviatile dans la Menoge s'est allongée avec la reconnexion du linéaire amont. Sa présence a été avérée jusque « Chez Mermier » en juin 2017, soit 3.2 km en amont de l'aménagement. En 2019, aucune évolution n'est constatée au niveau du peuplement piscicole au lieu-dit « Chez Calendrier » (4.5 km en amont de l'ouvrage).

Même si la majorité des poissons détectés au cours de ce suivi semble vivre sur quelques kilomètres de rivière au sein du bassin versant de la Menoge, des connexions entre les affluents de l'Arve (Menoge et Giffre, soit 40 km) et avec le Rhône genevois existent, même si elles sont à la marge (identifiées pour 4 individus dans le cadre de ce suivi).

Mots clés : franchissement, suivi télémétrique, RFID, continuité écologique, Menoge.

# SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION ET CONTEXTE DE L'ETUDE.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJECTIFS .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>MATERIEL ET METHODES .....</b>	<b>5</b>
3.1	PRINCIPE DE LA TECHNOLOGIE RFID MISE EN ŒUVRE POUR LE SUIVI .....	5
3.2	DESCRIPTION DU DISPOSITIF TELEMETRIQUE MIS EN PLACE SUR L'OUVRAGE .....	6
3.3	CAPTURE ET MARQUAGE DES POISSONS.....	9
3.4	BANCARISATION DES DONNEES TELEMETRIQUES ISSUES DU DISPOSITIF FIXE.....	11
3.5	MESURES DES PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX .....	12
3.5.1	<i>Le débit.....</i>	<i>12</i>
3.5.2	<i>La température.....</i>	<i>13</i>
3.6	ACQUISITION D'AUTRES DONNEES PISCICOLES.....	14
3.6.1	<i>Prospection mobile (technologie RFID) .....</i>	<i>14</i>
3.6.2	<i>Pêches d'inventaire .....</i>	<i>15</i>
3.7	ANALYSE DES DONNEES ET TESTS STATISTIQUES.....	16
<b>4</b>	<b>RESULTATS DISCUTES.....</b>	<b>17</b>
4.1	FONCTIONNEMENT DU DISPOSITIF DE DETECTION .....	17
4.1.1	<i>Alimentation et réglage des antennes .....</i>	<i>17</i>
4.1.2	<i>Définition des débits limitants pour le fonctionnement du dispositif de détection .....</i>	<i>21</i>
4.2	CAPTURES ET MARQUAGE DES POISSONS .....	24
4.2.1	<i>Bilan des marquages réalisés entre 2016 et 2018.....</i>	<i>24</i>
4.2.2	<i>Caractérisation de l'échantillon marqué pour le suivi de Pont de Fillinges .....</i>	<i>28</i>
4.3	DETECTIONS AU DISPOSITIF FIXE ET FRANCHISSEMENT DE L'OUVRAGE DE PONT DE FILLINGES .....	31
4.3.1	<i>Effectifs, origines et caractéristiques des poissons détectés au niveau du dispositif .....</i>	<i>31</i>
4.3.2	<i>Définition des groupes d'individus en fonction de leur comportement de déplacement et de leur évolution dans l'ouvrage .....</i>	<i>35</i>
4.3.3	<i>Franchissement des individus détectés au niveau de l'ouvrage .....</i>	<i>38</i>
4.4	AUTRES DONNEES SUR LES DEPLACEMENTS D'INDIVIDUS .....	47
4.4.1	<i>Recaptures par la pêche (amateur ou scientifique).....</i>	<i>47</i>
4.4.2	<i>Prospection mobile.....</i>	<i>49</i>
4.4.3	<i>Données historiques des inventaires piscicoles en amont de l'ouvrage de Pont de Fillinges .....</i>	<i>50</i>
<b>5</b>	<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....</b>	<b>53</b>
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>56</b>
<b>7</b>	<b>ANNEXES.....</b>	<b>60</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. ....	1
FIGURE 2 : OUVRAGE DU PONT DE FILLINGS SUR LA MENOGE AVANT ET APRES AMENAGEMENT. ....	2
FIGURE 3 : AMENAGEMENT DE L'OUVRAGE DU PONT DE FILLINGS A DIFFERENTES SAISONS ET DIFFERENTS DEBITS. ....	3
FIGURE 4 : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES ANTENNES PIT-TAG. ....	5
FIGURE 5 : SCHEMA DE PRINCIPE POUR LA DEFINITION DU SENS DE PASSAGE DES POISSONS DETECTES PAR UN DISPOSITIF RFID COMPOSE DE PLUSIEURS TRANSECTS D'ANTENNES DE DETECTION. ....	6
FIGURE 6 : SCHEMA D'IMPLANTATION DES DIFFERENTS ELEMENTS QUI COMPOSENT LE DISPOSITIF DE DETECTION RFID MIS EN PLACE POUR LE SUIVI DE L'OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT DE PONT DE FILLINGS. ....	7
FIGURE 7 : ANCRAGE DES ANTENNES AU FOND DU LIT. A) ANTENNE INTERMEDIAIRE A4 EN EAU ; B) ANTENNE AMONT A6 HORS D'EAU ; C) ZOOM DU GOUJON D'ANCRAGE ET DE LA BAGUE DE FIXATION. ....	8
FIGURE 8 : LOCALISATION DE LA SOURCE ELECTRIQUE PRIVEE ET DU CHEMINEMENT DU CABLE ELECTRIQUE ENTERRE QUI ALIMENTE LE DISPOSITIF TELEMETRIQUE. ....	8
FIGURE 9 : MARQUAGE INTERNE D'UNE TRUITE AVEC UN PIT-TAG DE 23 MM ; ....	10
FIGURE 10 : FORMAT DES DONNEES GENEREES PAR UN LECTEUR-ENREGISTREUR OREGON RFID. ....	11
FIGURE 11 : LOCALISATION DES STATIONS DE SUIVI DE DEBIT ET DE TEMPERATURE UTILISEES POUR CARACTERISER LES CONDITIONS ABIOTIQUES DU MILIEU, ASSOCIEES AUX PRODUCTEURS DES DONNEES. ....	12
FIGURE 12 : TEMPERATURES MOYENNES JOURNALIERES DES 6 STATIONS DE SUIVI DE LA TEMPERATURE (DONNEES ENTRE JUIN 2018 ET NOVEMBRE 2019). ....	13
FIGURE 13 : BOX-PLOTS DES AMPLITUDES THERMIQUES JOURNALIERES ENTRE JUIN 2018 ET NOVEMBRE 2019 DES 6 STATIONS DU SUIVI DE LA TEMPERATURE. ....	14
FIGURE 14 : PROSPECTION MOBILE (A) LOCALISATION DU LINEAIRE PAR RAPPORT AU SITE ETUDIE ET AUX ZONES DE MARQUAGE ; (B) PHOTO DE L'UTILISATION IN SITU DES DISPOSITIFS PORTABLES. ....	15
FIGURE 15 : NOMBRES DE DETECTIONS JOURNALIERES DES « PIT-TAGS TEMOINS » DECRIVANT LE BON FONCTIONNEMENT DE CHACUNE DES 8 ANTENNES CONSTITUANT LE DISPOSITIF DE DETECTION RFID, COUPLES AU DEBIT MOYEN JOURNALIER DE LA MENOGE ENREGISTRE A LA STATION HYDROLOGIQUE V0235020 DE LA DREAL A BONNE. ....	17
FIGURE 16 : NOMBRE DE DETECTIONS JOURNALIERES DU « PIT-TAG TEMOIN » DECRIVANT LE BON FONCTIONNEMENT DE L'ANTENNE COUPLE AU NOMBRE JOURNALIER DE POISSONS DISTINCTS (TOUTES ESPECES CONFONDUES) DETECTES PAR L'ANTENNE. (A) ANTENNES A1 ET A2 SITUEES A L'AVAL ; (B) ANTENNE A3 ET A4 SITUEES AU MILIEU DE L'OUVRAGE ; (C) ANTENNES A5 ET A6 SITUEES EN AMONT COTE RIVE GAUCHE ; (D) ANTENNES A7 ET A8 SITUEES EN AMONT COTE RIVE DROITE. ....	19
FIGURE 17 : IMPLANTATION DES 4 ANTENNES AMONT DU DISPOSITIF PAR RAPPORT A L'ECOULEMENT DU CHENAL PRINCIPAL DE LA MENOGE. ....	20
FIGURE 18 : DEBIT HORAIRE DE LA MENOGE A LA STATION LIMNIMETRIQUE V0235020 DE BONNE (PRODUCTEUR : DREAL) DURANT LA PERIODE DE SUIVI. LES POINTS ROUGES SYMBOLISENT LES JOURS DES TESTS DE DETECTION AYANT EU LIEU AU COURS DE LA 1 <sup>ERE</sup> ANNEE. ....	22
FIGURE 19 : COURBE DES DEBITS INSTANTANES CLASSES DURANT LA PERIODE DU SUIVI (MAI 2017 A OCTOBRE 2019) ET IDENTIFICATION DES VALEURS DE DEBIT DU TABLEAU 6 RELIEES AU POURCENTAGE DE TEMPS OU CES DERNIERES SONT INFERIEURES OU EGALES. ....	23
FIGURE 20 : 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. ....	24
FIGURE 21 : 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. ....	25
FIGURE 22 : POURCENTAGES SPECIFIQUES INTERANNUELS AU SEIN DE L'EFFECTIF MARQUE ENTRE 2016 ET 2018. ....	25
FIGURE 23 : POURCENTAGES SPECIFIQUES INTERANNUELS AU SEIN DE L'EFFECTIF MARQUE ENTRE 2016 ET 2018 POUR LE SUIVI DE L'OUVRAGE DE PONT DE FILLINGS. ....	26
FIGURE 24 : POURCENTAGES SPECIFIQUES DE L'EFFECTIF D'INDIVIDUS MARQUES DANS LA MENOGE COMPARES A CEUX DES DENSITES ESTIMEES LORS DES INVENTAIRES DE 2008 DANS LA BASSE MENOGE. ....	26

FIGURE 25 : 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. ....	27
FIGURE 26 : HISTOGRAMMES DE TAILLE DES INDIVIDUS MARQUES DANS LE CADRE DU SUIVI DE L'OUVRAGE DE PONT DE FILLINGES ENTRE 2016 ET 2018. ....	30
FIGURE 27 : LOCALISATION DES POINTS DE MARQUAGE DES POISSONS DETECTES AU NIVEAU DU DISPOSITIF RFID DE L'OUVRAGE DE PONT DE FILLINGES AVEC LEUR REPARTITION PAR ZONE D'ELOIGNEMENT. ....	33
FIGURE 28 : A ET B) HISTOGRAMMES DE TAILLE DES INDIVIDUS DETECTES ENTRE 2017 ET 2019 AU NIVEAU DU DISPOSITIF RFID DE PONT DE FILLINGES ; C) NOMBRE D'ANNEES ENTRE LA DATE DE MARQUAGE ET LA 1 <sup>ERE</sup> DETECTION. ....	35
FIGURE 29 : DEFINITION DES DIFFERENTS GROUPES D'INDIVIDUS EN FONCTION DE LEURS COMPORTEMENTS ET DE LEURS DETECTIONS AUX ANTENNES DU DISPOSITIF DE PONT DE FILLINGES. ....	36
FIGURE 30 : NOMBRE DE FRANCHISSEMENTS DE L'OUVRAGE DE PONT DE FILLINGES EFFECTUES PAR UN INDIVIDU D'UNE ESPECE ET D'UN STADE SPECIFIQUE AU COURS DU SUIVI ENTRE 2017 ET 2019. ....	38
FIGURE 31 : NOMBRES MENSUELS DE CONTACTS EN AVAL, AU SEIN ET EN AMONT DE L'OUVRAGE ET NOMBRE MENSUELS DE FRANCHISSEMENTS ET DE DEVALAISONS DE L'OUVRAGE DE PONT DE FILLINGES PAR LES BARBEAUX FLUVIATILES POUR LES 3 ANNEES DE SUIVI. ....	40
FIGURE 32 : NOMBRES MENSUELS DE CONTACTS EN AVAL, AU SEIN ET EN AMONT DE L'OUVRAGE ET NOMBRE MENSUELS DE FRANCHISSEMENTS ET DE DEVALAISONS DE L'OUVRAGE DE PONT DE FILLINGES PAR LES TRUITES FARIO POUR LES 3 ANNEES DE SUIVI. ....	41
FIGURE 33 : NOMBRES MENSUELS DE CONTACTS EN AVAL, AU SEIN ET EN AMONT DE L'OUVRAGE ET NOMBRE MENSUELS DE FRANCHISSEMENTS ET DE DEVALAISONS DE L'OUVRAGE DE PONT DE FILLINGES PAR LES CHEVESNES POUR LES 3 ANNEES DE SUIVI. ....	42
FIGURE 34 : NOMBRE MENSUEL DES PASSAGES MOYENS (CALCULES SUR LES 29 MOIS DE SUIVI) EN MONTAISON ET EN DEVALAISON POUR LES 3 ESPECES DETECTEES AU NIVEAU DU DISPOSITIF TELEMETRIQUE DE L'OUVRAGE DE PONT DE FILLINGES ASSOCIE AU DEBIT MOYEN MENSUEL OBSERVE AU COURS DU SUIVI. ....	43
FIGURE 35 : GRAPHIQUES RELIANT DES TEMPS DE FRANCHISSEMENTS DES BARBEAUX ET DES TRUITES EN FONCTION DES VARIABLES ABIOTIQUES : (A) DEBIT HORAIRE, (B) TEMPERATURE HORAIRE, (C) MOIS DE FRANCHISSEMENT ET (D) HEURE DE FRANCHISSEMENT. ....	45
FIGURE 36 : COURBES DES DEBITS CUMULES OBSERVES LORS DES TRAVERSEES DE L'OUVRAGE DE PONT DE FILLINGES (MONTAISON ET DEVALAISONS CONFONDUES) PAR LES BARBEAUX FLUVIATILES ET LES TRUITES FARIO. ....	46
FIGURE 37 : (A) BOX-PLOTS MENSUELS DES TEMPERATURES HORAIRES DE LA MENOGE MIS EN RELATION AVEC LES TEMPERATURES ENREGISTREES AU MOMENT DES TRAVERSEES DE L'OUVRAGE (EN MONTAISON ET EN DEVALAISON) PAR LES BARBEAUX FLUVIATILES (BAF) ET LES TRUITES FARIO (TRF) ; (B) HEURE EN FONCTION DES MOIS DES TRAVERSEES DE L'OUVRAGE (EN MONTAISON ET EN DEVALAISON) PAR LES 2 ESPECES. ....	47
FIGURE 38 : NOMBRE D'INDIVIDUS RECAPTURES LORS DES OPERATIONS DE PECHE ELECTRIQUE DE SONDAGE OU A LA CANNE PAR DES PECHEURS AMATEURS DURANT LE SUIVI DE L'OUVRAGE DE PONT DE FILLINGES. ....	48
FIGURE 39 : DISTANCE PARCOURUE PAR LES INDIVIDUS RECAPTURES ENTRE LEURS POINTS DE MARQUAGE ET DE RECAPTURE EN FONCTION DU LAPS DE TEMPS ECOULES ENTRE LES 2 CONTACTS. ....	49
FIGURE 40 : LOCALISATION DES POINTS DE MARQUAGE ET DE RECONTACT DES 26 INDIVIDUS DETECTES LORS DE LA PROSPECTION MOBILE DU 13 JUIN 2017. ....	50
FIGURE 41 : HISTOGRAMMES DES ABONDANCES SPECIFIQUES SUR CHACUNE DES STATIONS PISCICOLES HISTORIQUES PROCHES DE PONT DE FILLINGES. ....	51
FIGURE 42 : VALEURS DE DENSITE (INDIVIDUS/10 ARES, BLEU) ET BIOMASSE (KG/HA, VERT) DE TRUITE FARIO PAR STATION DE SUIVI PISCICOLE. ....	52
FIGURE 43 : DEBIT MOYEN JOURNALIER DE LA MENOGE A BONNE CONFRONTE A LA REALISATION DES DIFFERENTES PHASES D'OPERATION. ....	62
FIGURE 44 : CHRONOLOGIE EN IMAGES DE L'EVOLUTION DE LA HYDROMORPHOLOGIE DE L'OUVRAGE DEPUIS LA RECEPTION DES TRAVAUX EN OCTOBRE 2016 JUSQU'AU MOIS DE JANVIER 2017 AU RETOUR DE LA PERIODE DE BASSES EAUX. ....	63

## 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 .....	9
TABLEAU 3 : VALEURS GUIDES POUR LES TAILLES D'INDIVIDUS A MARQUER EN FONCTION DES TAILLES DE TRANSPONDEURS DISPONIBLES. ....	10
TABLEAU 5 : REPARTITION SPATIO-TEMPORELLE DES DONNEES PISCICOLES EXISTANTES A PROXIMITE DE L'OUVRAGE DE PONT DE FILLINGES. ....	15
TABLEAU 6 : VALEURS MAXIMALES DES DEBITS INSTANTANES ENREGISTREES LORS DES TESTS DE DETECTION DE SURFACE POUR LES 3 TAILLES DE TRANSPONDEURS SUR CHACUN DES 8 ANTENNES DU DISPOSITIF. ....	22
TABLEAU 7 : BILAN DES DETECTIONS PAR ANTENNE ET PAR TAILLE DE TRANSPONDEURS ASSOCIEES AUX DEBITS MINIMUM ET MAXIMUM OBSERVES AU COURS DU SUIVI RFID 2017-2019. ....	23
TABLEAU 8 : LONGUEURS TOTALES MOYENNE ET MEDIANE PAR ESPECE AU SEIN DE L'ECHANTILLON MARQUE DANS LE CADRE DU SUIVI DE L'OUVRAGE DE PONT DE FILLINGES. ....	28
TABLEAU 9 : DEFINITION DE L'AGE ADULTE DES 4 ESPECES DITES « MOBILES » A PARTIR DE LA BIBLIOGRAPHIE. ....	29
TABLEAU 10 : DECOMPTE PAR ESPECE DES INDIVIDUS DETECTES AU NIVEAU DU DISPOSITIF RFID DE L'OUVRAGE DE PONT DE FILLINGES POUR CHAQUE ANNEE DU SUIVI (DE 2017 A 2019) ET AU GLOBAL. ....	31
TABLEAU 11 : DECOMPTE PAR ESPECE DES INDIVIDUS DETECTES AU NIVEAU DU DISPOSITIF RFID DE L'OUVRAGE DE PONT DE FILLINGES POUR CHAQUE ANNEE DU SUIVI EN FONCTION DE LEUR ANNEE DE MARQUAGE. ....	32
TABLEAU 12 : EFFECTIFS DE POISSONS MARQUES ET DETECTES DANS LA ZONE 1 DE LA MENOGE COMPARES A CEUX DU GIFFRE AVAL (SOURCE CHASSERIEAU, 2019). ....	34
TABLEAU 13 : EFFECTIFS DE POISSONS MARQUES, « SUPPOSES MIGRANTS » ET DETECTES CLASSES PAR GROUPE DE COMPORTEMENT DE DEPLACEMENT DONNANT ACCES AUX PARAMETRES D'ATTRACTIVITE ET DE FRANCHISSABILITE. ....	37
TABLEAU 14 : TEMPS DE FRANCHISSEMENT, DE DEVALAISON ET DE SEJOURS MINIMA, MAXIMA ET MOYENS PAR GAMME DE DUREES OBSERVEES POUR CHACUNE DES ESPECES AU COURS DU SUIVI. ....	44

## TABLE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : PRECISION SUR L'ALIMENTATION DES ANTENNES IMPLANTEES COTE RIVE GAUCHE DE L'OUVRAGE .....	60
ANNEXE 2 : INSTALLATION DU DISPOSITIF DE DETECTION RFID SUR L'OUVRAGE DE PONT DE FILLINGES (CHASSERIEAU, 2017).....	62
ANNEXE 3 : COURBE DES DEBITS INSTANTANES CLASSES POUR CHAQUE ANNEE DU SUIVI ET IDENTIFICATION DES VALEURS DE DEBIT DE FONCTIONNEMENT « LIMITE » DEFINI AU 4.1.2 .....	64
ANNEXE 4 : LOCALISATION DES POINTS DE MARQUAGE (DE 2016 A 2018) POUR CHACUNE DES ESPECES CIBLES.....	65
ANNEXE 5 : COMPARAISON DES DEBITS MOYENS MENSUELS DE LA MENOGE A BONNE (STATION DREAL V0235020) ENTRE MAI 2017 ET OCTOBRE 2019. ....	67
ANNEXE 6 : DEBITS HORAIRE CUMULES DE LA MENOGE A BONNE (STATION DREAL V0235020) A DIFFERENTES PERIODES DE L'ANNEE AU COURS DU SUIVI DE 29 MOIS. ....	68

# 1 Introduction et contexte de l'étude

L'ouvrage du pont de la RD1097 à Pont de Fillinges (N°ROE 35046) est situé sur la Menoge aval (tronçon de rivière de 9 m et 22 m de large pour une pente moyenne de 11‰), à environ 10 km de la confluence avec l'Arve (Figure 1). Ce cours d'eau, classé en réservoir biologique, a un état écologique médiocre. Les risques de non atteinte du bon état (prévu en 2027) sont liés à l'hydrologie, la continuité, les substances dangereuses et les matières organiques et oxydables.

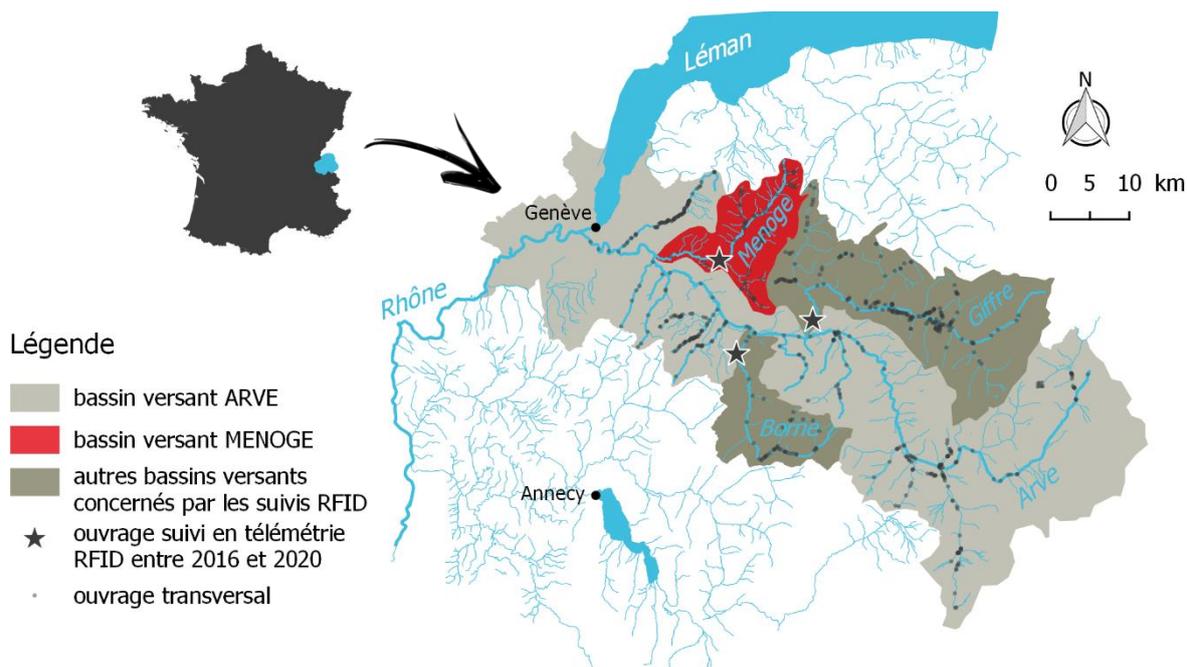


Figure 1 : Localisation du site d'étude et des autres suivis d'ouvrage mis en œuvre sur le bassin versant de l'Arve.

Cet ouvrage représentait jusqu'alors une barrière infranchissable de 6 m de haut pour la faune piscicole mais également pour la grande faune qui ne pouvait emprunter la berge incisée et contrainte sur chaque rive (Figure 2).

En effet, les extractions de granulats du début du siècle ont engendré une forte incision du lit de la Menoge qui se chiffrait jusqu'à 6 m. L'ouvrage en question constituant un point dur, limitant l'érosion en amont. Néanmoins, cette situation provoquait des risques de déstabilisation de l'ouvrage, c'est pourquoi le Conseil Départemental de la Haute-Savoie (CD 74) (le propriétaire) a entrepris en 2010 une étude sur les problématiques hydrauliques, géomorphologiques et écologiques de ce secteur dans le but de définir des aménagements pour stabiliser durablement l'ouvrage du pont de la RD1907.

Les travaux de confortement ont été réalisés entre mai et octobre 2016. L'aménagement de rétablissement de la continuité écologique est constitué d'un coursier unique en enrochements libres de 224 m linéaire avec un écoulement préférentiel central, appuyé contre les "restes" de l'ancien seuil du pont. Cette rampe enrochée, conçue pour un franchissement par la faune piscicole, en particulier la truite commune et l'ombre commun comme mentionné dans le Dossier Loi sur l'Eau (DLE), est composée de 12 sections à 7,5 % de 7 ml et de 12 sections de 2,5 % de 10 ml.



Figure 2 : Ouvrage du pont de Fillinges sur la Menoge 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.

L'aménagement du seuil du pont de Fillinges est un dispositif de franchissement conséquent qui a nécessité une grande quantité de matériaux pour remblayer le lit érodé de la Menoge. C'est un ouvrage sans précédent qui a permis de rétablir un profil en long homogène pour la Menoge (Figure 3). Ce premier point satisfaisant sur le plan paysager reste à évaluer pour vérifier et quantifier les déplacements piscicoles via l'ouvrage. La maîtrise d'ouvrage du suivi du franchissement piscicole effectué via la technologie de télémétrie RFID (Radio Fréquence Identification) a été confiée à la Fédération Départementale des Associations Agréées de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique de Haute-Savoie (FDAAPPMA 74).

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. En plus de l'efficacité des travaux entrepris, ce suivi donnera des éléments sur la dynamique piscicole sur ce secteur de la Menoge.



Figure 3 : Aménagement de l'ouvrage du Pont de Fillinges à différentes saisons et différents débits.

## 2 Objectifs

Les objectifs de ce suivi sont de :

- Evaluer l'efficacité de franchissement de la rampe en enrochements libres par les différentes espèces piscicoles présentes dans la Menoge 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 de la Menoge et la station limnimétrique N°V0235020 située à Bonne, soit 2.6 km en aval 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

#### 3.1 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 4). 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.

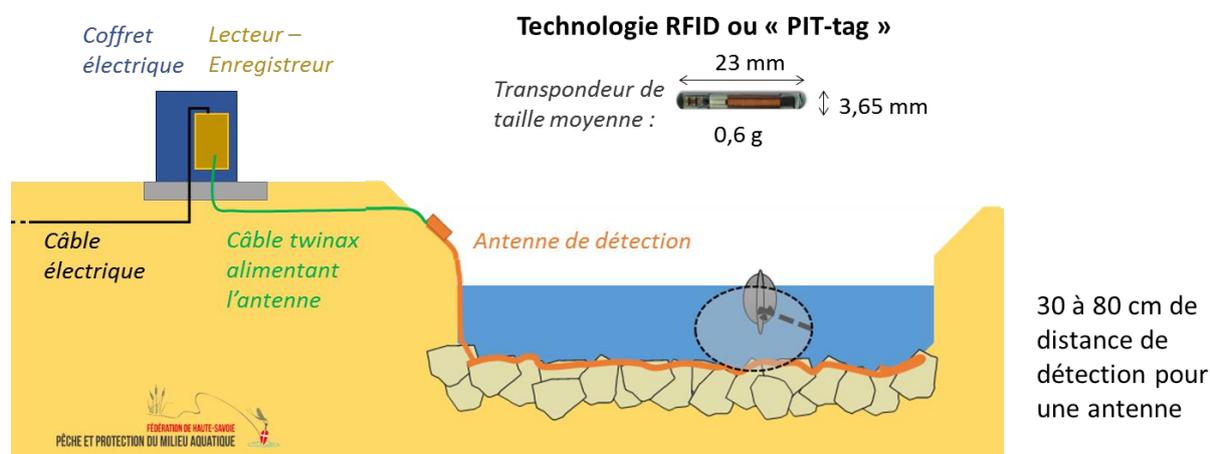


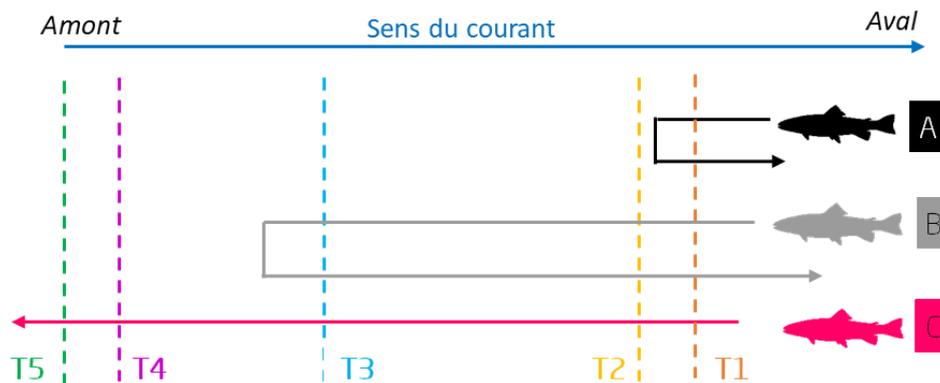
Figure 4 : Principe de fonctionnement des antennes PIT-tag

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).

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

L'ouvrage de franchissement du seuil de Pont de Fillings est une grande rampe enrochée de 224 m de long. Afin de définir le sens de passage des poissons marqués et de connaître l'évolution de leurs déplacements dans l'ouvrage, il a été fait le choix de munir la rampe de plusieurs transects d'antennes de détection. Cette configuration permet d'identifier si un poisson entre par l'amont ou l'aval de l'ouvrage et d'avoir une détection intermédiaire pour évaluer sa progression dans l'ouvrage (Figure 5).



**Poisson A** détecté sur T1 = présentation à l'aval de l'ouvrage sans volonté de le franchir

**Poisson B** détecté sur T1, T2 et T3 en montaison puis en dévalaison = montaison partielle de l'ouvrage (temps de montaison, temps de résidence sur l'ouvrage...)

**Poisson C** détecté sur les 5 transects (de T1 jusqu'à T5) = montaison (temps de montaison partiel puis global, période de montaison...)

Figure 5 : Schéma de principe pour la définition du sens de passage des poissons détectés par un dispositif RFID composé de plusieurs transects d'antennes de détection.

En plus de pouvoir décrire finement les déplacements piscicoles à travers l'ouvrage de franchissement, une telle disposition permet de palier à d'éventuelles pertes de données liées au dysfonctionnement d'une antenne et de garantir au moins une description partielle du passage d'un poisson marqué.

L'ouvrage de franchissement est conçu de telle manière à ne pas contraindre le lit mineur existant qui mesure entre 16 m et 26 m de large. Aussi pour conserver une hauteur de détection satisfaisante (d'au minimum 40 à 50 cm autour d'une antenne) et en tenant compte des contraintes techniques et de terrain, il a été fait le choix de confectionner des antennes de moins de 16 m de long. Dans la mesure du possible, les profils en travers les plus étroits ont été sélectionnés mais les positions amont et aval de l'ouvrage sont immuables. Les antennes sont donc implantées sur les profils en travers P2, P12 et P25 (Figure 6). Pour optimiser les détections sur la partie amont de l'ouvrage, du fait que ces antennes valident le franchissement, un design court a été privilégié ; la largeur du lit mineur est donc couverte sur cette section par des paires d'antennes plutôt que par une antenne individuelle comme cela a pu être fait sur l'aval de l'ouvrage. Les antennes implantées côté rive gauche sont alimentées par un câble protégé dans un fourreau passant sous l'ouvrage (voir Annexe 1).

Ainsi le dispositif RFID mis en place sur l'ouvrage de franchissement de Pont de Fillings est constitué de 8 antennes plates (dite « pass - over ») dont les caractéristiques sont définies dans le Tableau 1. Elles sont reliées à 5 lecteurs / enregistreurs de marque Oregon RFID (Figure 6). L'installation du dispositif RFID a été effectuée entre 20 février et le 05 avril 2017 (voir Annexe 2).

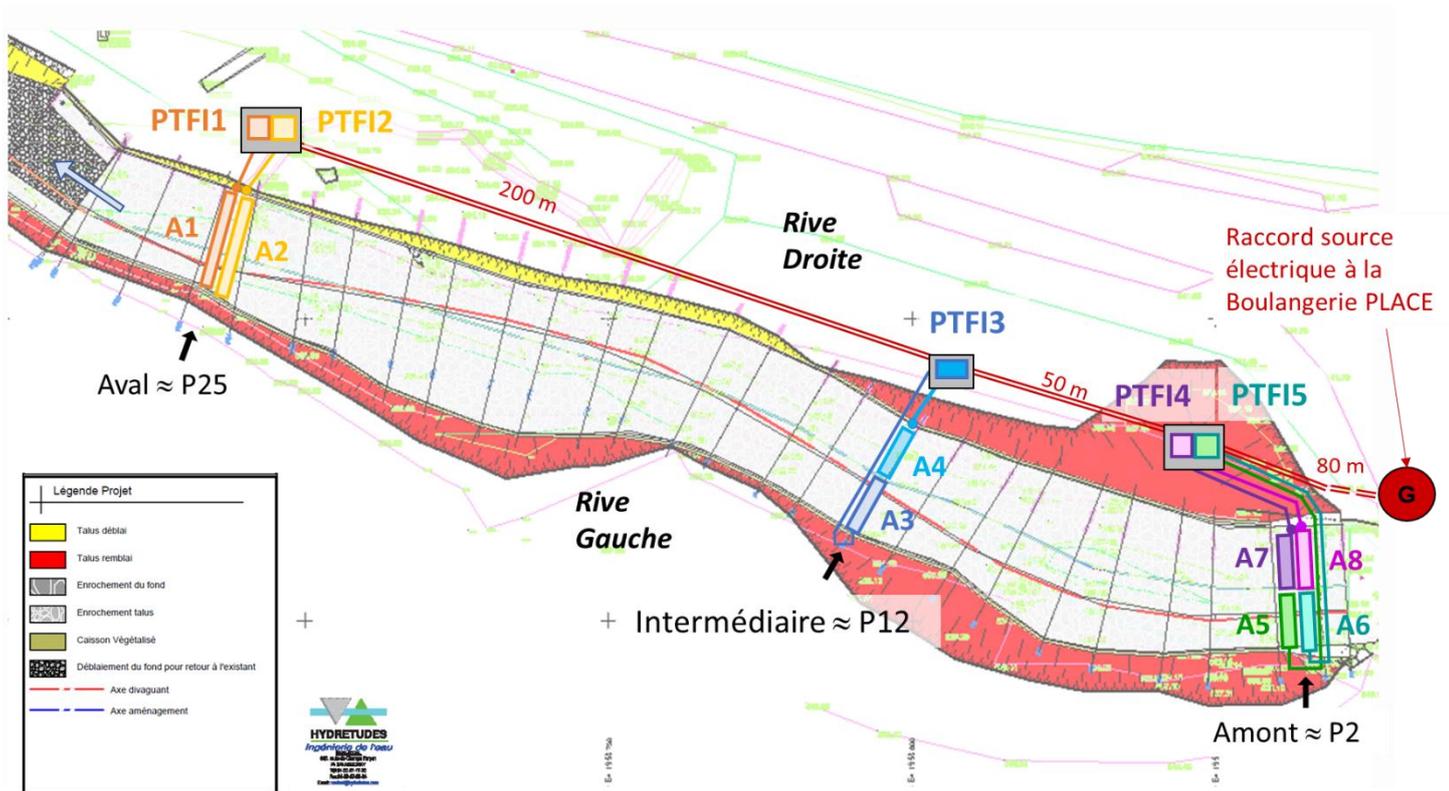


Figure 6 : Schéma d'implantation des différents éléments qui composent le dispositif de détection RFID mis en place pour le suivi de l'ouvrage de franchissement de Pont de Fillings.

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

Antenne	Position	Forme	Longueur (m)	Largeur (m)	Section câble (mm <sup>2</sup> )	Nb de spires	Distance de détection (cm) tag 32 mm
A1	Aval	à plat	16	0,6	50	1	60 à 65
A2		à plat	16	0,6	50	1	60 à 65
A3	Intermédiaire	à plat	11	0,6	50	1	40 à 45
A4	Intermédiaire	à plat	12	0,6	50	1	40 à 45
A5		à plat	9,5	0,6	50	1	60 à 65
A6	Amont	à plat	10	0,6	50	1	60 à 65
A7		à plat	15	0,6	50	1	40 à 45
A8	Amont	à plat	15	0,6	50	1	40 à 45

Les antennes sont fixées à la surface de l'ouvrage, sur les « faces aval » des blocs à l'aide de goujons d'ancrage (Figure 7). Cette solution a été choisie pour que les antennes restent à demeure durant toute la durée du suivi. Elle a pu être envisagée du fait que les blocs de surface constituant la rampe sont imposants (blocométrie de 3 à 4 tonnes) et ne risquent pas (ou peu) à court terme de se déstabiliser.



Initialement le dispositif de suivi télémétrique devait être alimenté électriquement par le réseau électrique communal. Ne trouvant de solution technique dans un laps de temps court permettant de commencer le suivi piscicole dès 2017, une source électrique privée a été privilégiée. Ainsi, la boulangerie PLACE située en amont immédiat du pont en rive droite, fournit (sous convention) depuis le 12 mai 2017 l'électricité nécessaire pour alimenter les 5 lecteurs durant tout le suivi (Figure 8).



Figure 8 : Localisation de la source électrique privée et du cheminement du câble électrique enterré qui alimente le dispositif télémétrique.

### 3.3 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 13 jours de captures, opérés entre le 29 juin 2016 et le 19 septembre 2018 qui ont permis de prospecter un cumul de 13,68 km (Tableau 2).

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

Cours d'eau	Date	Linéaire prospecté (m)	Total prospecté (m)	Opérateur	SONDAGE	INVENTAIRE	Raison	Débit (m <sup>3</sup> /s) <sup>(a)</sup>
ARVE	28/02/2018	811	811	FDAAPPMA 74	X		Marquage RFID - suivi	27,00
FORON DE FILLINGES	10/10/2016	677	3483	FDAAPPMA 74	X		Marquage RFID - suivi	0,60
	19/04/2017	1403		FDAAPPMA 74	X		Marquage RFID - suivi	0,83
	27/03/2018	1403		FDAAPPMA 74	X		Marquage RFID - suivi	2,57
MENOGE	29/06/2016	247	9387	SAGE ENVIRONNEMENT	X		Pêche avant travaux	1,53
	19/09/2016	111		FDAAPPMA 74	X		Marquage RFID - suivi	1,10
	19/10/2016	1301		FDAAPPMA 74	X		Marquage RFID - suivi	0,69
	24/10/2016	1491		FDAAPPMA 74	X		Marquage RFID - suivi	0,67
	19/04/2017	874		FDAAPPMA 74	X		Marquage RFID - suivi	0,83
	20/04/2017	3851		FDAAPPMA 74	X		Marquage RFID - suivi	0,82
	19/06/2017	1104		FDAAPPMA 74	X		Marquage RFID - suivi	0,74
	29/08/2017	269		AFB	X		Pêche réseau	0,38
	19/09/2018	137		FDAAPPMA 74		X	Observatoire départemental	0,27

<sup>(a)</sup> Pour la Menoge et le Foron de Fillinges, la station limnimétrique de référence est celle de la DREAL à Bonne (V0235020)  
Pour l'Arve, c'est celle tenue par l'OFEV à Genève : station du Bout du Monde (2140)

L'aménagement réalisé à Pont de Fillinges a une vocation d'être multispécifique c'est-à-dire qu'il est conçu pour rendre possible les déplacements de toutes les espèces piscicoles. Aussi, les espèces ciblées pour le suivi sont celles en présence sur le tronçon de la Menoge aval (sauf les petites espèces communes comme la loche franche ou le vairon). L'échantillonnage s'est focalisé sur les 7 espèces suivantes (par ordre d'importance en fonction des densités observées dans le peuplement piscicole en place) : le barbeau fluviatile, la truite fario, le chevesne, l'ombre commun, le blageon, le spirin et le chabot.

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, Spirilin	Chevaine	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 9)



Figure 9 : 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 chaque grande espèce (truite fario, barbeau fluviatile et chevesne). Les petites espèces (chabot, spirin et blageon) n'étant pas connues pour effectuer des « longs » déplacements, les objectifs de détection sont plus modestes.

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

### 3.4 Bancarisation des données télémétriques issues du dispositif fixe

Dans un premier temps, une visite hebdomadaire du site d'étude permettait le téléchargement des données ainsi que la vérification du bon fonctionnement de l'ensemble du dispositif RFID. Cependant dans un souci de gain de temps et d'optimisation des déplacements du personnel, une solution de téléchargement des données à distance via des modems a été privilégiée. Le kit « PIT-data Transfer System » développé par Scimabio Interface a été installé pour chaque lecteur-enregistreur au mois de juillet 2017. Associé à un abonnement GSM chez l'opérateur proposant le meilleur réseau sur le site, il transfère quotidiennement sur un serveur ftp les données générées par chaque lecteur-enregistreur. Cette installation a permis de vérifier le fonctionnement des antennes à distance et de réduire la fréquence des visites in situ. Suite à l'installation du kit « PIT-data Transfer System », il a été effectué en moyenne 1 à 2 visites mensuelles sur site pour la maintenance du dispositif et les tests de détection.

La Figure 10 décrit le format des données générées par les lecteurs-enregistreurs Oregon RFID.

```
Upload #21
Reader: ptfi3 Site: AA
D 2018-01-24 19:12:21.88 00:00:00.60 HW 0000_0000000000000356 A3 4 8934
D 2018-01-24 19:31:11.31 00:00:00.20 HW 0000_0000000000000337 A4 2 8933
E 2018-01-24 19:33:00.01 14.9V 0.20A 0.00A 0.00A 2.16A 1.95A ON ON 3N
D 2018-01-24 19:42:20.07 00:00:00.20 HW 0000_0000000000000356 A3 2 8935
D 2018-01-24 20:01:09.30 00:00:00.20 HW 0000_0000000000000337 A4 2 8936
D 2018-01-24 20:12:18.66 00:00:00.00 HW 0000_0000000000000356 A3 1 8939
```

Figure 10: Format des données générées par un lecteur-enregistreur Oregon RFID

Après un prétraitement sous Excel (suppression des lignes « d'erreurs » et inutiles pour les futures analyses), les données de détections sont compilées sous Access pour être reliées aux caractéristiques biologiques des individus et aux informations spatio-temporelles de leur lieu de marquage.

### 3.5 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 en plusieurs points de la zone d'étude afin de les confronter aux mouvements piscicoles détectés au niveau du dispositif RFID.

#### 3.5.1 Le débit

Deux stations hydrologiques, l'une sur la Menoge à Bonne (V0235020) gérée par la DREAL Rhône-Alpes et l'autre sur l'Arve à Genève au Bout du Monde (V2140) gérée par l'OFEV, ont été utilisées pour obtenir les données de débit de ces cours d'eau durant la période de suivi (Figure 11). L'analyse est faite à partir du débit horaire.

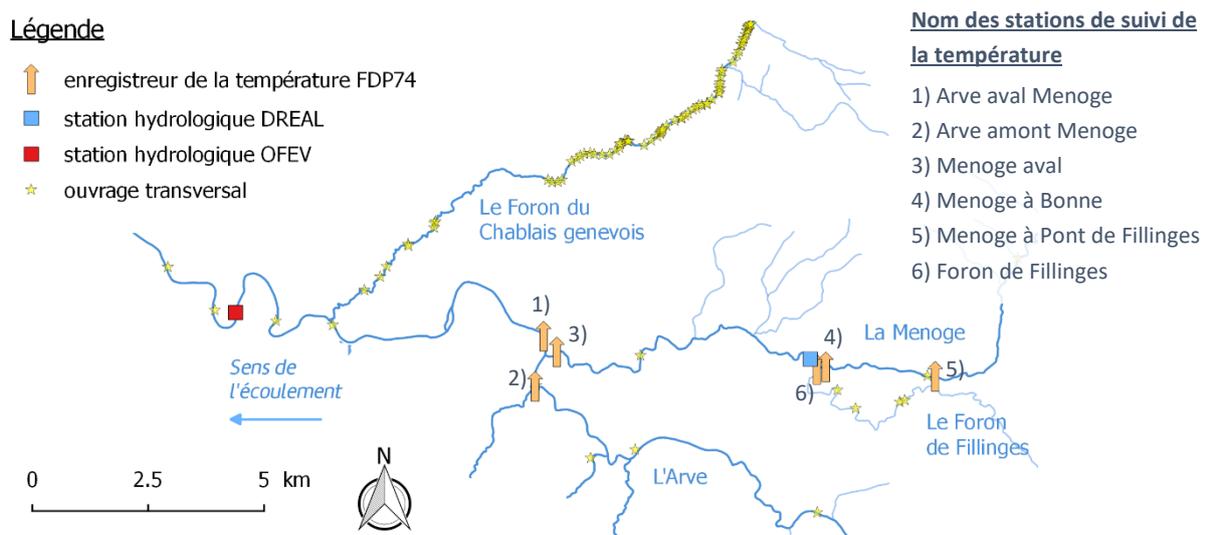


Figure 11 : Localisation des stations de suivi de débit et de température utilisées pour caractériser les conditions abiotiques du milieu, associées aux producteurs des données.

### 3.5.2 La température

Pour bien appréhender ce paramètre, des thermogrammes ont été posés sur les 3 cours d'eau du périmètre d'étude et enregistrent la température de l'eau au pas de temps horaire durant toute la durée du suivi (Figure 11). 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 *MACMASalmo1.0* (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 6 stations de l'aire d'étude.

Lors de la 1<sup>ère</sup> année du suivi, 3 thermogrammes ont rencontrés des dysfonctionnements (ceux de Arve amont Menoge, Menoge aval, et Foron de Fillings). La chronique de données thermiques est complète pour les 6 stations entre juin 2018 et novembre 2019.

Le profil thermique de l'Arve est le plus tamponné avec des températures moyennes journalières qui avoisinent les 12°C contre une gamme de température comprise entre 16°C et 24°C pour la Menoge et le Foron de Fillings (Figure 12). En hiver, les 3 rivières présentes des températures moyennes journalières équivalentes. Le Foron de Fillings est plus frais en été que le cours principal de la Menoge ; ses amplitudes journalières n'excèdent jamais 5°C tout comme celles de l'Arve aval Menoge (Figure 13). Il existe un gradient thermique croissant entre la Menoge à Pont de Fillings et celle à l'aval. La température de la Menoge à Bonne (en amont de la confluence du Foron de Fillings) ne suit pas ce gradient, et suivant les saisons, elle est soit supérieure ou inférieure à celle de Pont de Fillings.

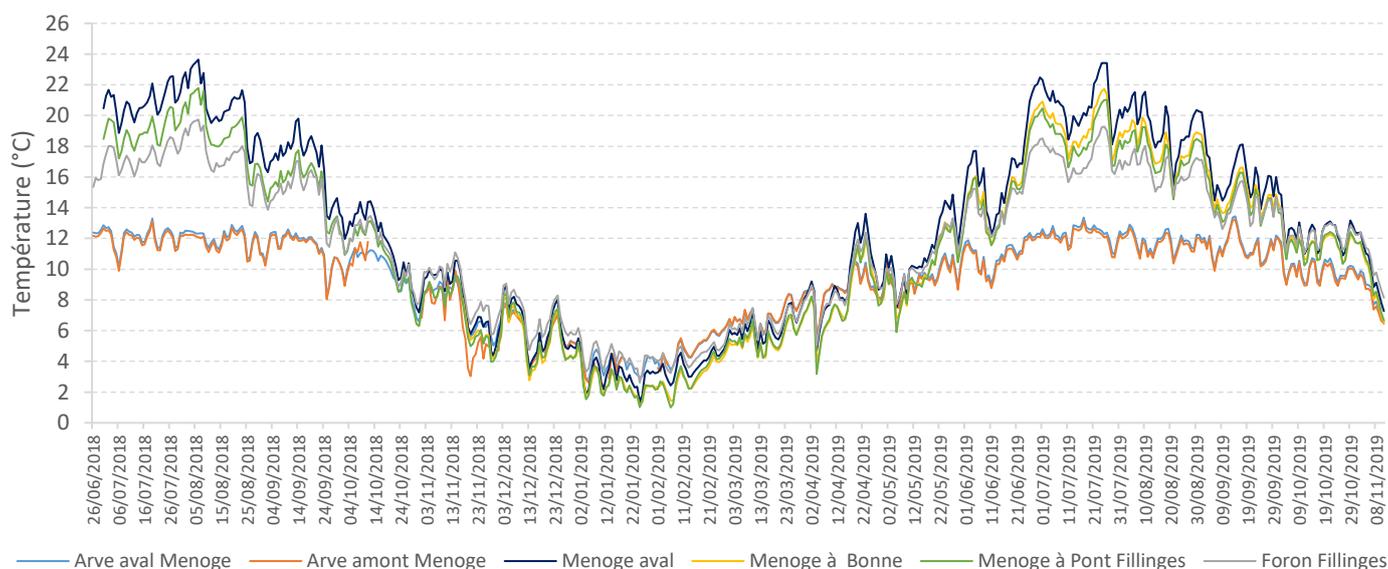


Figure 12 : Températures moyennes journalières des 6 stations de suivi de la température (données entre juin 2018 et novembre 2019).

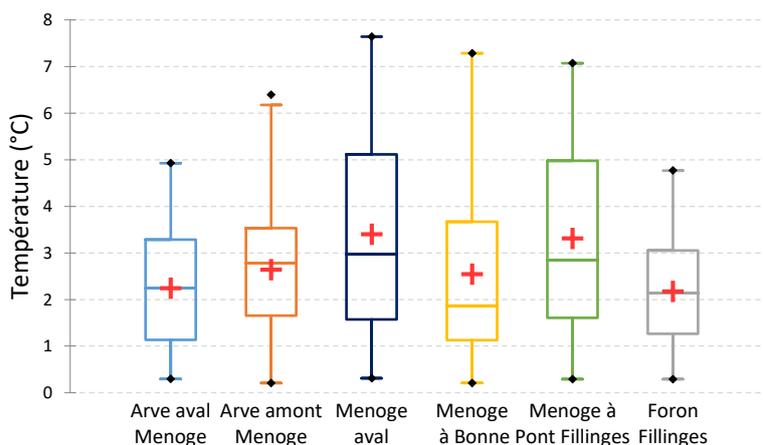


Figure 13 : Box-plots des amplitudes thermiques journalières entre juin 2018 et novembre 2019 des 6 stations du suivi de la température.

Suite à ce constat, il a été fait le choix de privilégier les données acquises à Pont de Fillings pour caractériser les déplacements piscicoles au niveau de l'ouvrage et ce quelle que soit l'origine des individus marqués.

### 3.6 Acquisition d'autres données piscicoles

#### 3.6.1 Prospection mobile (technologie RFID)

Les premiers marquages ayant eu lieu en 2016, c'est à dire avant la mise en fonctionnement du dispositif de détection fixé sur l'ouvrage de franchissement de Pont de Fillings, un certain nombre d'individus marqués ont pu franchir l'aménagement au cours de la période de novembre 2016 à mai 2017. Afin de quantifier cette part d'individus, une prospection avec des antennes de détection mobiles a été réalisée le 13 juin 2017 entre Pont de Fillings et chez Mermier, soit un linéaire de 3.2 km en amont du site d'étude (Figure 14).

Le dispositif de détection « mobile » est constitué d'une antenne circulaire reliée à un lecteur-enregistreur alimenté par une batterie (14.8V), et d'un « bippeur » sonore pour prévenir l'opérateur lorsqu'un poisson marqué est détecté. Les distances de détection maximales varient entre 80 cm et 50 cm suivant la taille du transpondeur et les conditions du milieu. La prospection est réalisée par plusieurs opérateurs munis chacun d'un système de détection. Ils « balayent » la rivière avec les antennes et en avançant de front face au courant (Figure 14). L'avancement de la prospection est géoréférencée à la seconde à l'aide d'un GPS (marque GARMIN, modèle GPS Map 62S). L'heure de ce dernier est préalablement synchronisée avec celles des lecteurs-enregistreurs afin d'obtenir la position précise de chaque poisson détecté.

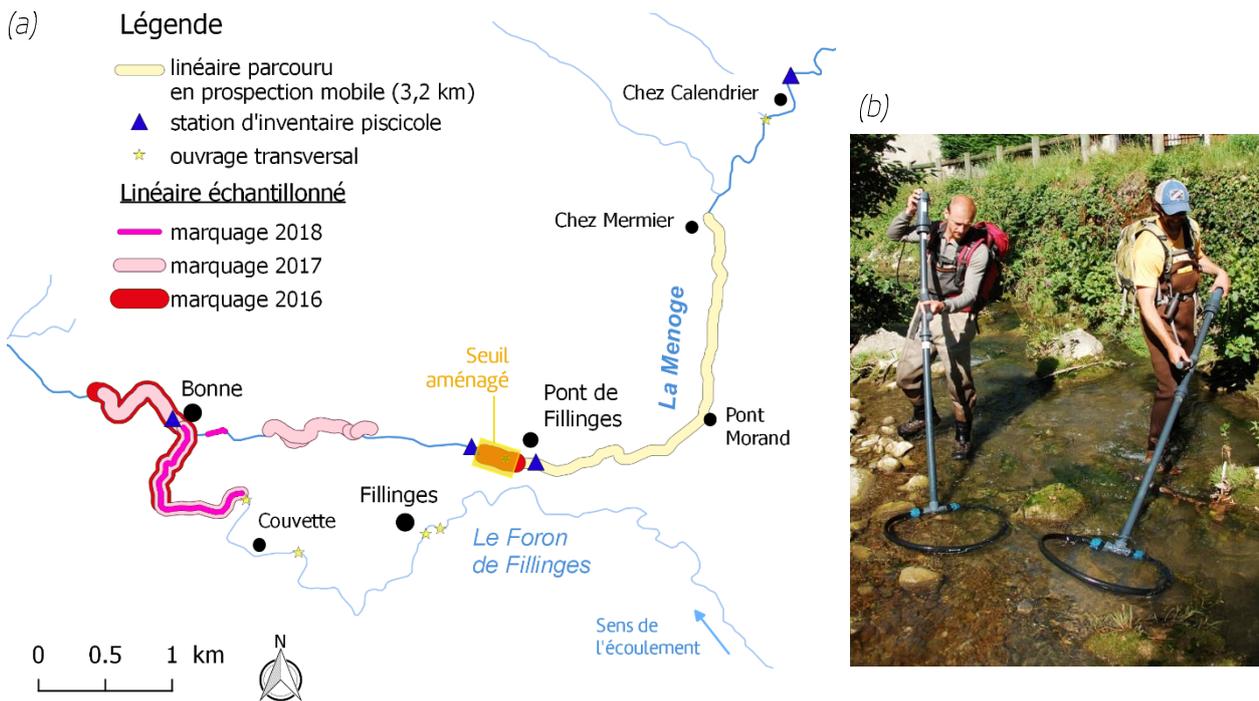


Figure 14 : Prospection mobile (a) localisation du linéaire par rapport au site étudié et aux zones de marquage; (b) photo de l'utilisation in situ des dispositifs portables.

### 3.6.2 Pêches d'inventaire

Suite à l'aménagement du seuil de Pont de Fillings, des mouvements piscicoles sont nouvellement possibles. Leur impact sur les peuplements en place en amont de l'ouvrage peut être estimé en comparant les données historiques issues d'inventaires et de sondages depuis 2008 (1<sup>ère</sup> année après la crue cinquantennale de 2007). Le Tableau 4 dresse la liste des données disponibles sur un secteur de 8 km englobant la zone d'aménagement (voir aussi Figure 14). Elles ont été acquises pour la majorité par la FDAAPPMA 74 dans les cadres de la diagnose de la Menoge en 2008 (HUCHET, 2012), du suivi de la pollution au xylophène survenue en 2010 (2011 à 2014) et de l'observatoire départemental des populations piscicoles (2018 et 2019). Les données de 2010 sont issues de l'étude environnementale avant-projet de l'aménagement de Pont de Fillings (producteur: Sage Environnement pour le compte du CD74).

Tableau 4 : Répartition spatio-temporelle des données piscicoles existantes à proximité de l'ouvrage de Pont de Fillings.

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

CdE	Station	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
MENOGE	Chez Calendrier				P4	P4		P4				P4	P4
	Pont de Fillings (amont)			P4	<i>Seuil du Pont de la RD infranchissable</i>								
	Pont de Fillings (aval)			P4									
	Confluence Foron Fillings	P4										X	
	Station pompage Les Moulins	P4											

### 3.7 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 T (test T) a été utilisé pour comparer les moyennes de débits de 2018 et 2019.

Le test de Kolmogorov-Smirnov (KS) a été utilisé pour comparer les débits moyens mensuels des 3 années du suivi et vérifier si leur distribution était comparable.

## 4 Résultats discutés

### 4.1 Fonctionnement du dispositif de détection

#### 4.1.1 Alimentation et réglage des antennes

Le fonctionnement du dispositif RFID est vérifié à l'aide de PIT-tags « témoin » 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.

Le dispositif de détection RFID du seuil du pont de Pont de Fillinges sur la Menoge était fonctionnel et alimenté en électricité dans son intégralité depuis le 12 mai 2017. La Figure 15 fait état du fonctionnement de chacune de ses 8 antennes au cours de la période mai 2017 à octobre 2019 mis en relation avec le débit moyen journalier de la Menoge.

Il apparaît que la période de hautes eaux entre décembre 2017 et avril 2018 a perturbé le bon fonctionnement du dispositif (nombre de détections journalières par antenne inférieur à 48). Il est à préciser qu'en moins d'un mois, la Menoge subit 2 pics de crue quinquennale (11 décembre 2017 et 4 janvier 2018) et un pic de crue cinquantennale (22 janvier 2018).

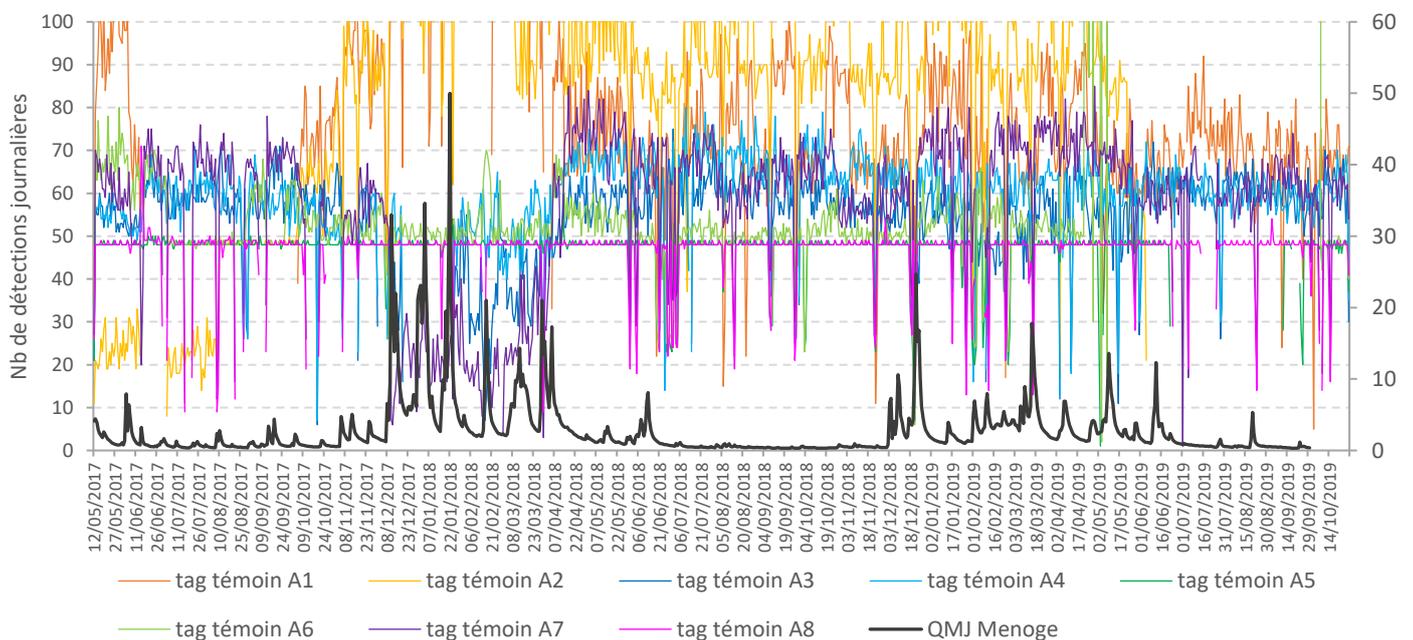
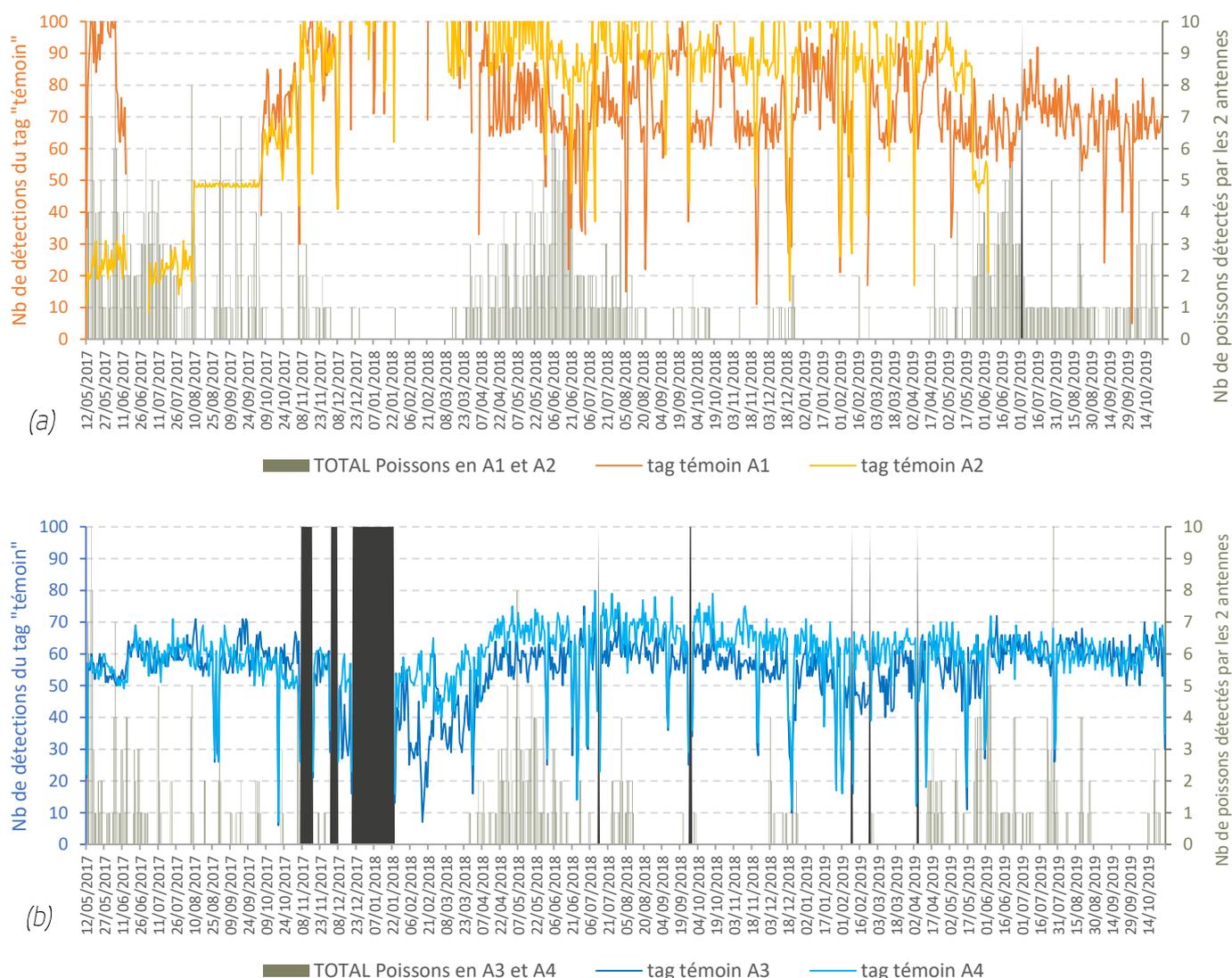


Figure 15 : Nombres de détections journalières des « PIT-tags témoins » décrivant le bon fonctionnement de chacune des 8 antennes constituant le dispositif de détection RFID, couplés au débit moyen journalier de la Menoge enregistré à la station hydrologique V0235020 de la DREAL à Bonne.

Sur la totalité de la période de suivi, on remarque des variations importantes du nombre journalier de détections des PIT-tags témoins sur la majorité des antennes. Cette instabilité observée peut provenir de multiples facteurs : « bruit » lié à l'environnement du site, interférences entre les lecteurs implantés côte à côte, dysfonctionnement du boîtier du PIT-tag témoin... Seules les antennes A5 et A8 montrent une stabilité dans le nombre de détections journalières de leur PIT-tag témoin tout au long du suivi. Pour les autres antennes, les PIT-tags témoins sont détectés plus de 48 fois par jour, ce qui signifie que l'antenne fonctionne mais un nombre trop élevé de détections du PIT-tag témoin (toutes les minutes par exemple, comme cela a pu être le cas sur A6 entre mai et juin 2019) n'est pas satisfaisant puisqu'il peut engendrer une perte de données par le phénomène de collision de PIT-tags. C'est-à-dire que lorsque plusieurs PIT-tags se présentent en même temps sur l'antenne, cette dernière n'est pas capable de les lire de manière simultanée ; un décalage de quelques millisecondes entre les PIT-tags est nécessaire pour qu'elle puisse tous les identifier.

Lorsqu'on regarde le fonctionnement des 4 couples d'antennes indépendamment, plusieurs périodes de dysfonctionnement sont à mentionner (Figure 16).



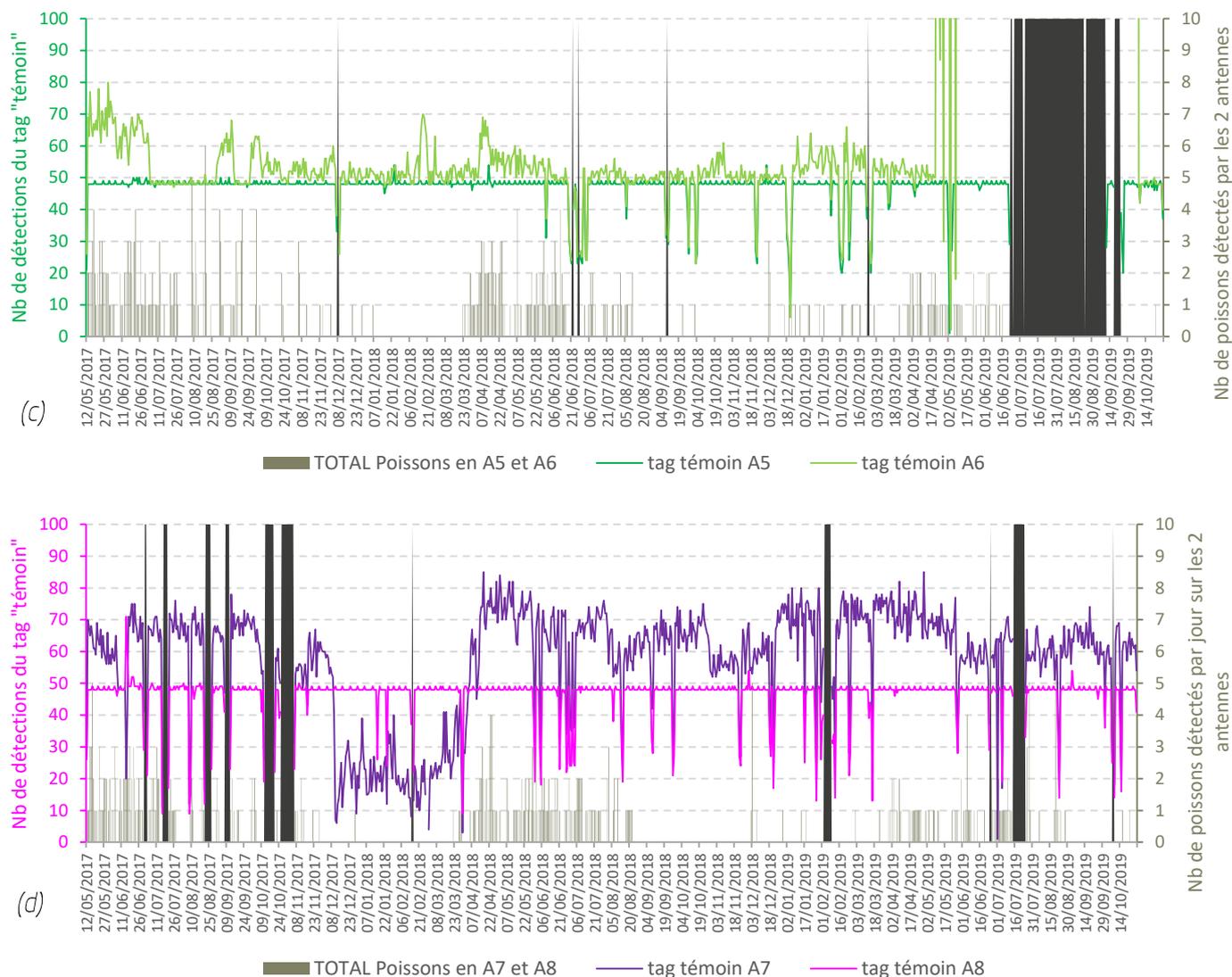


Figure 16 : Nombre de détections journalières du «PIT-tag témoin » décrivant le bon fonctionnement de l'antenne couplé au nombre journalier de poissons distincts (toutes espèces confondues) détectés par l'antenne. (a) Antennes A1 et A2 situées à l'aval ; (b) Antenne A3 et A4 situées au milieu de l'ouvrage ; (c) Antennes A5 et A6 situées en amont côté rive gauche ; (d) Antennes A7 et A8 situées en amont côté rive droite.

Les barres verticales noires indiquent un arrêt (soit une perte de données) sur le couple d'antennes concerné.

Le couple A1 / A2 qui valide l'entrée dans l'ouvrage a joué son rôle tout au long du suivi malgré le nombre important de détections journalières du PIT-tag témoin. Les lecteurs de ces deux antennes étaient implantés dans un même coffret métallique. On a pu déceler de nombreuses interférences entre ces deux lecteurs qui peuvent expliquer des détections « parasites » du PIT-tag témoin. On notera qu'à partir du mois de juin 2019 le lecteur 2 a cessé de fonctionner. Ainsi seul le lecteur 1 (antenne A1) valide l'entrée sur la rampe enrochée pour la dernière vague de migration 2019

Le couple A3 / A4 qui permet d'évaluer l'avancée des individus dans l'ouvrage, a eu plusieurs périodes de dysfonctionnement dont deux petites notables aux mois de novembre 2017 et début décembre 2017 (respectivement 10 jours et 6 jours) et une plus conséquente fin décembre 2017 – début janvier 2018 (35 jours). Ces problèmes de fonctionnement ont été provoqués par une chute de l'ampérage des antennes induite d'un décalage des câbles. En effet, lors des premiers événements hydrologiques sur l'ouvrage, les câbles fixés au fond du lit constituant les antennes sont amenés à légèrement bouger avec le transport des matériaux. Généralement ils se calent par la suite jusqu'à la prochaine crue morphogène.

Au regard de la dynamique des détections journalières de poissons sur les autres antennes, ces trous dans l'acquisition de données en A3 et A4 (soit 6 % du temps du suivi) ne semblent pas engendrer une grande perte d'information. En fin d'année 2017 et début 2018, le taux de contact journalier sur les antennes est au maximum d'un poisson / jour.

Les couples A5 / A6 et A7 / A8 permettent de valider la sortie vers l'amont de l'ouvrage, respectivement côté rive gauche et côté rive droite. Le couple A5 / A6 se situe du côté de l'écoulement principal sur l'amont de l'ouvrage lorsque le débit de la Menoge est inférieur ou égal à son module<sup>1</sup> (Figure 17) ; son rôle semble donc majeur en période d'étiage.

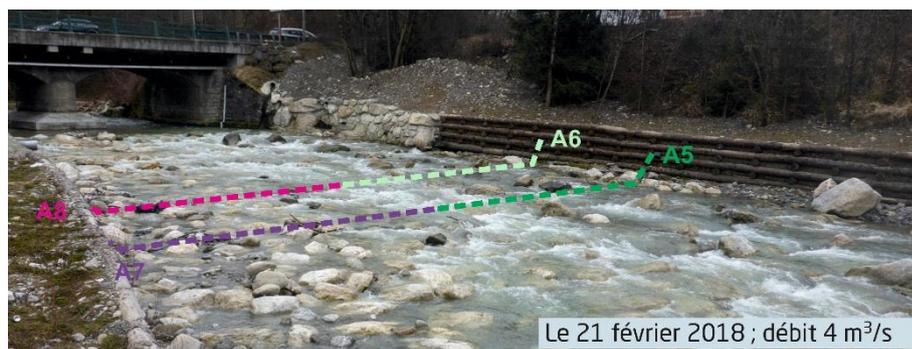


Figure 17 : Implantation des 4 antennes amont du dispositif par rapport à l'écoulement du chenal principal de la Menoge.

Ces deux antennes (A5 et A6) ont bien fonctionné jusqu'au 22 juin 2019. A partir de cette date, les données de franchissement ne sont que partielles puisque seules les antennes A7 et A8 étaient en fonctionnement et ont permis de valider le passage des poissons.

Pour évaluer ce manque de données en A5 et A6 sur la fin du suivi, la période de migration 2018 (de mars à octobre) a été prise en référence du fait que i) les 4 antennes ont eu un bon état de fonctionnement sur toute la période et que ii) la gamme de débits observés en 2018 et 2019 sur cette période n'est pas significativement différente (test T,  $p > 0.05$ ). Il apparaît que sur les 44 poissons détectés à cette période sur l'amont de l'ouvrage, 48 % ont été enregistrés sur les 4 antennes, 30 % par le couple A7 / A8 et 23 % par le couple A5 / A6. Aussi sur la période de non fonctionnement des antennes A5 et A6 en 2019 (c'est-à-dire de fin juin à début septembre), 20 poissons ont été détectés sur les antennes A7 et A8. On estime donc la perte d'information sur le franchissement 2019 pour 5 individus.

<sup>1</sup> Le module de la Menoge calculé à la station DREAL de Bonne (V0235020) est estimé à 3.530 [3.250 ; 3.840]

Le couple A7 / A8 a eu plusieurs courtes périodes de dysfonctionnement dont la majorité a eu lieu lors du 1<sup>er</sup> semestre de suivi (se chiffrant entre 2 à 11 jours d'interruption, soit 34 jours cumulés). Sur cette période (juillet à novembre 2017), le débit horaire de la Menoge a été enregistré entre 0.36 et 12.5 m<sup>3</sup>/s à la station de Bonne (moyenne = 0.72 m<sup>3</sup>/s ( $\pm$  0.99)). Lorsque l'on regarde le nombre de poissons identifiés par chaque couple d'antennes sur cette période (n = 35), il apparaît que 43 % des individus sont détectés sur les 4 antennes et 29 % par chaque couple respectif. Lors des jours de dysfonctionnement des antennes A7 et A8, 2 individus ont été détectés sur A5 et A6. On peut donc considérer une perte éventuellement de données à cette période en A7 et A8 sur un même effectif d'individus

Deux autres interruptions du lecteur 4 (alimentant A7 et A8) sont à noter : la première de 6 jours en février 2019 considérée sans conséquence pour l'acquisition de données et la seconde de 10 jours en juillet 2019 où le flux journalier de poissons se chiffrait de 2 à 4 poissons sur les antennes A3 et A4 situées en aval. Ces dernières ont identifiées 3 individus distincts dont 2 ont été captés par A7 et A8 avant et/ou après les 10 jours d'arrêt du lecteur 4. La perte éventuelle d'information se limite donc à un poisson.

Ainsi, sur la durée du suivi, on considère que l'incertitude sur le franchissement concerne 8 individus au total, soit 8 % de l'effectif contacté en A3 et A4 (n = 95). Cependant lorsqu'on individualise les 3 années de suivi, ce pourcentage d'incertitude est moindre et reste acceptable.

Les résultats de passage peuvent donc être adoptés en l'état sans y ajouter une marge d'erreur ; ils reflètent de toute façon un minima du nombre de détections.

#### 4.1.2 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 8 antennes qui composent le dispositif de détection RFID de Pont de Fillinges (voir Tableau 1).

Suivant le débit de la Menoge, 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. Les trois tailles de transpondeurs utilisées pour les marquages ont été testées : 12 mm, 23 mm et 32 mm. Ces tests ont été effectués 20 fois entre le 15 mai 2017 et 21 février 2018 en essayant de couvrir un large panel de valeurs de débit. La gamme de débits testée est entre 0.39 m<sup>3</sup>/s et 15.4 m<sup>3</sup>/s, ce qui représente 97 % des débits observés dans la Menoge durant la durée du suivi (mai 2017 - octobre 2019) (Figure 18).

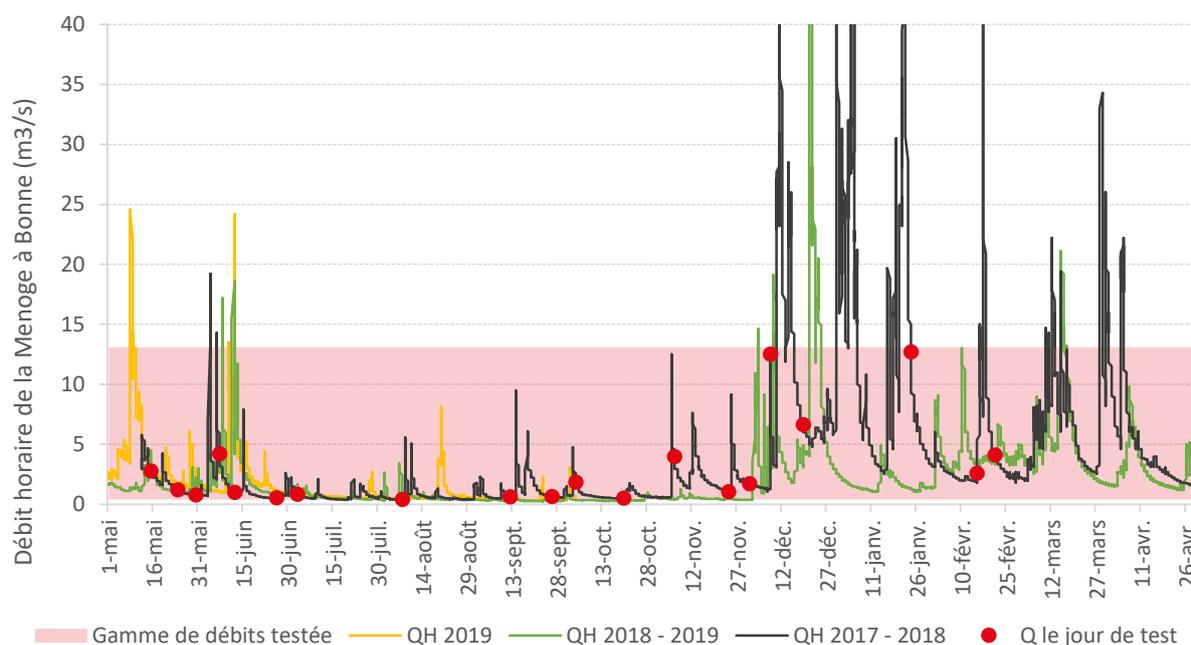


Figure 18 : Débit horaire de la Menoge à la station limnimétrique V0235020 de Bonne (producteur : DREAL) durant la période de suivi. Les points rouges symbolisent les jours des tests de détection ayant eu lieu au cours de la 1<sup>ère</sup> année.

Les résultats de ces tests de détection de surface montrent qu'au-dessus de 4,1 m<sup>3</sup>/s, la capacité de détection sur la partie supérieure de la lame d'eau est limitante pour les PIT-tags de 23 mm et 32 mm (Tableau 5 et Figure 19). Il est à noter que l'antenne A8, située en amont côté rive droite, montre un débit de fonctionnement limitant apparemment plus faible (2,7 m<sup>3</sup>/s) que celui des autres antennes pour un PIT-tag de 32 mm. Ce moins bon résultat reste acceptable du fait que cette antenne ne se situe pas dans l'écoulement principal (durant le suivi la Menoge coulait préférentiellement côté rive gauche sur l'amont de l'ouvrage). Il en résulte que le dispositif de détection a été totalement efficace (c'est-à-dire avec une détection possible sur l'ensemble de la lame d'eau pour toutes les antennes, soit à un débit de 2,7 m<sup>3</sup>/s) au moins 70 % du temps sur la période du suivi entre mai 2017 et octobre 2019 (sans tenir compte des quelques dysfonctionnements techniques évoqués précédemment) (Figure 19). Suivant les années hydrologiques, ce pourcentage varie entre 62 % (en 2017) et 84 % (en 2019) (voir Annexe 3).

Tableau 5 : Valeurs maximales des débits instantanés enregistrées lors des tests de détection de surface pour les 3 tailles de transpondeurs sur chacun des 8 antennes du dispositif.

Antenne	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Taille de tag								
12 mm	0,5	1,8	1,2	1,2	1,2		0,4	0,6
23 mm	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	1,2	2,7
32 mm	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	2,7

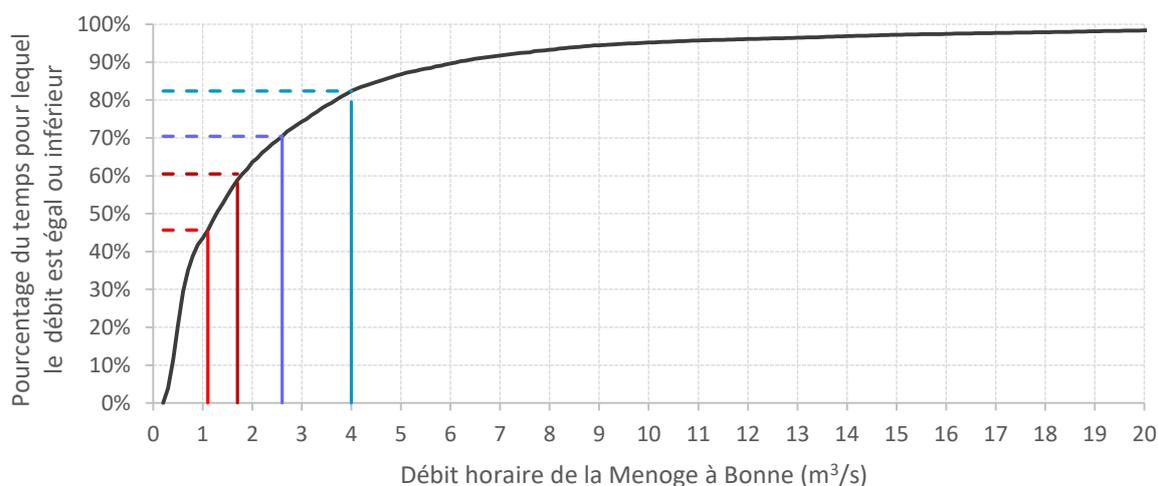


Figure 19: Courbe des débits instantanés classés durant la période du suivi (mai 2017 à octobre 2019) et identification des valeurs de débit du Tableau 5 reliées au pourcentage de temps où ces dernières sont inférieures ou égales.

Il est à noter que les débits de fonctionnement « limite » pour le PIT-tag de 12 mm (pour toutes les antennes) sont nettement plus faibles, ce qui est une conséquence directe du design du dispositif avec des grandes antennes. Cependant les petits individus marqués d'un PIT-tag de 12 mm ont tendance à évoluer à proximité du fond du lit pour être protégés par les matériaux en remontant dans les radiers. Ils devraient donc être détectés par les antennes si ces dernières ne sont pas trop engravées.

Ces résultats sur les débits « limitants » ne signifient pas pour autant que les antennes aient été inopérantes pour des débits plus élevés pour les 3 tailles de PIT-tags. En effet, les poissons se déplacent généralement dans la lame d'eau plutôt qu'en surface ; ils sont donc détectés même si la hauteur de détection de l'antenne ne couvre pas l'intégralité de la lame d'eau. Les données de détection de poissons appuient ces hypothèses, puisque des détections de truite, de barbeau et de chevesne sont observées sur chaque antenne (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 2017-2019. Les cases colorées identifient un dépassement significatif du débit maximum de détection limite de surface défini précédemment.

Antenne	Nb de détections			Nb d'indiv. détectés par antenne (*)			Gamme de débits concernés					
	12 mm	23 mm	32 mm	12 mm	23 mm	32 mm	12 mm		23 mm		32 mm	
							min	max	min	max	min	max
A1	299	1312	74366	4	14	64	0,73	13,4	0,63	21,5	0,28	24,2
A2	3678	18158	109536	10	24	77	0,4	16,7	0,27	28,1	0,28	20,5
A3	1	304	4364	1	20	67	0,69	0,69	0,27	14,3	0,41	25,2
A4	7	33	1238	2	4	39	1,35	3,82	1	4,3	0,59	23,5
A5	11	161	13179	5	19	56	0,55	5,19	0,27	13,5	0,4	25,5
A6	2	5608	17211	1	17	52	1,42	1,42	0,27	13	0,41	34,3
A7	29	48	11962	4	8	51	0,82	3,76	0,49	5,95	0,4	14
A8	34	693	21489	5	13	62	0,42	1,83	0,49	5,95	0,37	34,3

(\*) toutes espèces confondues ; A noter qu'aucun Chevesne muni d'un tag de 12 mm ou 23 mm n'a été détecté au dispositif.

## 4.2 Captures et marquage des poissons

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

Le suivi du franchissement de l'aménagement de l'ouvrage de Pont de Fillings 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 plus en amont dans le bassin versant, l'un sur le Giffre et l'autre sur le Borne. 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.

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 21, Figure 20, Annexe 4).

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 22). Les autres espèces (chevesne, blageon, spirilin, et ombre commun) représentent entre 1 % et 6 % de l'effectif total.

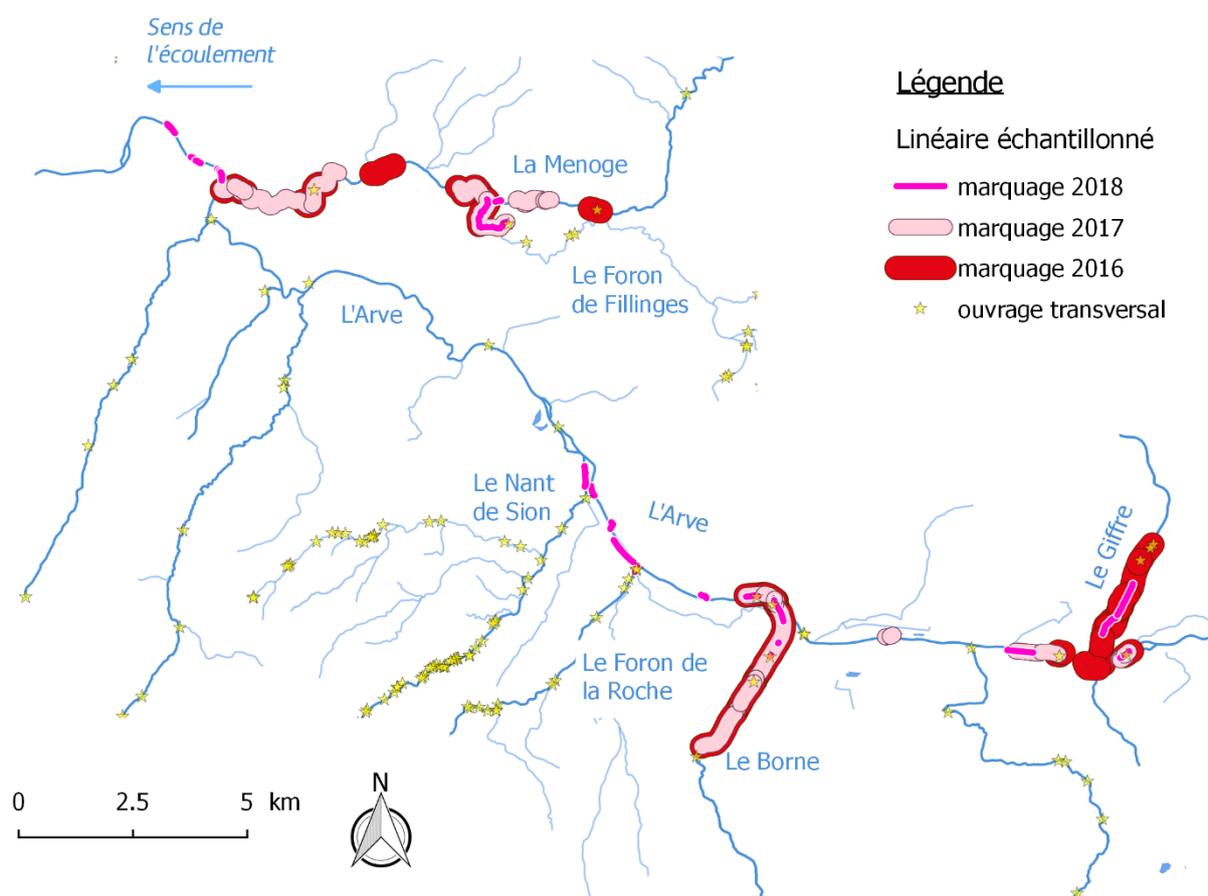


Figure 20 : Localisation des secteurs de cours d'eau prospectés entre 2016 et 2018 pour effectuer les marquages RFID pour les suivis d'ouvrages sur le bassin versant de l'Arve.

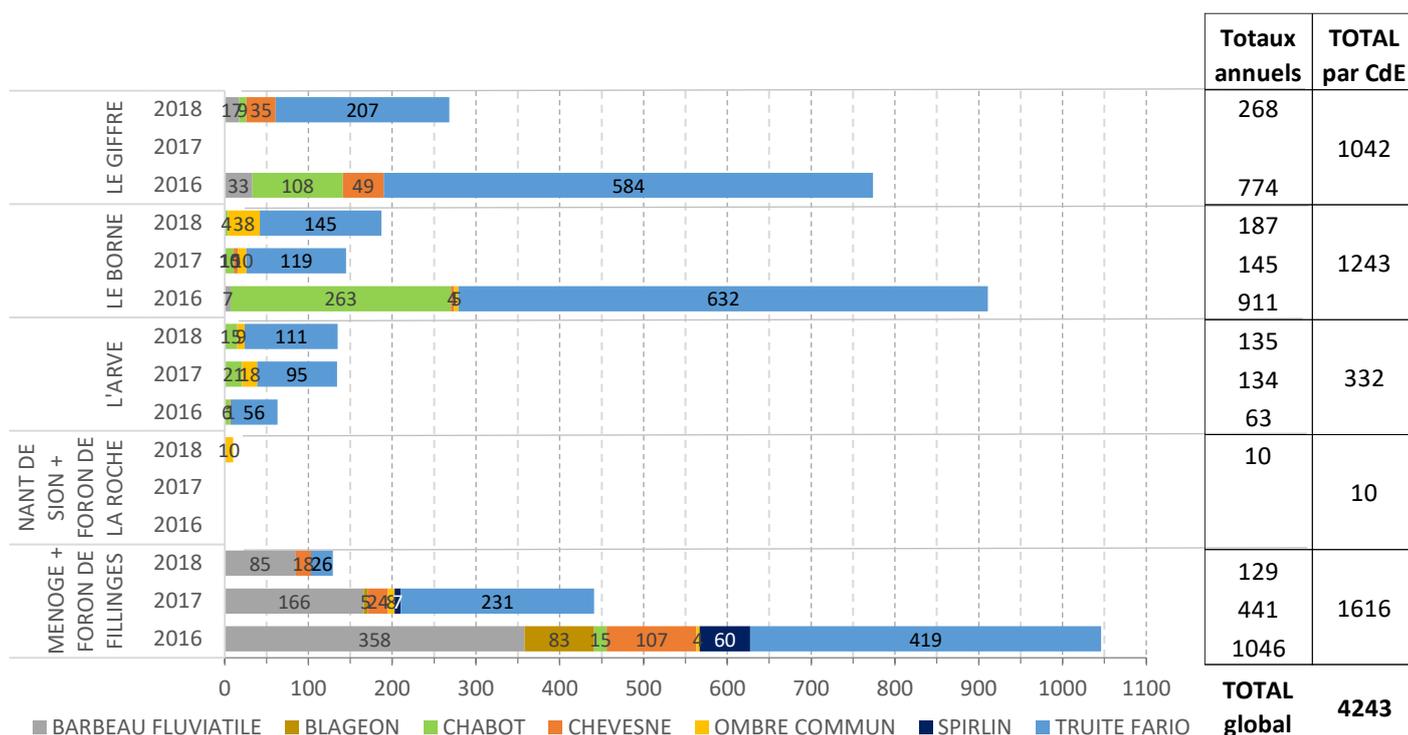


Figure 21 : Effectifs de poissons marqués par espèce répartis par cours d'eau et par année avec le total chiffré par cours d'eau à droite toutes espèces et années confondues

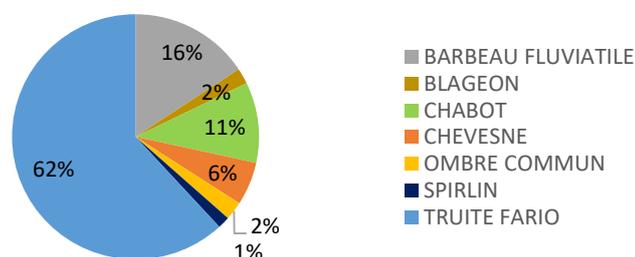
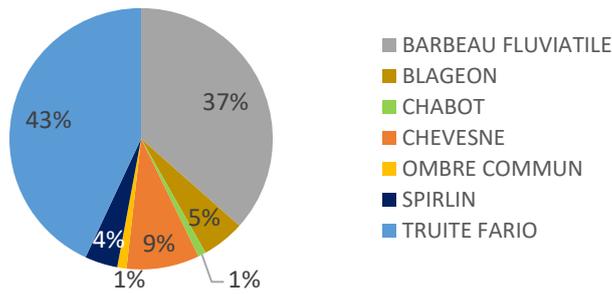


Figure 22 : Pourcentages spécifiques interannuels au sein de l'effectif marqué entre 2016 et 2018.

39 % des marquages (soit 1665 individus) ont été effectués sur des linéaires « proches » de l'ouvrage de Pont de Fillinges. Ils concernent la Menoge, le Foron de Fillinges et l'Arve en aval de sa confluence avec la Menoge.

Lorsqu'on fait un focus sur ce sous-échantillon, la répartition spécifique diffère un peu avec une dominance des cyprinidés (55 %), représentés majoritairement par le barbeau fluviatile (37%) (Figure 23). La truite fario compte pour 43 % de l'effectif marqué tandis que l'ombre commun seulement 1 % (soit 19 individus) malgré des opérations de marquage au printemps dédiées à la capture de cette espèce. Le chabot est également très peu représenté dans l'échantillon marqué, seulement 1%.



### Focus sur les marquages interannuels pour le suivi de Pont de Fillings

Figure 23: Pourcentages spécifiques interannuels au sein de l'effectif marqué entre 2016 et 2018 pour le suivi de l'ouvrage de Pont de Fillings.

Lorsque l'on confronte l'échantillon de poissons marqués dans la Menoge aval (soit 1274 individus<sup>2</sup>) aux résultats des inventaires piscicoles historiques disponibles sur ce secteur (datant de 2008), on observe qu'il est relativement représentatif du peuplement piscicole en place (Figure 24). Un moindre effort de marquage a été entrepris sur les espèces « blageon » et « spirlin » malgré leur abondance avérée en basse Menoge. Ces deux espèces sont peu documentées dans la littérature scientifique. Elles ne sont pas connues pour effectuer de grandes migrations mais plutôt des petits déplacements saisonniers liés à leur phase de croissance et de reproduction (par exemple WOCHER & RÖSCH, 2006). Etant donné qu'elles sont davantage recensées sur le linéaire en aval du viaduc de la D1205, soit 8 km en aval de l'aménagement de Pont de Fillings, il a été fait le choix de concentrer davantage la pression de marquage sur des espèces connues comme étant plus « mobiles » à savoir le barbeau fluviatile, la truite fario et le chevesne.

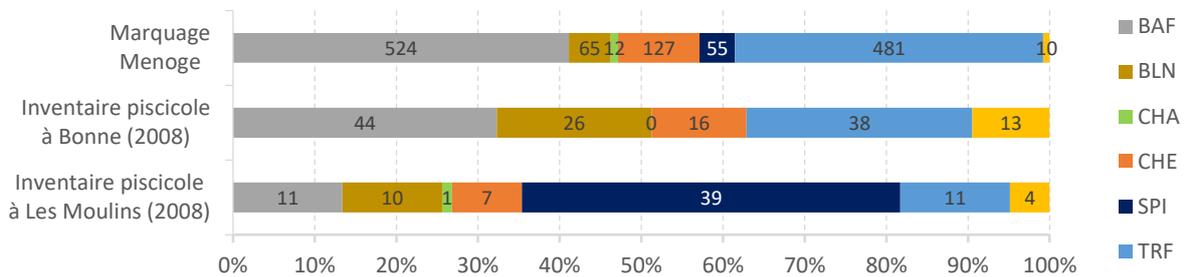


Figure 24: Pourcentages spécifiques de l'effectif d'individus marqués dans la Menoge comparés à ceux des densités estimées lors des inventaires de 2008 dans la basse Menoge. Pour avoir des données comparables, les espèces « loche franche » et « vairon » ont été soustraites des inventaires ainsi que les individus de toutes espèces inférieurs à 8 cm (puisque'ils n'ont pas fait l'objet de marquages).

Sur le plan purement technique, la Figure 25 fait état du nombre de poissons marqués par taille de transpondeur. Cette information croisée avec la « performance » des lecteurs présentée au 4.1.2 permet de définir la part des individus éventuellement non détectés lors des périodes de hautes eaux notamment.

Ainsi dans la Menoge et le Foron de Fillings, la majorité des individus (77 %) sont marqués avec des PIT-tags de 32 mm et 23 mm. Ces deux tailles de PIT-tags sont respectivement détectées à minima dans 82 % et 70 % du temps sur toute la hauteur de la lame d'eau. Les poissons munis d'un petit PIT-

<sup>2</sup> Ces 1274 individus représentent 77% de l'effectif marqué pour le suivi de l'ouvrage de Pont de Fillings.

tag de 12 mm appartient pour 70% à des petites espèces ou des espèces évoluant essentiellement au fond de la rivière (comme le chabot et le barbeau). Ces derniers sont donc a priori détectés par les antennes posées au fond du lit.

On peut donc considérer que 90 % des individus marqués<sup>3</sup> ont été détectables par le dispositif RFID sur l'ensemble de la lame d'eau et durant 70 % du temps au cours du suivi en lien avec les débits de la Menoge.

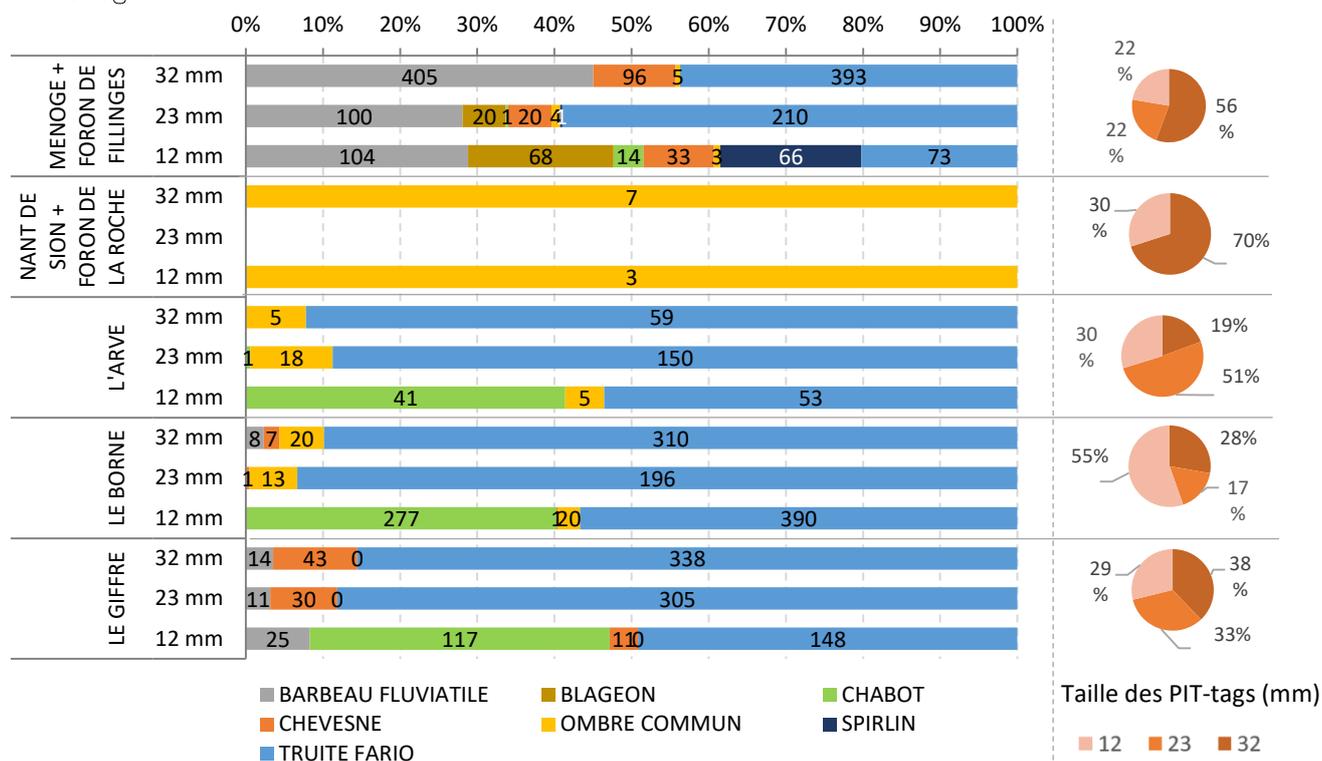


Figure 25 : A gauche, Répartition du nombre d'individus marqués (entre 2016 et 2018) dans le cadre des suivis RFID du bassin versant de l'Arve répartis par cours d'eau, par taille de transpondeur ainsi que par espèce et à droite, la part d'individus marqués par taille de transpondeur, toutes espèces confondues par cours d'eau.

<sup>3</sup> Les 1255 individus équipés d'un PIT-tag de 23 mm ou 32 mm ajoutés aux barbeaux, chabots, blageons et spirilins équipés d'un PIT-tag de 12 mm (252 individus).

#### 4.2.2 Caractérisation de l'échantillon marqué pour le suivi de Pont de Fillinges

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

Tableau 7 : Longueurs totales moyenne et médiane par espèce au sein de l'échantillon marqué dans le cadre du suivi de l'ouvrage de Pont de Fillinges.

		Barbeau fluvialtile	Chevesne	Truite fario	Ombre commun	Blageon	Chabot	Spirlin
Longueur totale (mm)	moyenne ( $\pm$ écart type)	352 ( $\pm$ 168)	286 ( $\pm$ 127)	220 ( $\pm$ 67)	207 ( $\pm$ 97)	126 ( $\pm$ 22)	112 ( $\pm$ 11)	100 ( $\pm$ 14)
	médiane	400	280	221	164	127	109	96
	mini ; maxi	80 ; 737	83 ; 526	81 ; 455	121 ; 440	81 ; 186	95 ; 130	81 ; 168
Biomasse (g)	moyenne ( $\pm$ écart type)	625 ( $\pm$ 592)	416 ( $\pm$ 437)	133 ( $\pm$ 116)	144 ( $\pm$ 170)	22 ( $\pm$ 12)	17 ( $\pm$ 6)	12 ( $\pm$ 12)
	médiane	551	235	108	54	50	16	96
	mini ; maxi	5 ; 2930	6 ; 1801	6 ; 912	10 ; 556	6 ; 68	7 ; 29	5 ; 94

En plus des caractéristiques morphologiques (longueur totale et masse), l'âge des individus de barbeau fluvialtile, chevesne, truite fario et ombre commun a été défini à partir de leurs écailles (scalimétrie). Cette information est importante pour approcher la dynamique de leurs populations. Il n'a pas été effectué de scalimétrie sur les petites espèces ; le chabot étant dépourvu d'écaille cette méthode de la définition de l'âge ne peut être mise en œuvre.

La scalimétrie a été réalisée par lecture directe pour une sélection semi-aléatoire d'au minimum 30 individus marqués entre 2016 et 2018 et répartis au prorata des classes de taille échantillonnées, dans l'objectif d'être le plus représentatif possible. Ainsi, l'âge par lecture directe a été déterminé pour 27 % des barbeaux marqués dans le cadre de ce suivi ( $n = 164$ ), 34 % des chevesnes ( $n = 50$ ), 17 % des truites ( $n = 120$ ) et l'ensemble des ombres communs ( $n = 19$ ). L'âge des autres individus a été extrapolé par proportion, en fonction de leur longueur totale. Tous les individus détectés au dispositif (entre 2016 et 2019) se sont vus quant à eux, attribués un âge par lecture directe.

Suivant les espèces, la première maturité est atteinte à des âges différents. Ne disposant pas de données locales sur l'âge de la maturité sexuelle des cyprinidés, il a été choisi d'après la littérature scientifique, de considérer comme géniteurs les barbeaux fluvialtiles âgés de 4 ans et les chevesnes âgés de 3 ans (Tableau 8). Pour les salmonidés, les études haut-savoyardes suggèrent de considérer l'ombre et la truite « adulte » à l'âge 2 ans.

Tableau 8 : Définition de l'âge adulte des 4 espèces dites « mobiles » à partir de la bibliographie.

Familie	Espèce	Maturité sexuelle		Rivière	Pays	Source	Age adulte retenu	
		Mâle	Femelle					
Cyprinidés	Barbeau fluviatile	<i>Barbus barbus</i>	4 ans	5 ans	Iles britanniques	Maitland & Campbell (1992) in Britton & Pegg (2011)	4 ans	
		<i>Barbus barbus</i>		7 à 8 ans	Ourthe	Belgique		Poncin (1989)
		<i>Barbus barbus sclateri</i>	2 à 4 ans	6 à 7 ans	Guadalquivir	Espagne		Herrera <i>et al.</i> (1988)
Cyprinidés	Chevesne	<i>Leuciscus cephalus</i>	2 à 3 ans	4 à 5 ans	Ourthe	Belgique	3 ans	
		<i>Leuciscus cephalus orientalis</i>	2 à 3 ans	3 à 4 ans	Aras	Turquie		Türkmen <i>et al.</i> (1999)
Salmonidés	Ombre commun	<i>Thymallus thymallus</i>	2 à 3 ans		Arve	France	Gadais (2012)	2 ans
	Truite fario	<i>Salmo trutta</i>	1 an	2 ans	Scorf	France	Baglinière & Maise (1991)	2 ans
		<i>Salmo trutta</i>	2 à 3 ans	3 à 4 ans	Ruisseau de Chevenne	France	Champigneulle <i>et al.</i> (1988)	
		<i>Salmo trutta</i>	(1 à) 2 ans		Redon	France	Champigneulle <i>et al.</i> (2003)	

Chez les deux espèces de « grands » cyprinidés marquées dans le cadre du suivi de Fillinges, la majorité des individus sont des géniteurs. Ils représentent 67 % des individus de Barbeau fluviatile et 77 % des individus de Chevesne (Figure 26). Ce constat ne résulte pas d'une sélection des grands individus lors des pêches de sondage mais il illustre simplement les moindres contacts lors de l'échantillonnage des petits et moyens individus. Pour ces deux espèces, tous les âges sont observés dans l'échantillon et les individus les plus petits marqués sont des 1+. On notera que la classe d'âge 2+ chez le Barbeau fluviatile est peu représentée dans l'échantillon marqué (soit 6 % des individus de Barbeau).

Pour les salmonidés, le constat est différent puisque les géniteurs représentent 55 % de l'effectif de truites contre 26 % de l'effectif d'ombres communs (Figure 26).

Pour la truite, la pression de marquage a été moindre sur les alevins de l'année (représentant 9 % de l'effectif de truites) puisque cette classe d'âge subit de fortes mortalités au cours de sa première année de vie (CUINAT, 1970). Les « juvéniles et immatures » sont donc représentés majoritairement par des individus 1+. Le groupe des « géniteurs » est constitué pour 30 % par des individus de 2+ et pour 26 % d'individus plus âgés (3+ et plus) correspondant à de grands individus supérieurs à 25 cm (taille légale de capture en basse Menoge). Il est à noter que cette fraction de l'échantillon marqué est soumise aux captures de la pêche amateur. Cependant peu d'informations sur les prises des pêcheurs sont remontées à la fédération (connaissance de 15 captures à la canne entre 2016 et 2019).

L'effectif marqué d'ombres communs est réduit, seulement 19 individus. Il est constitué pour les ¾ de juvéniles, davantage présents dans la Menoge aval en été et à l'automne et également plus facilement capturables en pêche électrique que les adultes. En effet, une partie des géniteurs d'Ombre commun présents dans la basse Menoge au printemps est en fait la fraction migrante de la population de l'Arve (GADAIS, 2012). Dans la Menoge, le point de capture d'ombre le plus en amont se situe au niveau de la confluence Menoge – Foron de Fillinges et ce malgré les plusieurs prospections effectuées en amont de cette limite (voir Figure 20 et Annexe 4).

Les 3 petites espèces échantillonnées sont représentées par des individus d'une gamme de taille entre 80 mm et 190 mm (Figure 26).

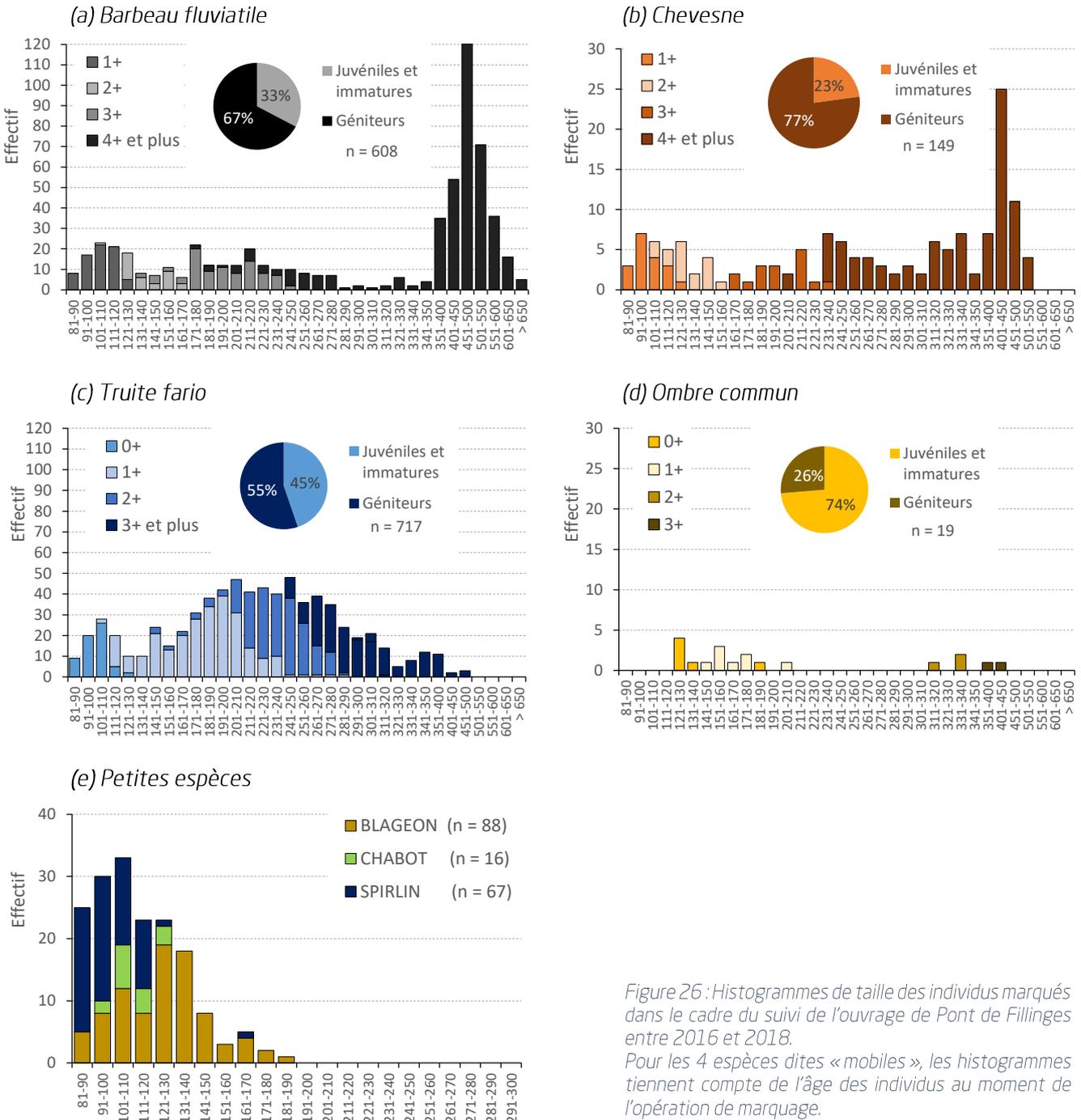


Figure 26 : Histogrammes de taille des individus marqués dans le cadre du suivi de l'ouvrage de Pont de Fillinges entre 2016 et 2018.

Pour les 4 espèces dites « mobiles », les histogrammes tiennent compte de l'âge des individus au moment de l'opération de marquage.

## 4.3 Détections au dispositif fixe et franchissement de l'ouvrage de Pont de Fillings

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

Au total, 132 individus différents (toutes espèces confondues) ont été détectés entre 2017 et 2019 au niveau de l'ouvrage de Pont de Fillings (Tableau 9). Seules les « grandes espèces » les plus abondantes dans la Menoge aval sont contactées, à savoir par ordre d'importance : le barbeau fluviatile (74 % des détections), la truite fario (24 %) et le chevesne (2 %). On déplore l'absence d'ombre commun dans les poissons détectés. Il est à signaler que cette espèce, en plus d'être représentée par un faible effectif d'individus marqués, n'a pas été capturée à proximité de l'ouvrage lors de l'échantillonnage. En effet, le point de capture le plus amont se situe au niveau de la confluence Menoge / Foron de Fillings. Les petites espèces marquées (chabot, blageon et spirilin) ne semblent pas avoir un comportement migrant dans la Menoge ; leur point de capture et relâcher les plus en amont se localisent à plus 1,5 km à l'aval de l'aménagement (voir Annexe 4). Les individus de chabot marqués sur la zone de travaux et relâchés à Bonne (soit 2.6 km en aval de l'ouvrage) ne sont pas revenus à leur point initial de capture.

Tableau 9 : Décompte par espèce des individus détectés au niveau du dispositif RFID de l'ouvrage de Pont de Fillings pour chaque année du suivi (de 2017 à 2019) et au global.

INDIV. DETECTES		Effectifs totaux annuels						Eff. Total interrannuel Pois. Différents			Pourcentages annuels					
Espèce	Rivière d'origine	2017 (7 mois)		2018		2019 (10 mois)		par CdE	tot.	equiv. en %	2017 (%)		2018 (%)		2019 (%)	
		par CdE	tot.	par CdE	tot.	par CdE	tot.				par CdE	tot.	par CdE	tot.	par CdE	tot.
BARBEAU FLUVIATILE	FORON DE FILLINGS	8	62	4	46	4	46	12	97	74%	9%	67%	7%	85%	8%	94%
	MENOGE	54		42		42		85			59%		78%		86%	
CHEVESNE	FORON DE FILLINGS	0	1	1	2	1	1	1	3	2%	0%	1%	2%	4%	2%	2%
	MENOGE	1		1		0		2			1%		2%		0%	
TRUITE FARIO	FORON DE FILLINGS	8	29	1	6	0	2	8	32	24%	9%	32%	2%	11%	0%	4%
	MENOGE	21		5		1		23			23%		9%		2%	
	GIFFRE	0		0		1		1			0%		0%		2%	
Total		92		54		49		132			100%			100%		

Au niveau de la dynamique de détection, on remarque que la 1<sup>ère</sup> année de suivi est celle qui enregistre le plus d'individus puis que les effectifs détectés des années suivantes se stabilisent grâce notamment au nombre de barbeaux détectés (Tableau 9). Les effectifs de chevesnes restent très faibles tout au long du suivi. La grande différence réside dans le nombre de truites détectées puisque l'effectif 2017 s'élève à 29 contre 6 puis 2 en 2018 et 2019. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer ce constat :

- leur taux de capture par les pêcheurs amateurs est plus important que celui des cyprinidés,
- leur longévité est plus courte que celle des cyprinidés,
- l'effort de marquage a été insuffisant pour cette espèce dans cette rivière qui connaît des populations déstructurées sur sa partie aval. Les résultats de franchissement montrent que deux tiers des truites ont effectué des montaisons sans dévalaison ce qui signifie qu'elles sont restées sur le linéaire en amont de Pont de Fillings qui propose a priori un milieu et des habitats plus accueillants pour cette espèce. Chez les cyprinidés, le nombre d'individus sortis de l'ouvrage par l'aval est du même ordre de grandeur que celui de ceux sortis par l'amont.

Le Tableau 10 montre la décroissance du taux de recontacts en fonction de l'effort de marquage annuel. Le taux de recontacts est majoritaire pour les barbeaux dans ce cours d'eau (16 %) alors qu'il n'est que de 5 % pour la truite fario et 2 % pour le chevesne.

On observe notamment que le nombre d'individus de barbeau, de truite et de chevesne provenant de la zone de travaux (n = 184, soit 13 % de l'effectif marqué), sont majoritaires et contribuent entre 43 % et 50 % à l'effectif détecté annuel. Ces individus ont été capturés lors de la pêche de sauvegarde, relâchés à Bonne (soit 2.6 km en aval de l'ouvrage) et ont effectué une montaison jusqu'à l'ouvrage entre 2017 et 2019. Parmi eux, l'espèce Barbeau fluviatile est la plus représentée. Chaque année, entre 69 % à 75 % des barbeaux détectés à Pont de Fillings proviennent de la zone de travaux ; on peut donc considérer que ces derniers résident sur ce tronçon de rivière.

Ce comportement plutôt sédentaire avait déjà été observé entre 2013 et 2015 chez les barbeaux fluviatiles de la Menoge dans le cadre du programme INTERREG ESPACE. Sur les 10 individus suivis en radiotélémetrie dans ce programme, 8 avaient été définis comme sédentaires (CHASSERIEAU *et al.*, 2015).

Tableau 10 : Décompte par espèce des individus détectés au niveau du dispositif RFID de l'ouvrage de Pont de Fillings pour chaque année du suivi en fonction de leur année de marquage.  
La valeur entre parenthèses pour les individus 2016 correspond au nombre d'individus issus de la zone de travaux parmi l'effectif annuel.

Espèce	Année de marquage	Effectif marqué	Effectif annuel détecté			Effectif annuel détecté (a)			% détectés VS marqués (b)
			2017	2018	2019	2017	2018	2019	
BARBEAU FLUVIATILE	2014				1				16%
	2016	358	48 (33)	32 (24)	29 (20)	11,8%	7,6%	7,6%	
	2017	166	14	13	13				
	2018	85		1	3				
CHEVESNE	2016	107	1 (1)	1	1	0,8%	1,3%	0,7%	2%
	2017	24		1					
	2018	18							
TRUITE FARIO	2016	419	17 (6)	4 (3)	1 (1)	4,5%	0,9%	0,1%	5%
	2017	231	12	2					
	2018	26			1				
Total		1434	92	54	49	7,0%	3,8%	3,4%	9%

(a) prend en considération les 195 individus avec des doublons interannuels

(b) prend en considération les 132 individus différents détectés

La quasi-totalité de l'effectif contacté au dispositif RFID fixe provient du bassin versant de la Menoge (cours principal de la Menoge et Foron de Fillings) ce qui correspond à 8 % de l'effectif marqué (n = 1665) sur cette aire hydrographique et 9 % des espèces détectées (n = 1434). Un seul individu de truite originaire du Giffre (marquée en septembre 2018) a été enregistré en juin 2019, parcourant ainsi 40 km depuis son point de marquage (Figure 27). On notera des connexions en sens inverse entre le Giffre et la Menoge puisqu'un barbeau adulte originaire du Foron de Fillings et une truite de la basse Menoge ont été enregistrés en 2017 au niveau du dispositif télémétrique installé dans le Giffre à Marignier (BEAUFILS & CHASSERIEAU, 2018). Aucun individu provenant de l'Arve n'a été détecté au niveau de l'ouvrage de Pont de Fillings entre 2017 et 2019.

On identifie ainsi 4 zones d'origine des poissons détectés en fonction de leur éloignement de l'ouvrage de Pont de Fillings. La grande majorité (90 % ; n = 118) des individus contactés au niveau de l'aménagement de Pont de Fillings sont issus de la zone 1, c'est-à-dire un éloignement maximal de 3.5 km. Parmi ces 118 individus, 50 provenaient de la zone de travaux et ont été transféré à l'aval au moment de la pêche de sauvegarde avant le début de travaux.

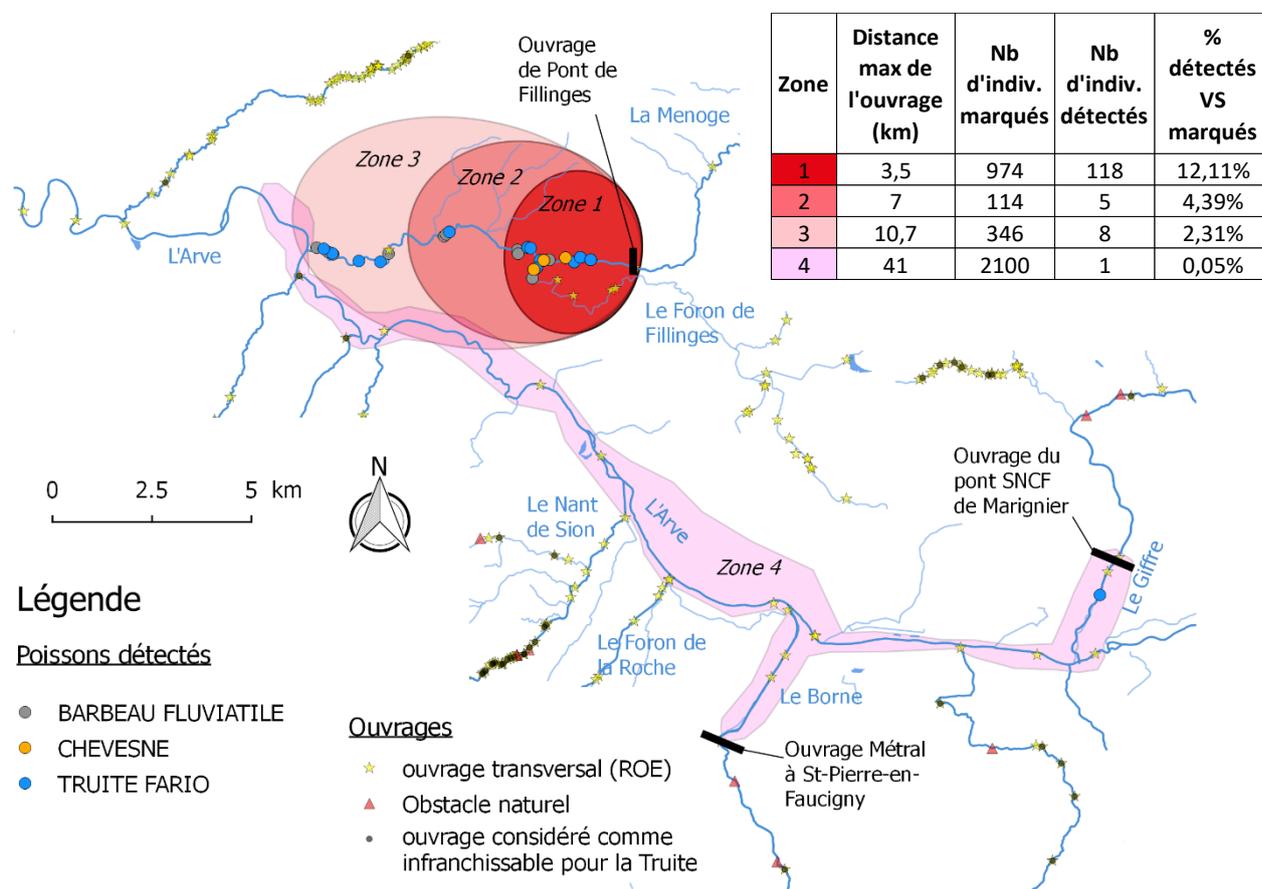


Figure 27 : Localisation des points de marquage des poissons détectés au niveau du dispositif RFID de l'ouvrage de Pont de Fillings avec leur répartition par zone d'éloignement. Les effectifs dans le tableau ne font état que des individus de barbeau fluviatile, de truite fario et de chevesne.

Cette zone 1 peut être comparée en termes de proximité de l'aménagement et d'effectif de poissons marqués, au linéaire aval du Giffre prospecté dans le cadre du suivi RFID de l'aménagement de Marignier (situé à 2.7 km de la confluence Arve – Giffre). Le taux de recontacts global dans la Menoge se chiffre à 12 % soit deux fois moins élevé que celui observé dans le Giffre (Tableau 11). Cette différence transparait également dans les taux de recontacts spécifiques qui sont deux à quatre fois plus faibles dans la Menoge que dans le Giffre. Cette différence de comportement des poissons (plutôt résidents dans la Menoge) peut s'expliquer en plusieurs points :

- l'attractivité du milieu par rapport aux espèces étudiées (la basse Menoge est moins attractive pour la truite fario par exemple)
- la localisation de l'aménagement dans le réseau hydrographique du bassin versant (celui de Pont de Fillinges se situant à plus de 10 km de la confluence Arve-Menoge tout en restant proche d'une confluence secondaire, celle de la Menoge avec le Foron de Fillinges).

Tableau 11 : Effectifs de poissons marqués et détectés dans la zone 1 de la Menoge comparés à ceux du Giffre aval (source CHASSERIEAU, 2019).

	Effectifs marqués (% du total)		Effectifs détectés		Taux de recontacts	
	Menoge (zone 1)	Giffre aval	Menoge (zone 1)	Giffre aval	Menoge (zone 1)	Giffre aval
BARBEAU FLUVIATILE	447 (46%)	50 (5%)	89	16	20%	32%
CHEVESNE	82 (8%)	84 (9%)	3	14	4%	17%
TRUIE FARIO	445 (46%)	791 (86%)	26	183	6%	23%
Total	974	925	118	213	12%	23%

La très grande majorité des individus détectés sont des adultes considérés comme géniteurs (Figure 28). Seulement 11 % des barbeaux détectés et 25 % des truites sont des juvéniles ou immatures. Ces chiffres prennent en considération l'âge auquel les individus ont été détectés par les antennes et non celui de leur date de marquage. En effet, 57 % des individus détectés l'ont été 1 an après leur date de marquage. Les autres ont été contactés par le dispositif RFID à part égale soit au cours de leur année de marquage soit plus de 2 ans après celle-ci (Figure 28-c).

Lorsqu'on regarde les classes de tailles des individus détectés par rapport à celles de l'effectif marqué (Figure 26 et Figure 28), il apparaît que les barbeaux âgés de 4 ans et plus dont la longueur totale se situe entre 171 mm et 240 mm, représentent une part conséquente de l'effectif détecté (71 %) alors qu'ils ne sont que secondaires en nombre (23 %) par rapport aux individus 3+ pour cette gamme de taille dans l'effectif marqué. Ces individus pourraient correspondre à des jeunes mâles participant à la reproduction puisque le dimorphisme sexuel chez le Barbeau fluviatile est très marqué à partir de l'âge de 4 ans (HUNT & JONES, 1975).

Chez la truite, il apparaît que 50 % de l'effectif détecté correspond à des individus 1+ au moment du marquage, soit des poissons mesurant entre 161 mm et 220 mm pour la plupart. Cependant comme ils se sont déplacés pour la grande majorité 1 an après leur marquage, ils entrent dans la catégorie des géniteurs pour le traitement des données de franchissement. Les grands individus de truite fario (> 291 mm) même s'ils sont peu nombreux, représentent 13 % aussi bien dans l'effectif détecté que dans celui des individus marqués.

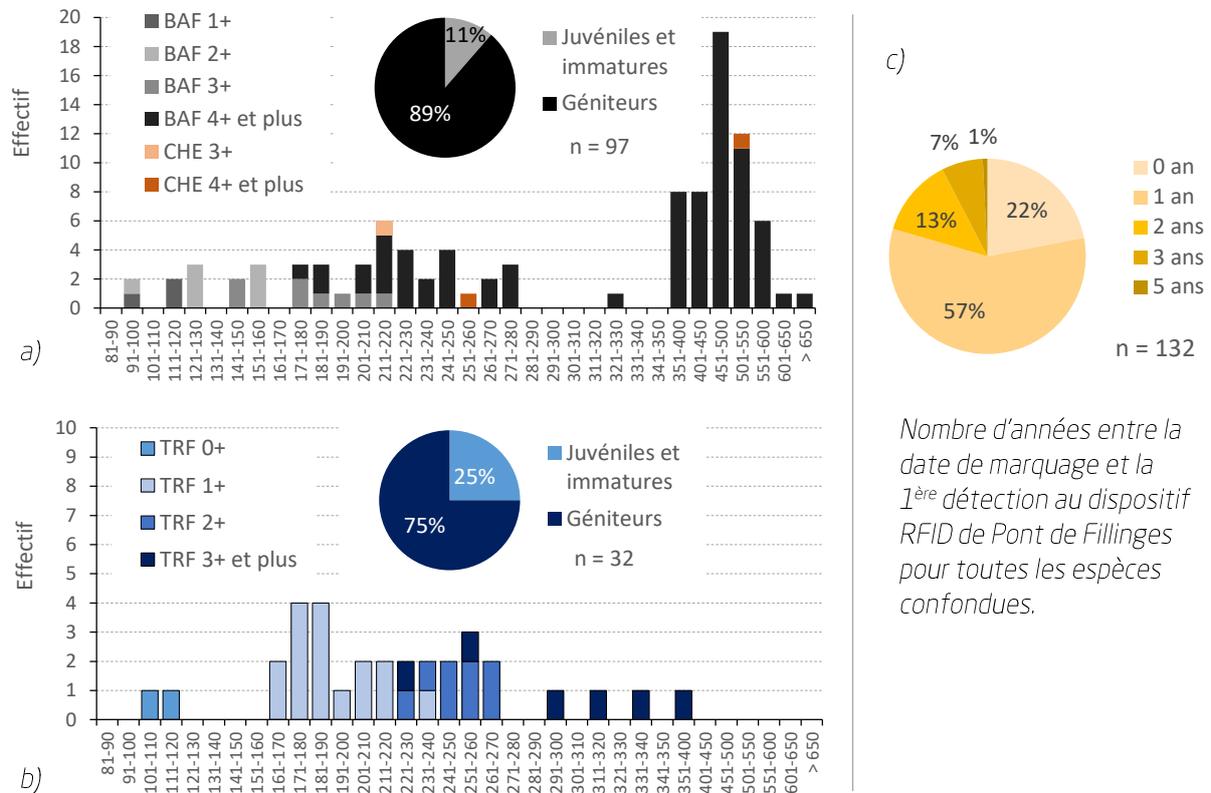


Figure 28 : a et b) Histogrammes de taille des individus détectés entre 2017 et 2019 au niveau du dispositif RFID de Pont de Fillinges; c) Nombre d'années entre la date de marquage et la 1<sup>ère</sup> détection. Les caractéristiques présentées dans les histogrammes sont celles observées au moment des marquages alors que le camembert prend en considération le nombre d'années entre la date de marquage et la date de détection.

#### 4.3.2 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 la Menoge. 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 de Pont de Fillinges, 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 12 avec les effectifs « corrigés » de poissons marqués d'un PIT-tag.

Afin de définir l'efficacité de franchissement de l'ouvrage de Pont de Fillinges, les individus marqués ont été classés en 4 groupes différents en fonction de leurs comportements de déplacements (Figure 29).

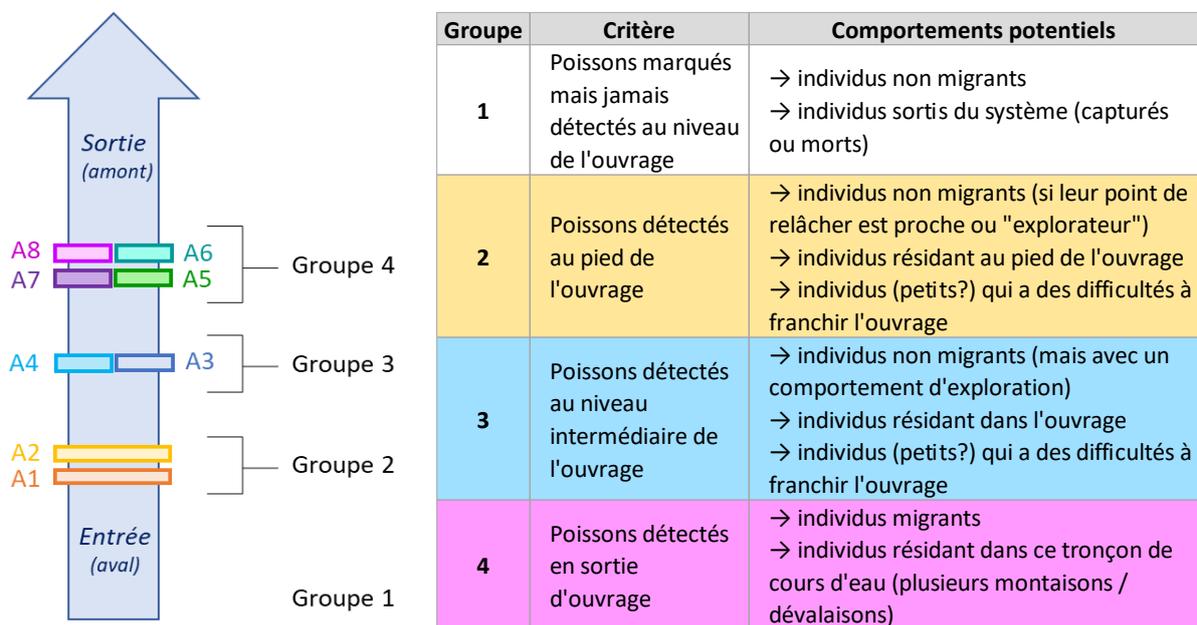


Figure 29: Définition des différents groupes d'individus en fonction de leurs comportements et de leurs détections aux antennes du dispositif de Pont de Fillinges.

Ainsi sur les 1434 individus de Barbeau fluviatile, de Chevesne et de Truite fario marqués dans la Menoge et le Foron de Fillinges, 459 sont estimés migrants à partir des taux observés par CHASSERIEAU *et al.* (2015). Parmi les individus marqués, une grande majorité (entre 83 % et 98 %) n'a pas été détecté ; le paramètre d'attractivité est donc faible pour la truite et le chevesne (respectivement 9 % et 8 %) mais élevé pour le barbeau fluviatile (84 %) (Tableau 12) ; la population de barbeaux de la Menoge aval est considérée comme davantage sédentaire suite à l'étude de CHASSERIEAU *et al.* (2015). Cette forte attractivité pour les barbeaux est à relativiser compte tenu que 46 % des barbeaux détectés sont issus de la zone de travaux et ont été déplacés à Bonne au moment de la pêche de sauvegarde. Leur déplacement vers l'amont n'est en fait qu'un retour à leur zone de vie initiale.

La part non détectée de l'échantillon est composée :

1. d'individus considérés comme sédentaires,

2. d'individus qui se sont déplacés vers l'amont mais pas jusqu'au niveau de l'ouvrage de Pont de Fillings ou vers l'aval (concerne au moins 14 individus (dont 9 truites, 4 barbeaux et 1 chevesne<sup>4</sup>) sur les 96 recapturés à la canne ou en pêche électrique),
3. d'individus sortis du système, c'est-à-dire capturés ou morts (concerne au minimum 26 individus de truite (soit 9 %) d'après les informations recueillies).

Tableau 12: 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 (cf. Chasserieu et al., 2015)	20%	27% <sup>(a)</sup>	57% <sup>(a)</sup>			
	Groupe	Critère	BARBEAU FLUVIATILE	CHEVESNE	TRUITE FARIO	BARBEAU FLUVIATILE	CHEVESNE	TRUITE FARIO
Poissons marqués	0	Poissons marqués dans la Menoge et le Foron de Fillings	609	149	676			
	0'	Poissons marqués dans la Menoge et le Foron de Fillings et supposés migrants	122	40	385			
Poissons détectés	1	Poissons marqués mais jamais détectés au niveau de l'ouvrage	507	146	643	83%	98%	95%
	2	Poissons détectés au pied de l'ouvrage	16	1	2	3%	1%	0,3%
	3	Poissons détectés au niveau intermédiaire de l'ouvrage	2		1	0,3%		0,1%
	4	Poissons détectés en sortie d'ouvrage	84 <sup>(b)</sup>	2	30 <sup>(b)</sup>	14%	1%	4%
Attractivité			84%	8%	9%			
Franchissabilité			82%	67%	91%			
<b>Efficacité de franchissement</b>			<b>69%</b>	<b>5%</b>	<b>8%</b>			

<sup>(a)</sup> Taux défini à l'échelle du bassin de l'Arve faute d'effectif suffisant pour le sous bassin de la Menoge

<sup>(b)</sup> Effectif qui inclut les 6 poissons détectés à l'amont en prospection mobile en juin 2017 mais pas au niveau du dispositif fixe

Les individus qui sont remontés et qui ont été détectés au dispositif fixe et en prospection mobile au niveau et en amont de l'ouvrage de Pont de Fillings sont au nombre de 138. La grande majorité de ces individus a franchi l'ouvrage (84 %) ; le paramètre de franchissabilité pour ces 3 espèces est donc élevé et se chiffre entre 67 % et 91 %. Ces chiffres appuient le fait qu'une rampe en enrochements libres avec une pente qui respecte le profil en long du cours d'eau est tout à fait franchissable.

L'efficacité de franchissement dépendant des deux paramètres évoqués précédemment, suit la tendance du paramètre d'attractivité. Pour l'ouvrage de Pont de Fillings, cette notion d'efficacité de franchissement est moins importante que pour un ouvrage qui rétabli partiellement la continuité écologique comme par exemple la passe à poissons d'Arthaz-Pont-Notre-Dame dans l'Arve. Cette passe à fentes verticales est implantée en rive gauche du barrage d'Arthaz haut de 3.6 m. Les poissons qui se présentent à l'aval doivent donc trouver l'entrée pour effectuer une montaison. Cette recherche peut engendrer un éventuel retard dans une migration de reproduction par exemple. CHASSERIEAU et al. (2015) avait mis en évidence que cet ouvrage était peu attractif pour les cyprinidés (0.06 %)

<sup>4</sup> Parmi les 5 cyprinidés qui ont effectué un mouvement 3 sont issus de la zone de travaux et se sont déplacés vers l'amont.

### 4.3.3 Franchissement des individus détectés au niveau de l'ouvrage

La majorité des individus qui ont franchi l'ouvrage l'ont franchi qu'une seule fois pour aller coloniser et / ou explorer des secteurs plus en amont. La Figure 30 montre que 31 % des géniteurs de barbeau marqués ont effectué plusieurs passages au niveau de l'ouvrage dont une majorité qui est revenue une fois par an sur le secteur. Chez les géniteurs de truite, 19 % des individus ont franchi l'ouvrage plusieurs fois dont la majorité plusieurs fois au cours de la même année. Pour les juvéniles de ces deux espèces, les effectifs étant moindres, on peut simplement remarquer que les tendances semblent être similaires que pour le stade adulte.

Pour le chevesne, seulement 2 individus ont franchi l'ouvrage dont un qui l'a franchi 2 années de suite ; aucune tendance ne peut être conclue pour cette espèce du fait du faible nombre d'individus détectés.

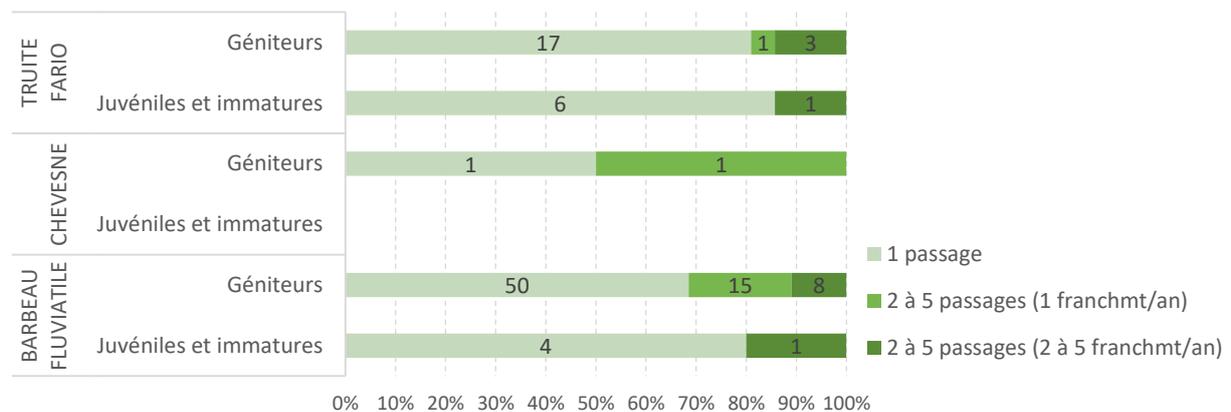


Figure 30 : Nombre de franchissements de l'ouvrage de Pont de Fillinges effectués par un individu d'une espèce et d'un stade spécifique au cours du suivi entre 2017 et 2019.

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

Les Figure 31, Figure 32 et Figure 33 font état de la dynamique de passage (en montaison et dévalaison) et de séjour au niveau de l'ouvrage de Pont de Fillinges pour chacune des espèces détectées. Les contacts en aval, au sein de l'ouvrage (c'est-à-dire plusieurs fois aux antennes A3 et A4 avant d'effectuer une montaison ou dévalaison) et en amont ont été distingués des traversées complètes de l'ouvrage (en montaison et dévalaison) puisqu'ils concernent une approche de l'ouvrage, et/ou un temps de séjour plus ou moins long sur un secteur de l'ouvrage. Pour les cyprinidés, il n'y a pas eu de distinction faite entre les contacts des géniteurs et ceux des juvéniles car cette seconde catégorie ne comptait que très peu de données. Elle a pu être réalisée pour les données concernant la truite en 2017.

#### 4.3.3.1.1 Chez le Barbeau fluviatile

On remarque que le Barbeau fluviatile est présent sur le secteur de Pont de Fillinges quasiment toute l'année avec des pics d'activité de déplacements durant 7 à 8 mois pouvant glisser d'une année à l'autre suivant les conditions du milieu, de mars à octobre (Figure 31). Les traversées complètes de l'ouvrage (montaison et dévalaison) s'effectuent principalement sur 5 mois entre avril et août. Cette période de l'année englobe la période de reproduction de l'espèce. Le mois de juin est chaque année le mois le plus intense en termes d'activité au niveau de l'ouvrage de Pont de Fillinges pour cette espèce. Il correspond vraisemblablement au moment où les géniteurs de barbeau se regroupent pour se reproduire. Un constat similaire a été fait pour les barbeaux dans le Giffre au cours des premières années de suivi de l'ouvrage du pont SNCF à Marignier (CHASSERIEAU, 2019).

Lorsqu'on compare les mouvements de montaison et dévalaison des 3 années de suivi, on observe qu'un équilibre s'installe entre les deux sens de déplacements. Au début en 2017, le nombre de franchissements en mai et juin culminait à 16 pour un nombre réduit de dévalaison (3) pour aboutir en 2019 à un nombre quasiment équivalent entre les montaisons et dévalaisons mensuelles. Il apparaît que la 1<sup>ère</sup> année de rétablissement de la continuité écologique 19 individus de barbeaux (dont 47 % originaires de la zone de travaux) ont franchi l'ouvrage de Pont de Fillinges sans être recontactés par la suite contre 8 les années suivantes. Ces individus migrants sont partis coloniser le linéaire amont et y ont trouvé un lieu de vie favorable pour y séjourner toute l'année.

A l'inverse d'autres individus effectuent des va et vient entre l'aval et l'amont de l'ouvrage et plusieurs années de suite. Ils assurent la connexion entre les populations et participent au brassage génétique. Deux comportements différents peuvent être discernés :

- des individus enregistrés anecdotiquement à l'aval, au sein ou en amont de l'ouvrage ; ces comportements sont simplement les conséquences d'une montaison ou une dévalaison en plusieurs temps.
- des individus détectés de nombreuses fois sur toutes les portions de l'ouvrage. Ces derniers sont clairement identifiés comme vivant à proximité de la rampe. Le nombre de détections au cours du temps sur chaque portion de la rampe permet de discerner les zones de vie de plusieurs individus. Il est possible de distinguer les individus qui vivent en aval de ceux qui vivent en amont.

Il semble qu'un groupe de barbeaux ait élu domicile à proximité de l'aval de l'ouvrage pour une période de l'année. En effet, de nombreux contacts (entre 70 et 140 les mois d'affluence) sont enregistrés à l'aval de l'ouvrage mais ne concernent au maximum que 14 individus. Rien d'étonnant en cela du fait que cette espèce adopte habituellement un comportement grégaire. Les données identifient 4 vieux individus (âgés de plus de 8 ans) qui vivent sur ce secteur et sont à l'origine de 59 % des contacts à l'aval de l'ouvrage en 2017, 60 % en 2018 et 79 % en 2019. Parmi eux, 3 sont originaires de la zone de travaux et sont enregistrés chaque année. Deux d'entre eux sont restés un moment au pied de l'ouvrage ou se sont présentés plusieurs fois à l'aval sans pour autant le franchir.

D'un autre côté, un individu âgé de 10 ans au moment de son marquage sur la zone de travaux, a été identifié comme vivant simplement en amont de l'ouvrage de mai à octobre 2017 (responsable de 60 % des contacts « Amont »). Entre avril et août 2018 et 2019, il séjournait alternativement dans et en amont de la rampe. Il est à l'origine, respectivement en 2018 et 2019, de 74 % et 43 % des contacts de séjours dans l'ouvrage et, de 61 % et 81 % des contacts à l'amont de l'ouvrage. Durant la période estivale 2017, la partie médiane de la rampe se retrouvait à sec du fait d'une infiltration de l'eau liée

aux nombreux interstices du remblai récent de matériaux. Ainsi, peu de contacts au sein de l'ouvrage ont été enregistrés en 2017 du fait que les antennes A3 et A4 se situaient dans le tronçon hors d'eau (voir Figure 3). Après un an d'existence de la rampe, le substrat de celle-ci s'est colmaté limitant l'infiltration et assurant une lame d'eau suffisante pour le déplacement piscicole. On observe par exemple à l'étiage du mois de juillet 2019 que 7 individus ont séjourné dans l'ouvrage.

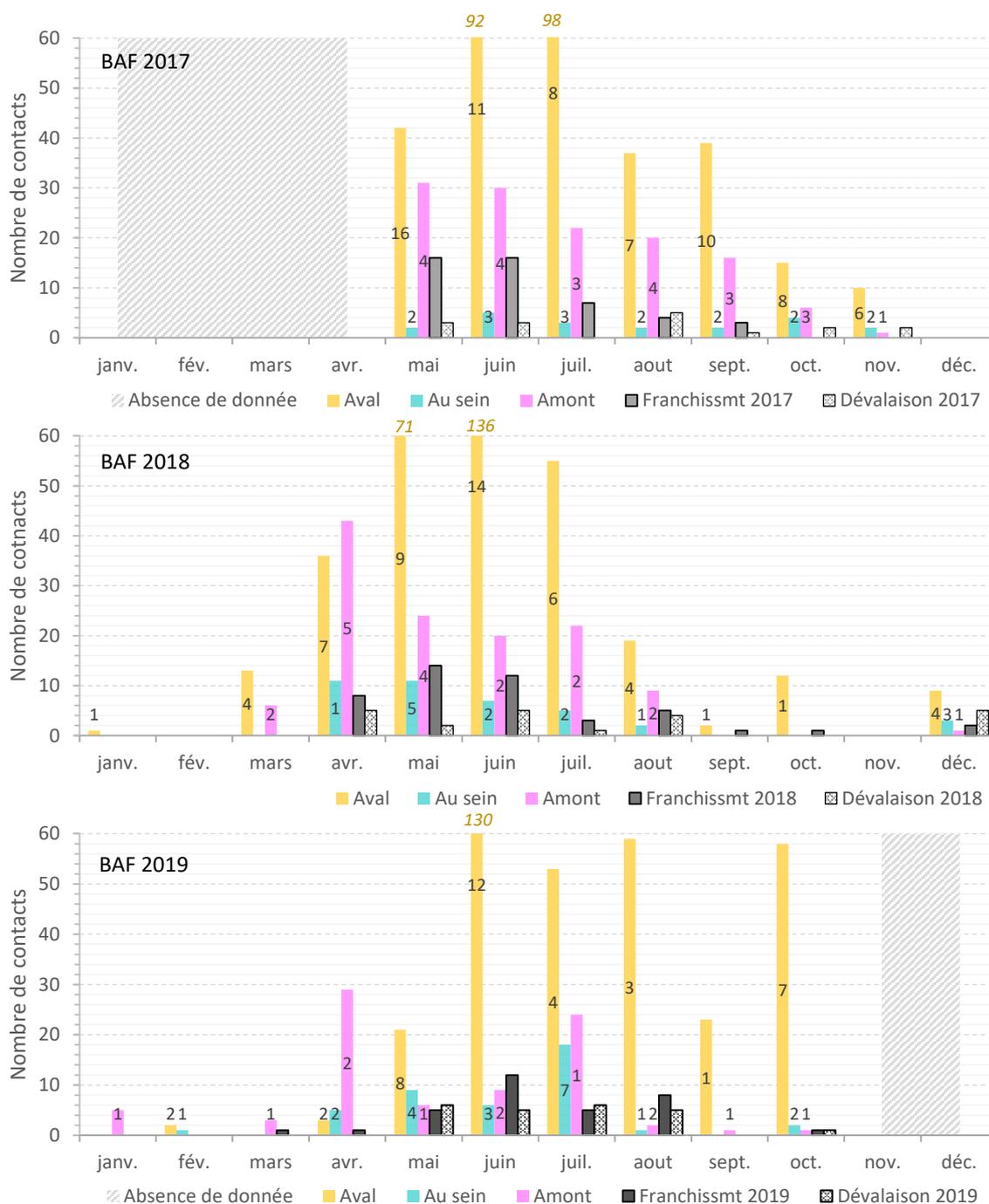


Figure 31 : Nombres mensuels de contacts en aval, au sein et en amont de l'ouvrage et nombre mensuels de franchissements et de dévalaisons de l'ouvrage de Pont de Fillinges par les barbeaux fluviatiles pour les 3 années de suivi. Le numéro sur les histogrammes correspond au nombre d'individus concernés par le nombre de contacts. Par exemple, en mai 2017, les 42 contacts en aval de l'ouvrage ont été occasionnés par 16 individus.

#### 4.3.3.1.2 Chez la truite fario

Les résultats pour la truite sont majoritaires en 2017 et font l'objet d'un graphique propre tandis que ceux des années suivantes, du fait de leur faible abondance, ont été rassemblés sur un seul et même graphique (Figure 32).

En 2017, les franchissements et dévalaisons se concentrent sur deux périodes :

- la première entre mai et juillet avec un pic de franchissement en mai à l'initiation du suivi ; les juvéniles semblent se déplacer davantage à ce moment de l'année avec 3 sur 4 des franchissements enregistrés en juin entrepris par ce stade de développement.
- la seconde entre octobre et décembre en lien avec la phase de reproduction de cette espèce.

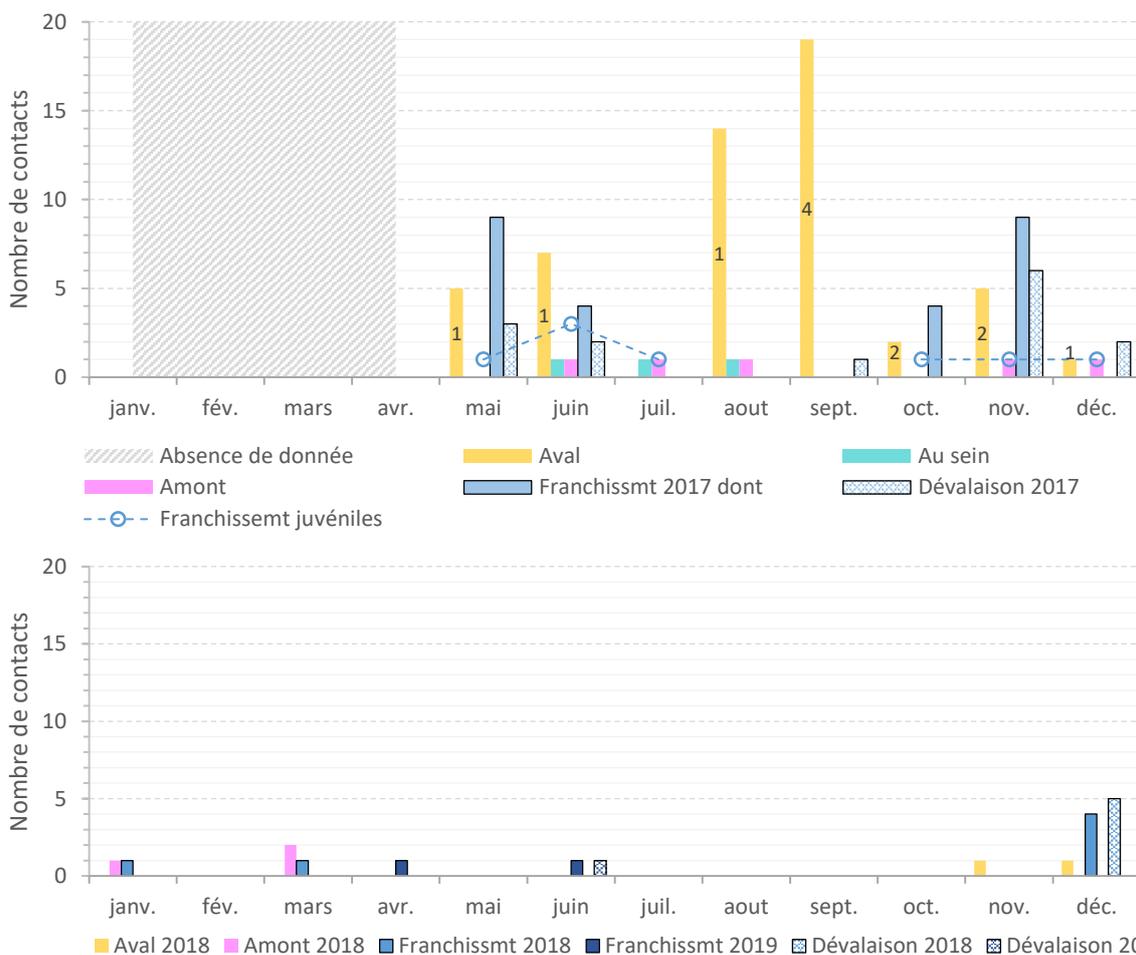


Figure 32 : Nombres mensuels de contacts en aval, au sein et en amont de l'ouvrage et nombre mensuels de franchissements et de dévalaisons de l'ouvrage de Pont de Fillings par les truites fario pour les 3 années de suivi.

Le numéro sur les histogrammes correspond au nombre d'individus concernés par le nombre de contacts. Par exemple, en août 2017, les 14 contacts en aval de l'ouvrage ont été occasionnés par 1 seul individu.

Les stades de développement ont été différenciés uniquement pour l'année 2017 compte tenu du nombre suffisant de données cette année-là. Pour les autres années, les effectifs par stade ont été additionnés.

Pour cette espèce, le bilan global interannuel « montaisons versus dévalaisons » est de 2 pour 1. Un nombre important d'individus notamment en 2017 a franchi l'ouvrage sans le dévaler au cours du suivi. Ainsi, parmi les 25 individus qui sont montés en 2017, 11 sont restés en amont de Pont de Fillings

et les années suivantes, c'est un individu, sur les 4 en 2018 et sur les 2 en 2019, qui n'a pas dévalé au cours du suivi. Ces individus ont trouvé des habitats favorables en amont pour réaliser leur cycle de vie. Cette recherche de nouveaux secteurs semblent se déployer davantage l'été, période à laquelle le nombre de dévalaisons est 2 fois plus faible qu'en hiver.

Il apparaît sur la Figure 32 une forte présence à l'aval de l'ouvrage entre mai et septembre 2017. Ces nombreux contacts sont générés à 95 % par 2 individus originaires du Foron de Fillinges qui ont séjourné une partie de l'année 2017 au pied de la rampe enrochée.

Contrairement aux barbeaux, les truites ne semblent pas stationner dans et en amont immédiat de l'ouvrage de Pont de Fillinges ; le nombre mensuel de détections « au sein » et « en amont » ne dépassent jamais l'unité en 2017.

En 2018 et 2019, les quelques résultats indiquent que les déplacements se focalisent en décembre avec un nombre de montaisons et de dévalaisons presque similaire. Le reste de l'année, on observe de temps à autre un individu qui séjourne à proximité de l'ouvrage ou qui le traverse complètement. Le peu de données vraisemblablement lié à la baisse de la pression de marquage ne permet pas de généraliser des tendances.

#### 4.3.3.1.3 Chez le chevesne

Seuls trois individus de chevesnes différents ont été enregistrés au niveau du dispositif télémétrique de Pont de Fillinges. Il est donc impossible de tirer des conclusions pour la dynamique de déplacements de cette espèce dans la Menoge au niveau de Fillinges. La Figure 33 décrit le comportement de ces 3 poissons dont 2 ont franchi et dévalé l'ouvrage. Ils ont été présents au niveau du site d'étude essentiellement l'été entre juin et août, période à laquelle cette espèce se reproduit. On observe une dévalaison en décembre.

Ces deux périodes de l'année ont également été identifiées comme des périodes d'activité pour cette espèce dans le Giffre lors du suivi de l'ouvrage du pont SNCF de Marignier (BEAUFILS & CHASSERIEAU, 2018).

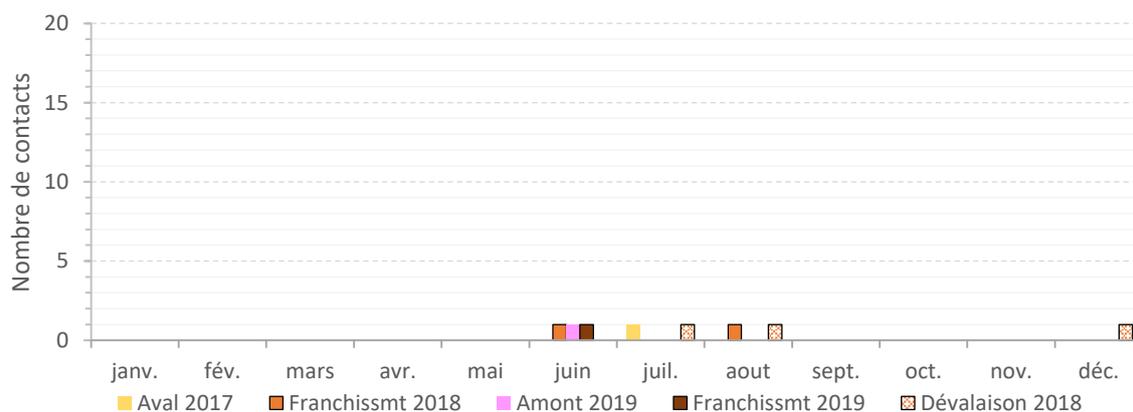


Figure 33 : Nombres mensuels de contacts en aval, au sein et en amont de l'ouvrage et nombre mensuels de franchissements et de dévalaisons de l'ouvrage de Pont de Fillinges par les chevesnes pour les 3 années de suivi.

Ces données de passage et de séjours montrent que le secteur de Pont de Fillings est très fréquenté par les barbeaux fluviatiles et secondairement par les truites fario. Le barbeau fluviatile est l'espèce prépondérante en basse Menoge d'après les inventaires piscicoles récents. Cette dernière était bloquée au pied de l'ancien seuil comme l'atteste la quantité de barbeaux capturés lors de la pêche de sauvegarde avant travaux (166 individus soit 24 % de l'effectif pêché tandis que les truites représentaient 15 %). Maintenant que la continuité piscicole est rétablie au niveau du pont de la RD 907, les barbeaux effectuent des déplacements librement de part et d'autre de Pont de Fillings. Certains individus ont effectué 10 km depuis l'aval ou sont venus du Foron de Fillings pour explorer le linéaire amont jusqu'alors inaccessible. Les truites « migrantes » ont elles aussi pu effectuer de grandes distances pour explorer le linéaire en amont de Pont de Fillings (jusqu'à 40 km). Presque la moitié d'entre elles (n = 13) n'est pas redescendue suite à leur montaison.

Dans l'optique de synthétiser la dynamique de déplacements des 3 espèces contactées au niveau de l'ouvrage de Pont de Fillings, les passages moyens mensuels ont été calculés en montaison et en dévalaison (Figure 34). Ceci a été envisageable du fait que les conditions hydrologiques mensuelles (débits moyens mensuels) des 3 années étudiées étaient comparables (test KS,  $p > 0.05$  ; Annexe 5). Sept mois de l'année enregistrent une forte activité de déplacements piscicoles au niveau de Pont de Fillings. La première période d'avril à août, caractérisée par l'étiage de la Menoge, est marquée par la bonne circulation des barbeaux et des comportements « aventuriers » de truites. La seconde, en novembre – décembre, cible essentiellement les déplacements de reproduction des géniteurs de truite fario et des dévalaisons de barbeaux adultes qui sont à la recherche de sites d'hivernage.

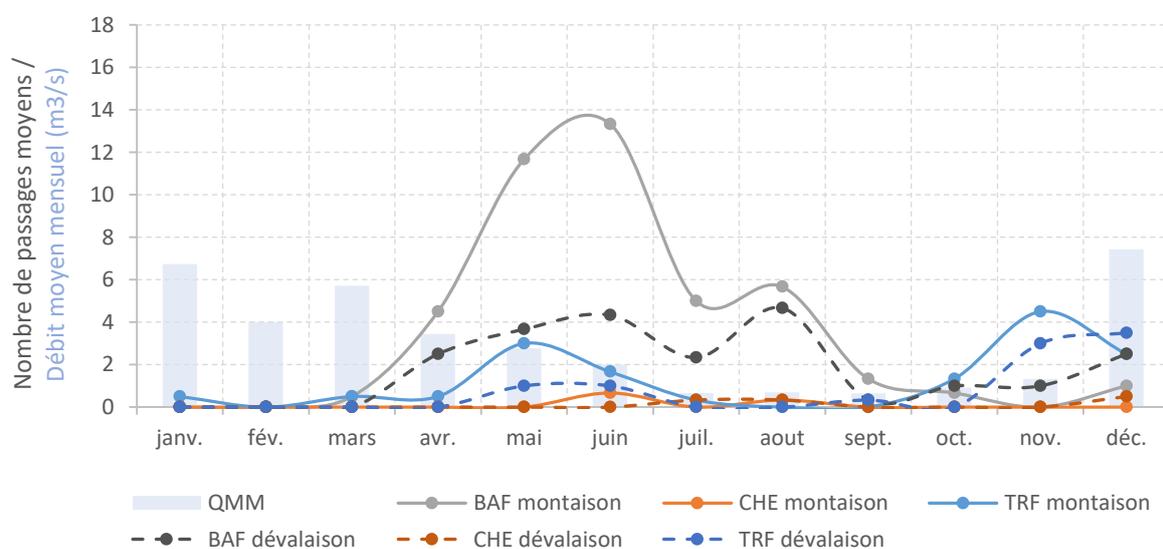


Figure 34 : Nombre mensuel des passages moyens (calculés sur les 29 mois de suivi) en montaison et en dévalaison pour les 3 espèces détectées au niveau du dispositif télémétrique de l'ouvrage de Pont de Fillings associé au débit moyen mensuel observé au cours du suivi.

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

L'aménagement du seuil de Pont de Fillinges long de 224 m respecte le profil en long de la Menoge sur ce secteur. Son franchissement ne représente pas de difficulté apparente. Aussi il ne faut que quelques dizaines de minutes pour les poissons les plus rapides pour le gravir tandis que les plus lents mettent plusieurs dizaines de jours.

Le record de vitesse en montaison est détenu par un barbeau avec un temps de passage chiffré à environ 11 min à un débit de 2.1 m<sup>3</sup>/s (Tableau 13). Cependant plus de la moitié des franchissements s'effectuent entre 2 h et 12 h (toutes espèces confondues). Les moyennes des temps de franchissement pour cette gamme de durée se situent aux alentours de 5 h.

La dévalaison de l'ouvrage s'effectue classiquement plus rapidement que sa montaison : 52 % des dévalaisons enregistrées (toutes espèces confondues) s'opèrent en moins de 2 h et 24 % entre 2 h et 12 h. Les moyennes pour ces 2 gammes de durée se chiffrent respectivement entre 35 min et 1 h 10 pour la première et à 4 h pour la seconde.

La dévalaison la plus rapide a été réalisée par une truite en 4,5 min avec un débit de 10.7 m<sup>3</sup>/s. De manière générale, les truites ne s'attardent pas pour descendre l'ouvrage ; toutes les dévalaisons chiffrées pour cette espèce s'effectuent en moins de 2 h. A l'inverse certains barbeaux vont dévaler l'ouvrage plus tranquillement jusqu'à mettre plus de 15 jours.

Les séjours au sein de l'ouvrage sont distingués des longues montaisons et dévalaisons par le nombre de détections multiples aux antennes intermédiaires. Ils concernent quasiment uniquement les barbeaux. Les temps de séjours durent pour la plupart entre 2 h et 2 jours.

Tableau 13: Temps de franchissement, de dévalaison et de séjours minima, maxima et moyens par gamme de durées observées pour chacune des espèces au cours du suivi.

Espèce	Temps de franchissement		Temps moyen de franchissement (± écart type ; nb concernés)			
	MINI (min)	MAXI (jrs)	<2h (min)	entre 2h et 12h (min)	entre 12h et 2jrs (min)	> 2 jrs (jrs)
BARBEAU FLUVIATILE	11,3	108,6	87,3 (±39,7 ; n = 13)	267,7 (± 103,3 ; n = 54)	1418,5 (± 442,2 ; n = 19)	23,4 (± 31,98 ; n = 23)
CHEVESNE	211,0	0,4	NA	368,9 (NA ; n = 2)	NA	NA
TRUITE FARIO	38,3	24,0	84,6 (±23,8 ; n = 10)	324,0 (± 202,1 ; n = 13)	NA	15,2 (NA ; n = 2)
Nb de franchmt concernés (total = 137)			17%	50%	15%	18%

Espèce	Temps de dévalaison		Temps moyen de dévalaison (± écart type ; nb concernés)			
	MINI (min)	MAXI (jrs)	<2h (min)	entre 2h et 12h (min)	entre 12h et 2jrs (min)	> 2 jrs (jrs)
BARBEAU FLUVIATILE	31,6	42,0	69,5 (±23,5 ; n = 24)	241,3 (± 145,2 ; n = 14)	1613,0 (± 503,2 ; n = 10)	17,6 (± 17,0 ; n = 4)
CHEVESNE	37,8	0,1	NA	NA	NA	NA
TRUITE FARIO	4,5	10,6	36,5 (±31,1 ; n = 9)	NA	NA	NA
Nb de déval. concernées (total = 66)			52%	24%	17%	8%

Espèce	Temps de séjour		Temps moyen de séjour ( $\pm$ écart type ; nb concernés)			
	MINI (min)	MAXI (jrs)	<2h (min)	entre 2h et 12h (min)	entre 12h et 2jrs (min)	> 2 jrs (jrs)
BARBEAU FLUVIATILE	29,9	63,9	1,3 ( $\pm 0,7$ ; n = 3)	260,4 ( $\pm 81,7$ ; n = 39)	1437,1 ( $\pm 566,7$ ; n = 26)	18,2 ( $\pm 20,0$ ; n = 16)
Nb de déval. concernées (total = 86)			3%	45%	31%	20%

Les temps de passage des barbeaux et des truites ont été mis en relation avec les périodes (mois, heure) et les conditions (débit et température horaires) dans lesquels ils ont été effectués (Figure 35). Il est à noter que les données thermiques sont moins fournies que celles des débits compte tenu d'un dysfonctionnement de l'enregistreurs au droit de l'ouvrage en 2017. Aucune corrélation évidente ne se dessine clairement entre ces paramètres.

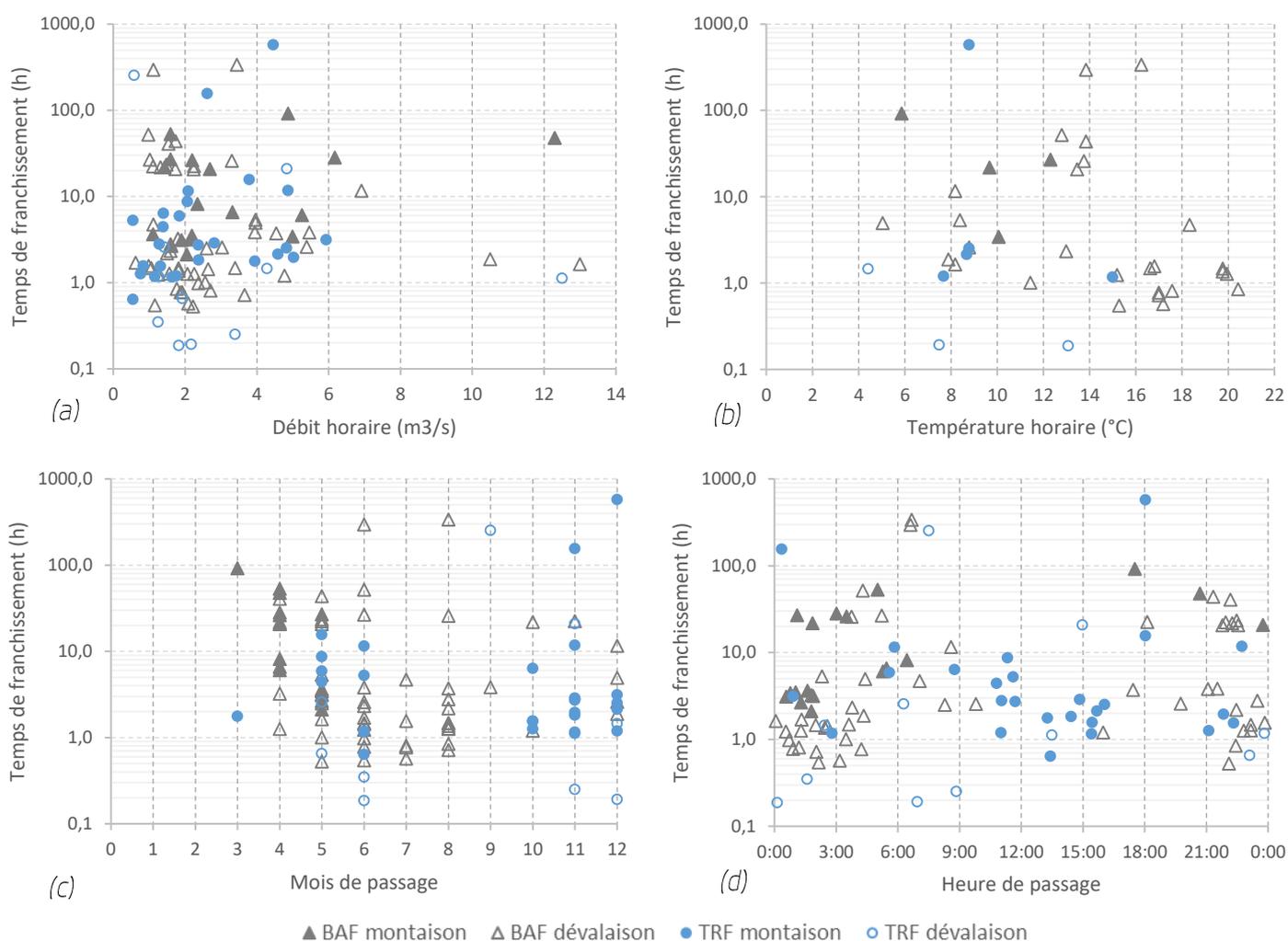


Figure 35 : Graphiques reliant des temps de franchissements des barbeaux et des truites en fonction des variables abiotiques : (a) débit horaire, (b) température horaire, (c) mois de franchissement et (d) heure de franchissement.

Sans tenir compte de la durée des passages dans l'ouvrage, plusieurs tendances sur les conditions de déplacements des barbeaux et des truites peuvent être relevées :

- Les déplacements des barbeaux fluviatiles se concentrent majoritairement au printemps et en été et s'effectuent donc majoritairement en basses eaux (82 % se réalisent à un débit inférieur au module qui est de 3,55 m<sup>3</sup>/s) (Figure 36). Les truites quant à elles se déplacent préférentiellement à deux périodes distinctes : la première en mai – juin et la seconde en novembre – décembre. La seconde période enregistre logiquement des débits plus élevés que la première avec 70 % des débits supérieurs à 4,5 m<sup>3</sup>/s ; ce seuil est atteint pour un débit de 2,3 m<sup>3</sup>/s au cours de la première période (Annexe 6). Les déplacements hivernaux des truites ne se font pas nécessairement au moment des crues puisque plus de 50 % sont réalisés à un débit inférieur au module (Figure 36).

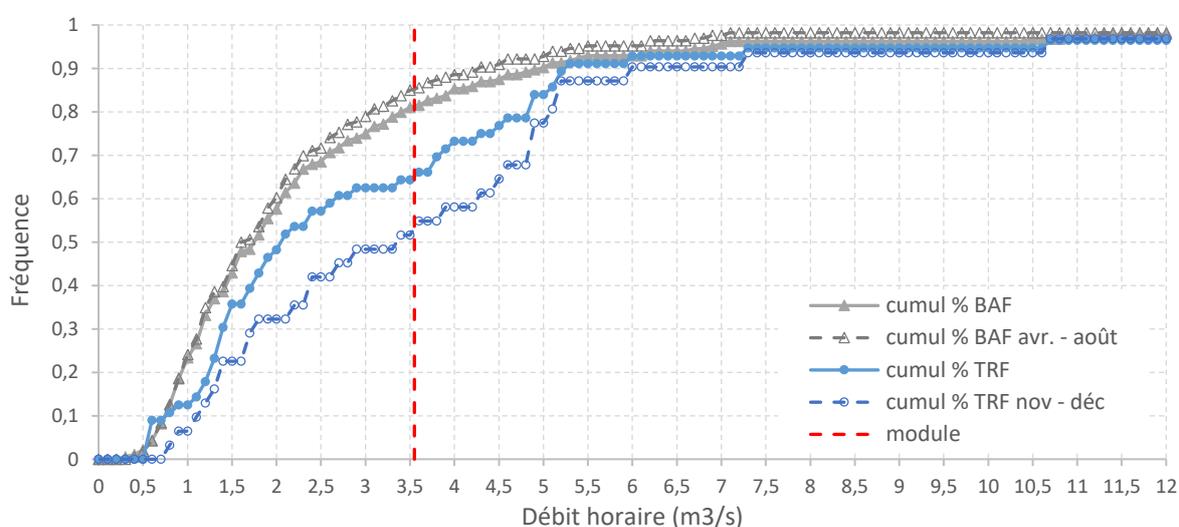


Figure 36: Courbes des débits cumulés observés lors des traversées de l'ouvrage de Pont de Fillinges (montaison et dévalaisons confondues) par les barbeaux fluviatiles et les truites fario.

- Aucun déplacement n'est effectué en dessous de 4°C pour les deux espèces étudiées ici.  
Les barbeaux traversent l'ouvrage majoritairement dans une gamme de températures entre 8°C et 20°C. Cette fourchette de températures est un peu plus étendue que celle définie comme étant celle optimale pour cette espèce (13°C et 20°C) par TISSOT & SOUCHON (2010) dans leur synthèse bibliographique. Le contexte montagnard de la Menoge explique en partie la phase d'activité à des températures inférieures à 13°C. Tout comme l'ont observé MELCHER & SCHMUTZ (2010) dans la rivière Pielach (affluent du Danube, Autriche), les barbeaux de la Menoge effectuent leurs déplacements printaniers en phase de pré-reproduction à des températures entre 10°C et 14°C (Figure 37 - a).  
Les truites sont actives aussi bien le jour que la nuit dans une gamme de températures comprises entre 4°C et 15°C (Figure 37). Cette même observation a été relevée dans le Giffre lors de la campagne 2018 de suivi de l'ouvrage du pont SNCF à Marignier (CHASSERIEAU, 2019). Cette plage de températures correspond à la gamme de « confort » (7°C et 17°C) définie par plusieurs auteurs (ELLIOTT, 1994 ; JOHNSON & KELSCH, 1998).

- Les barbeaux fluviatiles se déplacent préférentiellement la nuit ; ils sont majoritairement actifs entre le crépuscule (21 h) et l'aube (4 h) (Figure 37 - b). Ce comportement nocturne est en accord avec la littérature scientifique de cette espèce (BERGE, 2012 ; BARRAS & CHERRY, 1990). Il est également observable dans le Giffre malgré un contexte hydrologique plus apical et marginal pour cette espèce (torrent de montagne à régime pluvio-nival) (BEAUFILS & CHASSERIEAU, 2018 ; CHASSERIEAU, 2019).

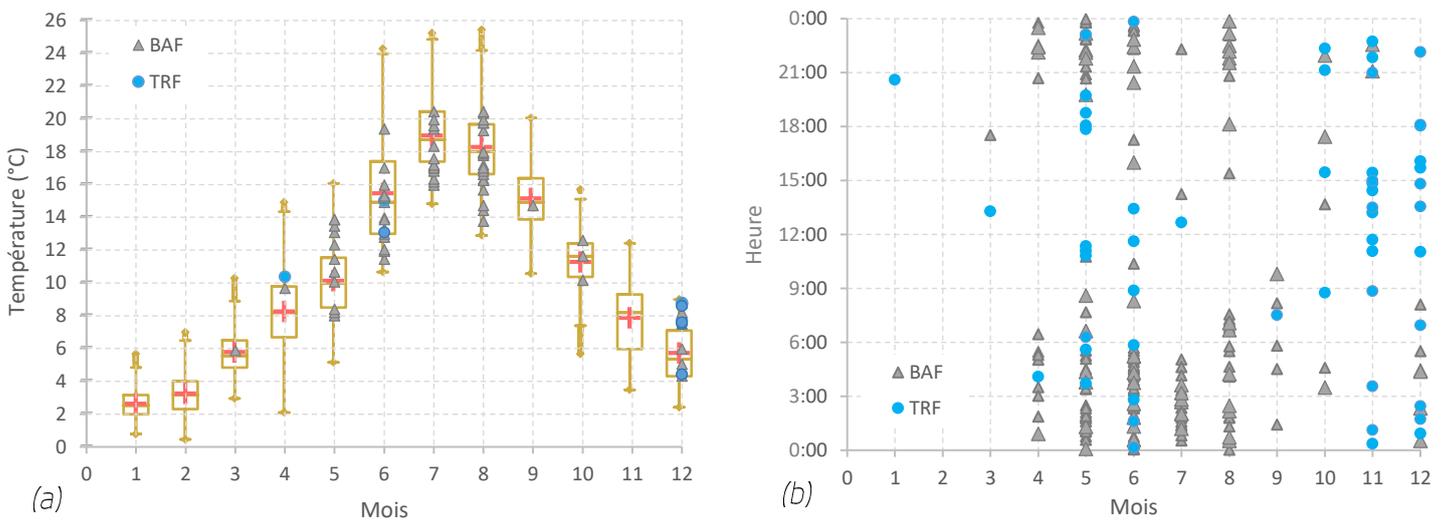


Figure 37: (a) Box-plots mensuels des températures horaires de la Menoge mis en relation avec les températures enregistrées au moment des traversées de l'ouvrage (en montaison et en dévalaison) par les barbeaux fluviatiles (BAF) et les truites fario (TRF); (b) Heure en fonction des mois des traversées de l'ouvrage (en montaison et en dévalaison) par les 2 espèces.

## 4.4 Autres données sur les déplacements d'individus

### 4.4.1 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), 96 recaptures ont été obtenues et concernent trois espèces : la truite fario (n = 71), le barbeau fluviatile (n = 19) et le chevesne (n = 6). Elles représentent 6.6 % des poissons marqués de ces trois espèces dans la Menoge et le Foron de Fillinges. Elles ont été récoltées lors de pêches électriques de sondage (n = 81) et via les pêcheurs amateurs (n = 15). Il est à noter que les captures à la canne par les pêcheurs ciblent uniquement la truite fario et ont été effectuées pour la plupart dans la Menoge (n = 13). Elles se répartissent équitablement dans

les 3 zones définies au 4.3.1. Elles ne sont malheureusement pas exploitables dans leur intégralité : pour 80 % d'entre elles les renseignements « date et lieu » sont incomplets.

L'effort de pêche électrique n'a pas été constant chaque année aussi une comparaison interannuelle des données de la Figure 38 est à proscrire.

La majorité des recaptures correspondent à des individus marqués en 2016 et recontactés par pêche électrique en 2017 (n = 54). En effet, 82 % du linéaire pêché en 2017 a été prospecté au printemps pour rechercher des individus d'ombre commun. C'est lors de ces opérations que 43 individus marqués en octobre 2016 ont été recapturés, soit environ 6 mois post-marquage. Cet effectif conséquent se répartit équitablement sur les secteurs pêchés les 2 années (zones 1 et 3, en 2016 et 2017).

En 2018, même si le linéaire prospecté était similaire pour 90 % à celui de 2017 (voir Figure 20), l'intervalle de temps entre les opérations a été d'environ un an. Durant ce laps de temps plus long, des mortalités (naturelles et/ou par capture) ont pu avoir lieu ainsi que des déplacements en dehors de la zone d'étude.

Il est à noter que 7 des 10 individus marqués antérieurement à cette étude (2013 et 2014) et recapturés en 2016 et 2017, sont des barbeaux fluviatiles.

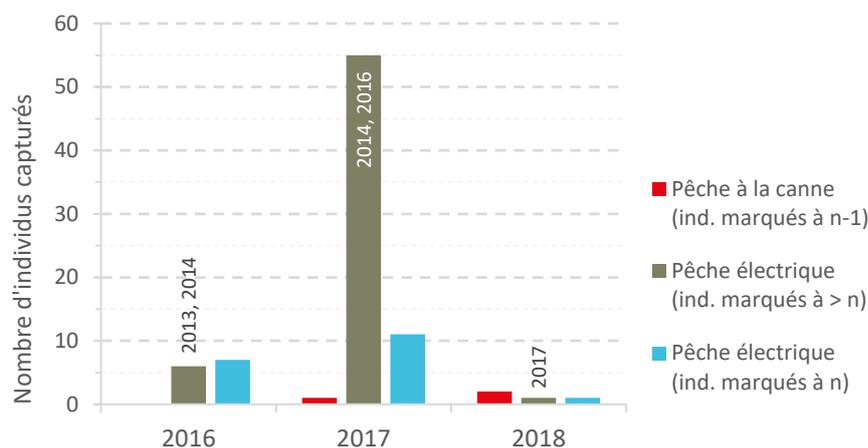


Figure 38 : Nombre d'individus recapturés lors des opérations de pêche électrique de sondage ou à la canne par des pêcheurs amateurs durant le suivi de l'ouvrage de Pont de Fillinges. 9 captures à la canne sans précision de l'année n'apparaissent pas sur les histogrammes. Les étiquettes des données correspondent aux années de marquage.

79 % des individus recapturés n'ont pas effectué plus de 400 m entre le lieu de marquage et le lieu de recapture (Figure 39). Comme évoqué précédemment ce sont essentiellement des truites recontactées au printemps 2017 dans la Menoge aval ou dans le Foron de Fillinges, soit entre 177 jours et 213 jours après leur marquage à l'automne 2016. Certains individus pourtant recontactés plus de 2 ans après leur marquage, n'ont pas effectué pour autant de grands déplacements. Ces individus sont considérés comme sédentaires. Ils effectuent cependant des déplacements modestes qui nécessitent une libre circulation sur le tronçon de rivière où ils résident.

Lors du programme INTERREG ESPACE Arve et Rhône, CHASSERIEAU *et al.* (2015) avaient défini comme « migrant » un individu qui avait changé de milieu, comme par exemple en effectuant un déplacement dans un autre cours d'eau, et/ou qui avait parcouru plus de 2 km. Cette distance avait été établie en lien avec l'étendue des faciès d'écoulement observés dans l'Arve qui peuvent mesurer plusieurs centaines de mètres et la distance inter-barrages sur le Rhône genevois.

Parmi les individus recapturés dans le cadre de ce suivi, 6 répondent à ces critères (4 truites et 2 barbeaux). Deux déplacements remarquables sont observés et démontrent une nouvelle fois les échanges entre la Menoge, l'Arve et le Rhône genevois :

- un barbeau originaire du Rhône recapturé en 2016 dans le Foron de Fillings après avoir effectué 34 km et franchi plusieurs ouvrages suisses
- et une truite originaire du Foron de Fillings recapturée dans l'Arve à la frontière franco-suisse après avoir dévalé de 15 km.

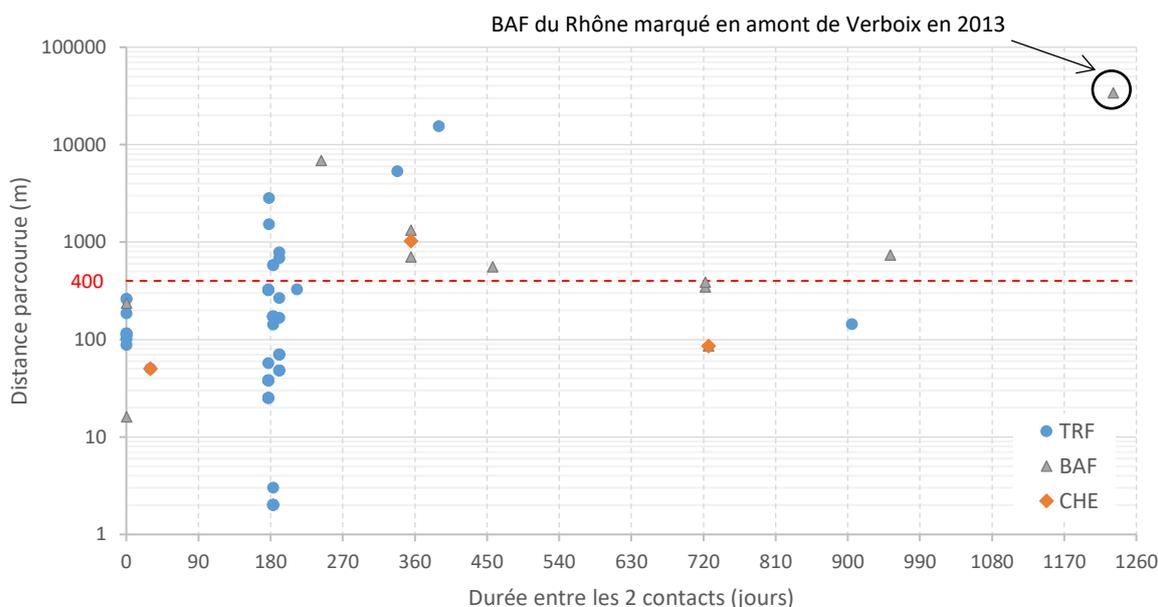


Figure 39 : Distance parcourue par les individus recapturés entre leurs points de marquage et de recapture en fonction du laps de temps écoulés entre les 2 contacts.

#### 4.4.2 Prospection mobile

L'opération de prospection mobile du 13 juin 2017 a permis de contacter 26 individus (21 barbeaux et 5 truites) dont 10 n'ayant pas été détectés aux antennes fixées sur l'ouvrage. Des barbeaux, jusqu'alors absents de ce linéaire amont, ont été observés régulièrement sur ce parcours et ont été détectés jusqu'en aval de Chez Mermier, soit 2.8 km en amont de l'ouvrage de Pont de Fillings (Figure 40). Ces individus ont parcouru vers l'amont en l'espace de quelques mois,<sup>5</sup> des distances s'élevant entre 2.7 km et 11.3 km (moyenne = 4.9 km ( $\pm$  2.1)). Les 5 truites sont quant à elles remontées jusqu'au Pont Morand pour la plus amont, soit environ 1.5 km en amont de l'ouvrage. Les distances parcourues entre leur point de marquage et leur point de recontact se chiffrent entre 3.3 km et 4.4 km (moyenne = 4 km ( $\pm$  0.4)).

Parmi ces 26 individus détectés en amont de Pont de Fillings au mois de juin 2017, 15 individus (soit 58 %) semblent résider sur ce nouveau secteur puisqu'ils n'ont pas été détectés a posteriori au niveau

<sup>5</sup>

du dispositif fixe en aval. D'autres (n = 4) sont redescendus sans se représenter au niveau du dispositif fixe tandis qu'un dernier groupe constitué uniquement de barbeaux (n = 7) effectuent des va et vient entre ce secteur amont et l'ouvrage de Pont de Fillings. Ces derniers ont été détectés plusieurs fois au niveau des antennes et ont franchi l'ouvrage plusieurs années de suite. Parmi ces 7 individus, 3 étaient remontés en amont de Pont Morand le 13 juin 2017, soit plus de 2 km en amont. Leur domaine vital s'étend donc entre la basse Menoge et Chez Mermier.

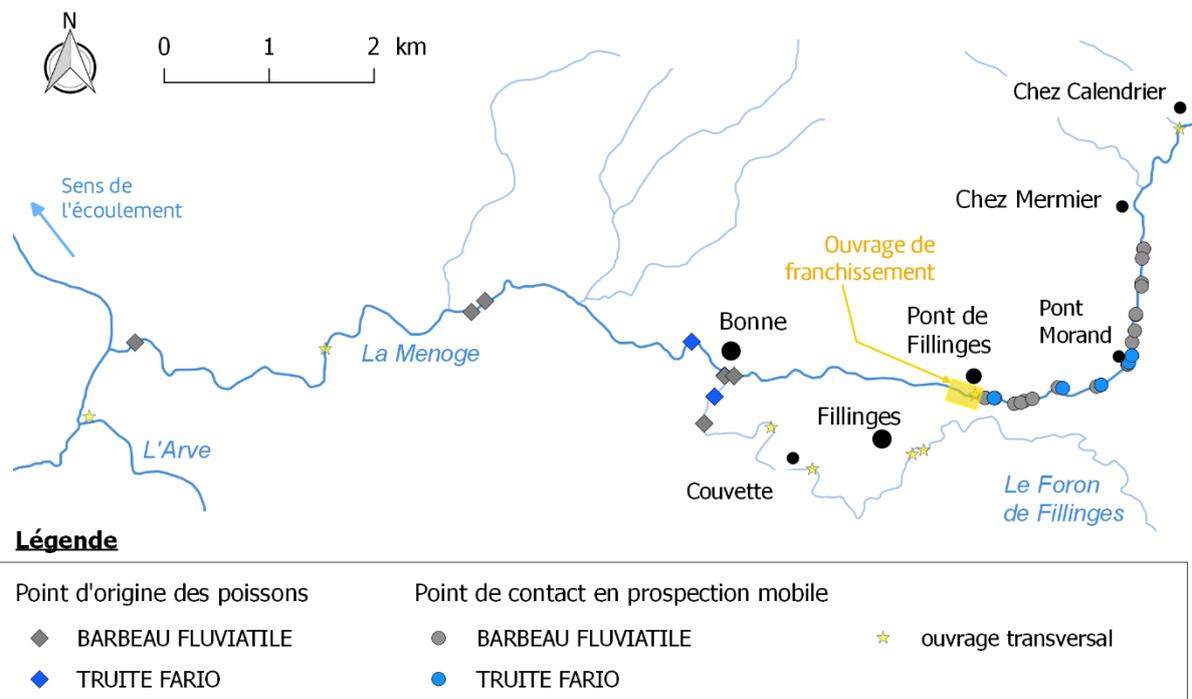


Figure 40 : Localisation des points de marquage et de recontact des 26 individus détectés lors de la prospection mobile du 13 juin 2017.

#### 4.4.3 Données historiques des inventaires piscicoles en amont de l'ouvrage de Pont de Fillings

Les données historiques d'inventaire montrent clairement que l'ouvrage de Pont de Fillings dressait une barrière à la remontée de certaines espèces, notamment celles de la famille des cyprinidés (Figure 41). Ces derniers plutôt inféodés aux milieux lenticules et tempérés, trouvaient des habitats favorables en basse Menoge. En 2008, les classes d'abondance du barbeau fluviatile et du chevesne à Bonne s'élevaient respectivement à 5 et 1. En 2010, ces deux espèces étaient simplement présentes au pied de l'ouvrage tandis qu'elles étaient totalement absentes en amont de l'ouvrage tout comme le blageon et le spirilin. En amont de Pont de Fillings, le peuplement piscicole se composait essentiellement de la truite fario et du chabot avec des abondances qui fluctuaient en fonction du secteur et de l'année de pêche.

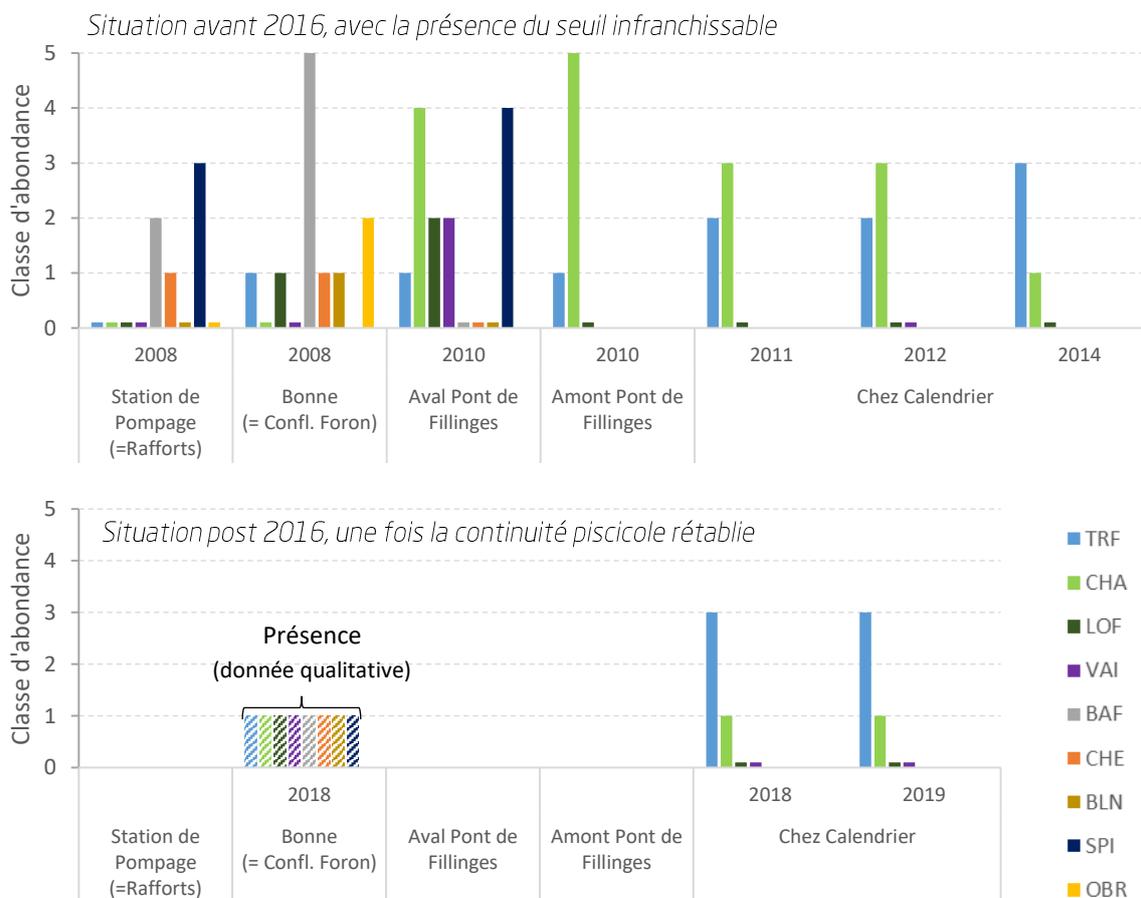


Figure 41 : Histogrammes des abondances spécifiques sur chacune des stations piscicoles historiques proches de Pont de Fillinges.

D'autres espèces présentes de manière anecdotique sur la station de Bonne ont été soustraites des histogrammes, à savoir l'épinoche et le goujeon en 2008 et la truite arc en ciel et le black bass à grande bouche en 2018.

Les données récentes récoltées en 2018 et 2019 chez Calendrier, soit 4,5 km en amont de Pont de Fillinges ne montrent pas d'évolution notable. Depuis 2014, les classes d'abondance de la truite fario et du chabot sont stables (Figure 41). Les deux espèces de cyprinidés détectées au niveau de l'ouvrage de Pont de Fillinges, à savoir le barbeau fluviatile et le chevesne, n'apparaissent actuellement pas dans le peuplement piscicole de Chez Calendrier.

La Figure 42 permet de faire un focus sur la truite fario qui est l'espèce cible de la gestion piscicole départementale. Les données démographiques des populations de truite du secteur d'étude sont confrontées sur la référence départementale (standard départemental défini dans le Plan Départemental pour la Protection du milieu aquatique et la Gestion des ressources piscicoles (PDPG) (FDAAPPMA, 2016)). A la première lecture, il apparaît que les densités et biomasses post travaux (2018 et 2019) sur le secteur de Chez Calendrier sont plus élevées.

La récolte de données piscicoles régulières en plusieurs stations du bassin versant nous permet de préciser ce constat. En effet, une augmentation similaire est observable au niveau de la station « témoin » de Chez Soujeon (commune Habère – Lullin), située 8.7 km plus en amont. Sur ce secteur,

cet accroissement ne peut être étayé par un flux d'individus venus du secteur reconnecté aval, puisqu'il en est séparé par 3 ouvrages transversaux identifiés comme difficilement franchissables (hauteur de chute entre 1.20 m et 1.80 m) par le Référentiel des Obstacles à l'Écoulement (ROE, source AFB).

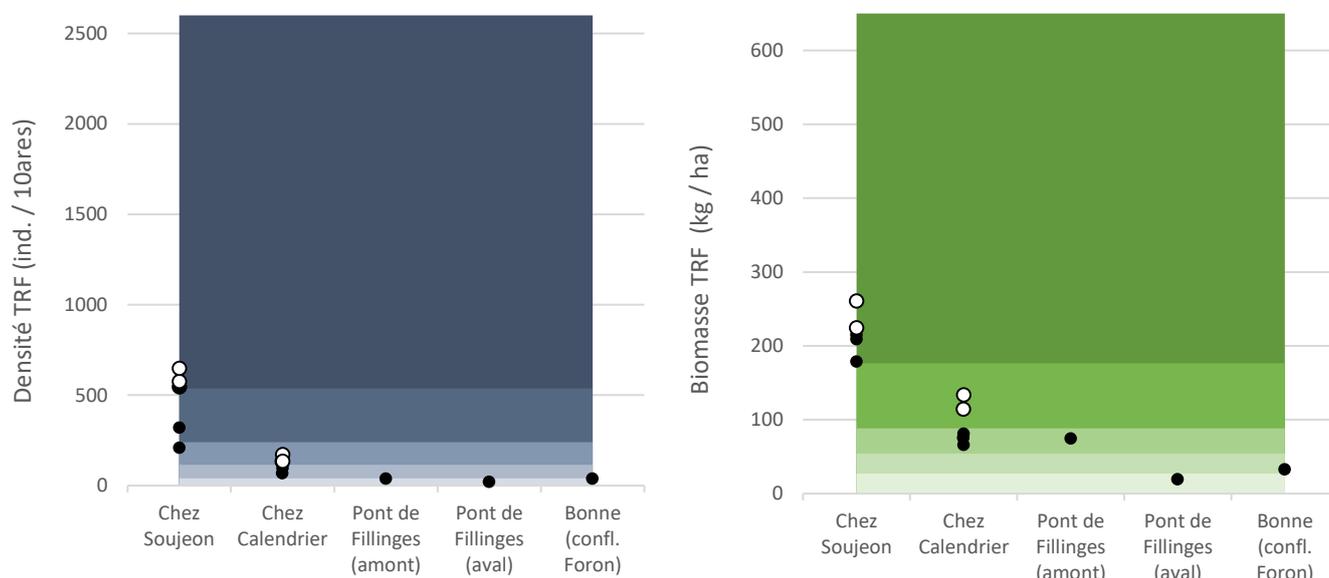


Figure 42 : Valeurs de densité (individus/10 ares, bleu) et biomasse (kg/ha, vert) de truite fario par station de suivi piscicole. Les stations suivent un gradient amont-aval de la gauche vers la droite. Les points blancs correspondent aux années post-travaux (2018, 2019) et les points noirs aux données avant travaux (2011 à 2014). Le gradient de couleur définit les 5 classes du standard départemental: dégradé / perturbé / moyen / standard dép. bas / standard dép. haut.

Le rétablissement de la continuité piscicole au niveau de Pont de Fillings n'a pas d'influence en 2019 sur la composition du peuplement piscicole et la dynamique de population de truite fario au niveau du secteur de Chez Calendrier.

Cette station d'inventaire est inscrite à l'observatoire départemental de la FDAAPPMA 74. Elle sera donc prospectée régulièrement à l'avenir ce qui permettra de suivre l'évolution du peuplement piscicole sur ce secteur et d'évaluer l'inertie d'un potentiel enrichissement spécifique et/ou démographique lié au rétablissement de la continuité écologique à Pont de Fillings.

## 5 Conclusion et perspectives

Le seuil maçonné de la RD1907 à Pont de Fillings constituait jusqu'au début de l'année 2016 une discontinuité dans les corridors vert et bleu de la Menoge. Il représentait un point dur stoppant l'érosion régressive de la Menoge vers l'amont mais empêchait également les remontées piscicoles. En 2010, le peuplement piscicole de la basse Menoge à dominance cyprinicole se révélait très différent de celui du secteur en amont de Pont de Fillings composé essentiellement de truite et de chabot.

Les travaux d'aménagement réalisés en 2016 ont permis d'une part de stabiliser l'ouvrage du pont de la RD1907 tout en maintenant le profil en long de la Menoge et de conforter les berges (enrayer leur affouillement ainsi qu'un glissement de terrain local en rive gauche) et d'autre part, de rétablir la continuité écologique. Cet aménagement d'envergure (rampe enrochée de 224 m de long) se fond bien dans le paysage 3 ans après sa réalisation. Le suivi télémétrique (utilisation de la technologie RFID) qui fait l'objet de ce rapport permet de dresser le bilan des déplacements piscicoles sur le secteur de Pont de Fillings suite à la reconquête de continuité écologique. Il a débuté le 12 mai 2017 et s'est terminé le 31 octobre 2019, soit une durée de 29 mois.

La rampe enrochée conçue pour laisser passer toutes les espèces a été équipée d'un dispositif de détection composé de 8 antennes dites « pass-over » et de 5 lecteurs-enregistreurs. Le dispositif a bien tenu dans le temps, puisqu'aucune antenne n'a été arrachée et il s'est révélé efficace. On estime une faible perte d'information liée aux dysfonctionnements partiels du dispositif (bruit parasite, désétalonnage d'une antenne...) et / ou à ses caractéristiques limitantes face aux conditions hydrauliques lors d'évènements de hautes eaux (détection uniquement sur les 40 cm à 65 cm inférieurs de la lame d'eau). On considère que 90 % des individus marqués ont été détectables par le dispositif RFID sur l'ensemble de la lame d'eau durant 70 % du temps au cours du suivi. Aussi les résultats de passage peuvent être adoptés en l'état sans y ajouter une marge d'erreur ; ils reflètent de toute façon un minima du nombre de détections.

Sur le secteur proche (au maximum 10 km) en aval de l'aménagement, 1665 poissons ont été capturés dans la Menoge, le Foron de Fillings et l'Arve entre juin 2016 et septembre 2018 et équipés d'un PIT-tag. L'échantillon marqué se composait pour 37 % de barbeaux fluviatiles, 43 % de truites fario et 9 % de chevesnes. Les autres espèces (ombre, blageon, spirin, chabot) malgré leur intérêt patrimonial ne représentaient que 11 % de l'échantillon marqué.

Les 3 espèces « mobiles » principalement présentes dans la Menoge au niveau du secteur de Bonne ont été détectées au niveau de l'ouvrage de Pont de Fillings, à savoir par ordre d'importance : le barbeau fluviatile (74 % des individus détectés), la truite fario (24 %) et dans une moindre mesure, le chevesne (2 %). Ils sont originaires pour 89 % (n = 118) d'un secteur très proche de l'ouvrage, éloigné au maximum de 3.5 km. Les petites espèces n'ont pas été contactées. Il faut dire qu'elles n'appartiennent pas au rang des « migrants » et n'effectuent généralement pas de grands déplacements (WOCHER & RÖSCH, 2006). Pour ces espèces peu mobiles sur des pas de temps « courts », 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). L'ombre commun, également absent des résultats, migre pourtant facilement sur des longues distances notamment lors de sa phase de reproduction (par exemple, OVIDIO *et al.*, 2004). Néanmoins, dans la Menoge, son aire de présence connue se cantonne entre l'Arve et le Foron de Fillinges, soit sur un tronçon situé 2.6 km en aval de l'aménagement (GADAIS, 2012). Il remonte aisément dans le Foron de Fillinges qui est thermiquement plus tamponné que la Menoge et également un peu plus frais en période estival.

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 dont l'état des populations est dégradé dans la Menoge aval (FDAAPPMA, 2016), a une espérance de vie plus courte que les cyprinidés et, est la cible principale de la pêche de loisirs. Cette espèce a vu son nombre de détections chuter en 2018 et 2019 avec la décroissance des opérations de marquage.

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 de la Menoge se chiffre à environ 10 %.

La rampe enrochée de Pont de Fillinges, conçue pour être la plus transparente possible dans le but de rétablir la continuité écologique, remplit tout à fait son rôle et permet la libre circulation des poissons. Les barbeaux et les truites effectuent des vas et viens entre le secteur aval et celui en amont de Pont de Fillinges. Sur les 138 individus détectés par les dispositifs fixes et mobiles, 116 ont franchi l'ouvrage, soit un taux multi-spécifique de franchissabilité élevé de 84 % (se chiffrant entre 67 % et 91 % suivant les espèces). La majorité des poissons effectuent la montaison de l'ouvrage en 4 h à 5 h. Les plus rapides ne mettent que quelques dizaines de minutes (le record est détenu par un barbeau en 11 min) tandis que les plus lents vont y passer plusieurs jours voire plusieurs mois (record de lenteur détenu aussi par un barbeau en 108 jours).

Entre 19 % des géniteurs de truite fario et 31 % des géniteurs de barbeaux ont effectué plusieurs montaisons de l'ouvrage, soit la même année, soit chaque année.

Sept mois de l'année enregistrent une forte activité de déplacements piscicoles au niveau de Pont de Fillinges. La première période d'avril à août, caractérisée par l'étiage de la Menoge, est marquée par la bonne circulation des barbeaux entre le crépuscule (21 h) et l'aube (4 h) et par des comportements « aventuriers » de truites. La seconde, en novembre – décembre, cible essentiellement les déplacements de reproduction des géniteurs de truite fario et des dévalaisons de barbeaux adultes qui sont à la recherche de sites d'hivernage. Aucun mouvement n'est observé en dessous de 4°C. Les barbeaux traversent l'ouvrage majoritairement dans une gamme de températures entre 8°C et 20°C tandis que les truites entre 4°C et 15°C.

Plusieurs barbeaux (n = 8 ; soit 8 % de l'effectif détecté) sont clairement identifiés comme vivant dans ou à proximité immédiate de l'ouvrage puisqu'ils sont responsables d'un grand nombre de contacts (69 %) au niveau du dispositif fixe. Parmi eux, 6 étaient originaires de la zone de travaux. Ils sont donc logiquement retournés sur leur zone de vie initiale après avoir été déplacés 2.6 km en aval au moment de la pêche de sauvegarde.

Les truites ne font que transiter au niveau de l'ouvrage de Pont de Fillinges, sans y séjourner longtemps comme peuvent le faire les barbeaux adultes (jusqu'à plusieurs mois). Parmi celles qui ont effectué une migration de montaison, presque la moitié d'entre elles (13 sur 33) n'est pas redescendue. Elles ont soit trouvé des habitats favorables en amont pour effectuer leur cycle de vie soit sont mortes (naturellement ou par capture) sur le linéaire en amont de Pont de Fillinges.

Pour le chevesne, les 3 individus détectés fournissent peu d'informations sur les déplacements de cette espèce. On peut simplement évoquer qu'ils séjournent sur le secteur de Pont de Fillinges en même temps que les barbeaux.

L'ouvrage actuel ne semble pas créer de difficulté dans les mouvements piscicoles. Même si l'ombre commun n'a pas été détecté au niveau du dispositif RFID au cours du suivi, s'il venait à l'avenir à s'aventurer en amont de la confluence Menoge - Foron de Fillinges, le franchissement de l'aménagement ne serait qu'une formalité puisqu'il possède des capacités de nage et de saut supérieures à celles du barbeau fluviatile (BAUDOIN *et al.*, 2014).

L'aire de vie du Barbeau fluviatile dans la Menoge s'est donc allongée avec la reconnexion du linéaire amont. Sa présence a été avérée jusque « Chez Mermier » en juin 2017, soit 3.2 km en amont de l'aménagement. Pour l'instant la donnée historique d'inventaire piscicole acquise au niveau de Chez Calendrier (4.5 km en amont de l'ouvrage) n'enregistre pas d'évolution par rapport à la situation pré-travaux. Ce point d'inventaire appartient au réseau de l'observatoire piscicole départemental. Il sera donc prospecté régulièrement par la FDAAPPMA 74 ce qui permettra de suivre l'évolution du peuplement piscicole ainsi que la dynamique des populations et, de les mettre en lien avec la reconnexion de la Menoge aval.

Même si la majorité des poissons détectés au cours de ce suivi semble vivre sur quelques kilomètres de rivière au sein du bassin versant de la Menoge, des connexions entre les affluents de l'Arve (Menoge et Giffre, soit 40 km) et avec le Rhône genevois existent, même si elles sont à la marge (identifiées pour 4 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.

## 6 Bibliographie

- AARESTRUP, K., LUCAS, M. C., & HANSEN, J. A. (2003). Efficiency of a nature-like bypass channel for sea trout (*Salmo trutta*) ascending a small Danish stream studied by PIT telemetry. *Ecology of freshwater fish*, 12(3), 160-168.
- 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.
- BARRAS, E. & CHERRY, B. (1990). Seasonal activities of female barbel *Barbus barbus* (L.) in the River Ourthe (Southern Belgium), as revealed by radio tracking. *Aquatic Living Resources*: 283-294.
- 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. (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.
- BAUDOIN, J.M., BURGUN, V., CHANSEAU, M., LARINIER, M., OVIDIO, M., SREMSKI, W., STEINBACH, P. & VOEGTLE, B., 2014. Evaluer le franchissement des obstacles par les poissons. Principes et méthodes. *ONEMA*, 200 pages
- BRITTON, J. R., & PEGG, J. (2011). Ecology of European barbel *Barbus barbus*: implications for river, fishery, and conservation management. *Reviews in Fisheries Science*, 19(4), 321-330.
- BUNT, C. M., KATOPODIS, C., & MCKINLEY, R. S. (1999). Attraction and passage efficiency of white suckers and smallmouth bass by two Denil fishways. *North American Journal of Fisheries Management*, 19(3), 793-803.
- 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. (2017). Suivi du franchissement piscicole de l'ouvrage du Pont de Fillinges; Rapport 2016 - Avril 2017, 12 p.

- 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 chevine (*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.
- CUINAT, R. (1970). Ecologie et peuplements des cours d'eau à Truites - Première partie, Chap. III : Repeuplements d'entretien. *Bulletin Français de Pisciculture*, N°240, p 74-103.
- DE LURY, D.B. (1951). On the planning of experiments for the estimation of fish population. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 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.
- 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.
- GADAIS, R. (2012). Etude des comportements migratoires post-reproduction chez l'ombre commun (*Thymallus thymallus* L. 1758) par radiopistage sur le bassin versant de l'Arve. FDPPMA74, 52 p. + annexes.
- GHAAPPE. (2001). Libre circulation des poissons migrateurs et seuils en rivière. Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, Guide technique n°4 : 28 p.
- HERRERA, M., HERNANDO, J. A., FERNANDEZ-DELGADO, C. & BELLIDO, M. (1988). Age, growth and reproduction of the barbel, *Barbus sclateri* (Günther, 1868), in a first-order stream in southern Spain. *Journal Fish Biology* 33, 371-381.
- HUNT, P. C., & JONES, J. W. (1975). A population study of *Barbus barbus* L. in the River Severn, England. III . Growth. *J. Fish Biol.* 7, 361-376.
- HUCHET, P. (2012). Diagnostic écologique des cours d'eau du bassin versant de la Menoge - *Fédération de Haute-Savoie pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique*, 84p. + annexes

- 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,
- MELCHER, A. H., & SCHMUTZ, S. (2010). The importance of structural features for spawning habitat of nase *Chondrostoma nasus* (L.) and barbel *Barbus barbus* (L.) in a pre-Alpine river. *River Systems*, 19(1), 33-42.
- MEYERS, L.S., THUENGLER, 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.
- PONCIN, P. (1989) Effects of different photoperiods on the reproduction of the barbel, *Barbus barbus* (L.), reared at constant temperature, *Journal Fish Biology* 35, 395-400.
- PONCIN, P., MELARD, C. & PHILIPPART, J. C. (1987). Utilisation de la température et de la photopériode pour contrôler la maturation sexuelle en captivité de trois espèces de poissons cyprinidés européens :

*Barbus barbus* (L.), *Leuciscus cephalus* (L.) et *Tinca tinca* (L.) – Résultats préliminaires, *Bull. Fr. Pêche Piscic* 304, 1-12.

- TISSOT, L., & SOUCHON, Y. (2010). Synthèse des tolérances thermiques des principales espèces de poissons des rivières et fleuves de plaine de l'ouest européen. *Hydroécol. Appl.* Tome 17, pp. 17-76.
- TÜRKMEN, M., HALILOGLU, H. I., ERDOGAN, O. & YILDIRIM, A. (1999). The growth and reproduction characteristics of chub *Leuciscus cephalus orientalis* (Nordmann, 1840) living in the river Aras. *Tr. Journal of Zoology* 23, 355-364.
- 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.
- WORCHER, H., & RÖSCH, R. (2006). Migrations of souffies (*Leuciscus souffia agassizii*, Val. 1844) in a natural river and a tributary determined by mark-recapture. *Arch. Hydrobiol.* 165, 77-87.

## 7 Annexes

### Annexe 1 : Précision sur l'alimentation des antennes implantées côté rive gauche de l'ouvrage

Afin d'optimiser les hauteurs de détection des antennes amont, il a été fait le choix de couvrir une largeur de lit mineur par une paire d'antennes. Cette configuration a été pensée en amont du projet et a été possible par l'intégration en phase « travaux » de la pose de fourreaux de protection sous l'ouvrage pour faire passer le câble twinax qui alimente les antennes de détection.

Le schéma suivant illustre le mode d'alimentation et l'implantation des deux antennes tandis que le plan en coupe transversale spécifie dans quelle couche de matériaux passent les fourreaux sous l'ouvrage et comment ils ressortent par rapport aux caissons végétalisés. Les fourreaux de la rive droite ont également été enterrés pour une meilleure intégration paysagère du dispositif et pour se prémunir d'un éventuel vandalisme.

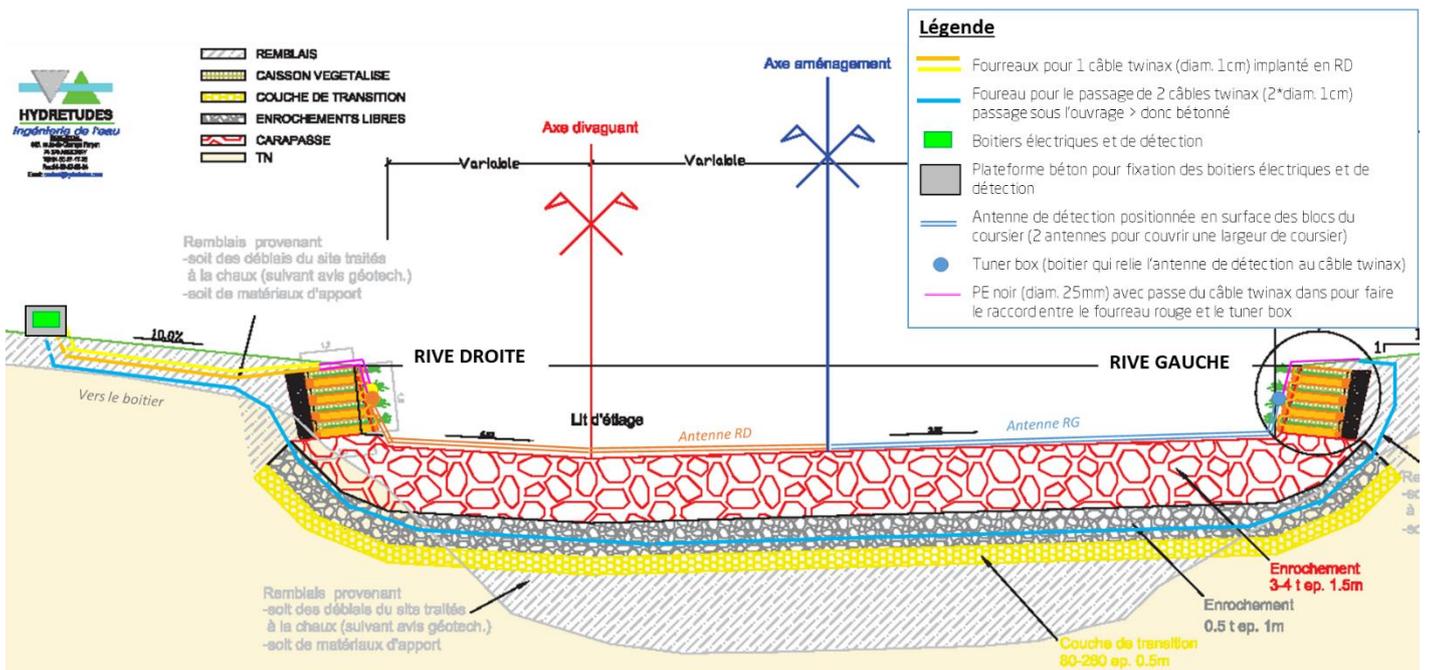
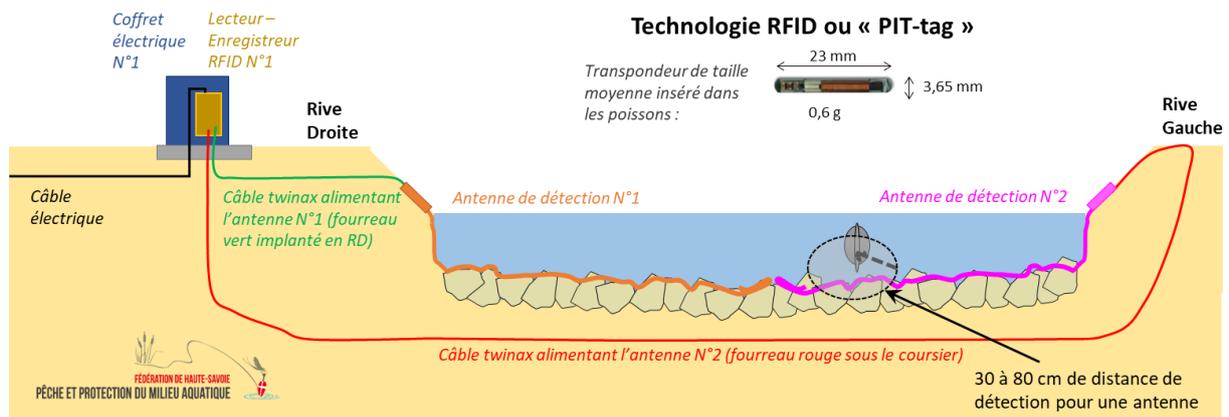


Illustration de la phase « chantier » avec la pose des fourreaux dans une tranchée creusée dans la couche de fond de l'ouvrage. L'entreprise SOCCO qui a réalisé les travaux, a également bétonnée la tranchée pour stabiliser et protéger les fourreaux d'un écrasement (étant donné que les engins de chantier ont circulé sur l'ouvrage durant la création de la couche d'enrochement de surface).



*Pose des fourreaux dans la couche de fond de l'enrochement libre bicouche ; 1 seul fourreau suffit s'il est câblé au préalable*



*Pour stabiliser et protéger les fourreaux, la tranchée a été bétonnée*

Les fourreaux câblés (avec le câble twinax) arrivent jusqu'aux plateformes béton implantées en rive droite pour l'ouvrage de Pont de Fillings. Ces dernières servent à fixer les coffrets électriques et les boîtiers des lecteurs/enregistreurs.



*Fourreaux verts pour une rive et rouges pour la seconde*



*Différenciation aisée des fourreaux en fonction des rives au niveau de la plateforme béton*

## Annexe 2 : Installation du dispositif de détection RFID sur l'ouvrage de Pont de Fillinges (CHASSERIEAU, 2017)

Les travaux d'aménagement de l'ouvrage ont débuté à l'issue de la pêche électrique de sauvegarde qui a eu lieu le 29 juin 2016 sur les 250 m de cours d'eau touchés par l'aménagement (Figure 43).

Entre juin et octobre, les débits de la Menoge ont permis le bon déroulement des travaux d'aménagement. Ces derniers devaient être terminés impérativement avant le 31 octobre avec une remise en eau de l'ouvrage à cette date-là.

Les travaux dans le lit de la Menoge ont été finalisés courant octobre avec une remise en eau partielle de l'ouvrage effectuée le 30 septembre 2016. Il était initialement prévu (lors de la réunion préparatoire du chantier le 10 mai) de profiter de la mise d'hors d'eau de l'ouvrage pour mettre en place les antennes de détection du dispositif RFID à la surface des blocs de la rampe enrochée. Ce principe n'a pu être respecté puisque le comité de suivi de l'ouvrage a décidé en cours de chantier de laisser la couche de substrat « tout-venant » à la surface des enrochements pour aider à trouver rapidement une étanchéité de la rampe. Ces matériaux servaient dans un premier à maintenir les blocs en place lors des déplacements des engins sur la rampe finalisée. La fédération n'a pas été tenue au courant de ce changement de position et à réceptionner le chantier en l'état (voir compte rendu de chantier du vendredi 28 octobre 2016).

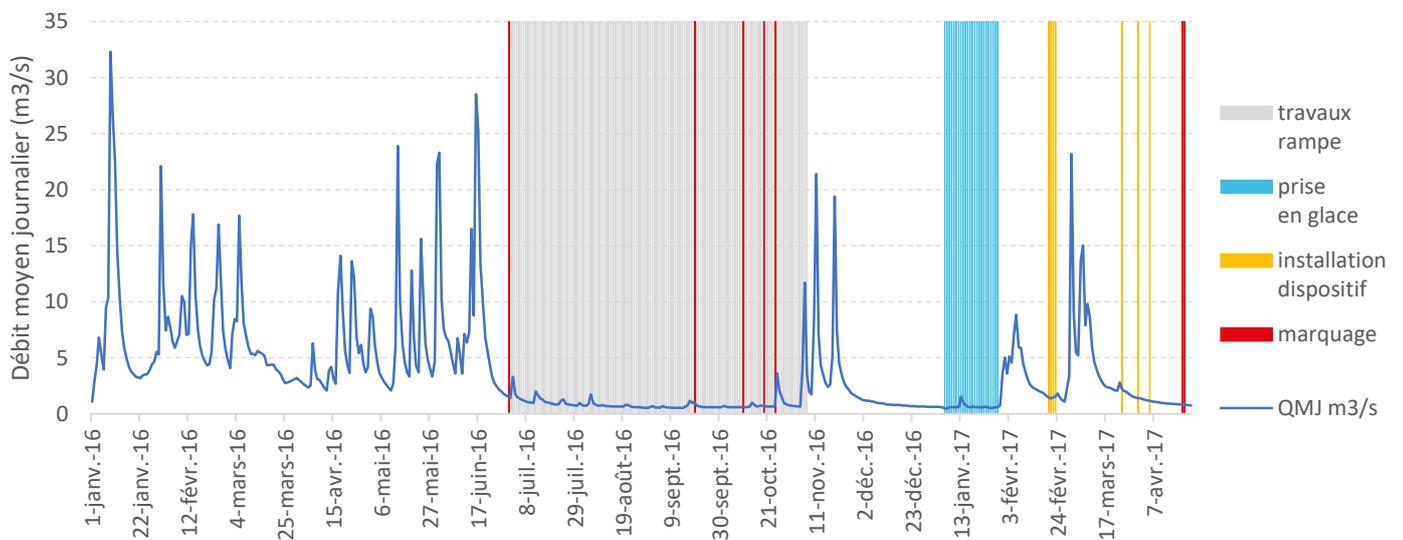


Figure 43: Débit moyen journalier de la Menoge à Bonne confronté à la réalisation des différentes phases d'opération.

Cette configuration de fin de chantier n'autorisait pas la fixation des antennes de détection sur les blocs à la fin du mois d'octobre. Il a donc fallu attendre plusieurs crues hivernales qui ont chassé une grande partie des matériaux de surface puis une période de basses eaux favorable à l'installation aisée des 8 antennes (Figure 43 et Figure 44). La période d'installation aurait pu avoir lieu au mois de janvier mais la Menoge était prise en glace sur les  $\frac{3}{4}$  de son lit mineur à cette période (Figure 44).

28 octobre 2016 : ouvrage finalisé et remis en eau ; réception des travaux et des plateformes béton par la fédération.



25 novembre 2016 : ouvrage ayant subi une 1<sup>ère</sup> crue (débit max 37 m<sup>3</sup>/s) ; réception globale des travaux avec tous les partenaires.



9 janvier 2017 : La Menoge est partiellement prise en glace > impossibilité de mettre en place les antennes de détection.



Figure 44 : Chronologie en images de l'évolution de la hydromorphologie de l'ouvrage depuis la réception des travaux en octobre 2016 jusqu'au mois de janvier 2017 au retour de la période de basses eaux.

Un redoux ayant eu lieu au mois de février et les conditions de débit étant redevenues favorables, la mise en place des antennes a pu être effective. Elle s'est déroulée en 3 phases :

1. 20 – 23 février : Installation des 8 antennes à la surface des blocs et fixation de celles-ci en partie centrale du lit mineur.
2. 23 mars : Mise en place des boîtiers au niveau des plateformes béton et création de coffrages béton de protection des fourreaux jusqu'aux boîtiers.
3. 31 mars et 05 avril : Finalisation des antennes avec creusement des matériaux en pied de berge pour permettre la fixation des antennes sur les blocs recouverts (notamment pour celles de l'amont).

Annexe 3 : Courbe des débits instantanés classés pour chaque année du suivi et identification des valeurs de débit de fonctionnement « limite » défini au 4.1.2

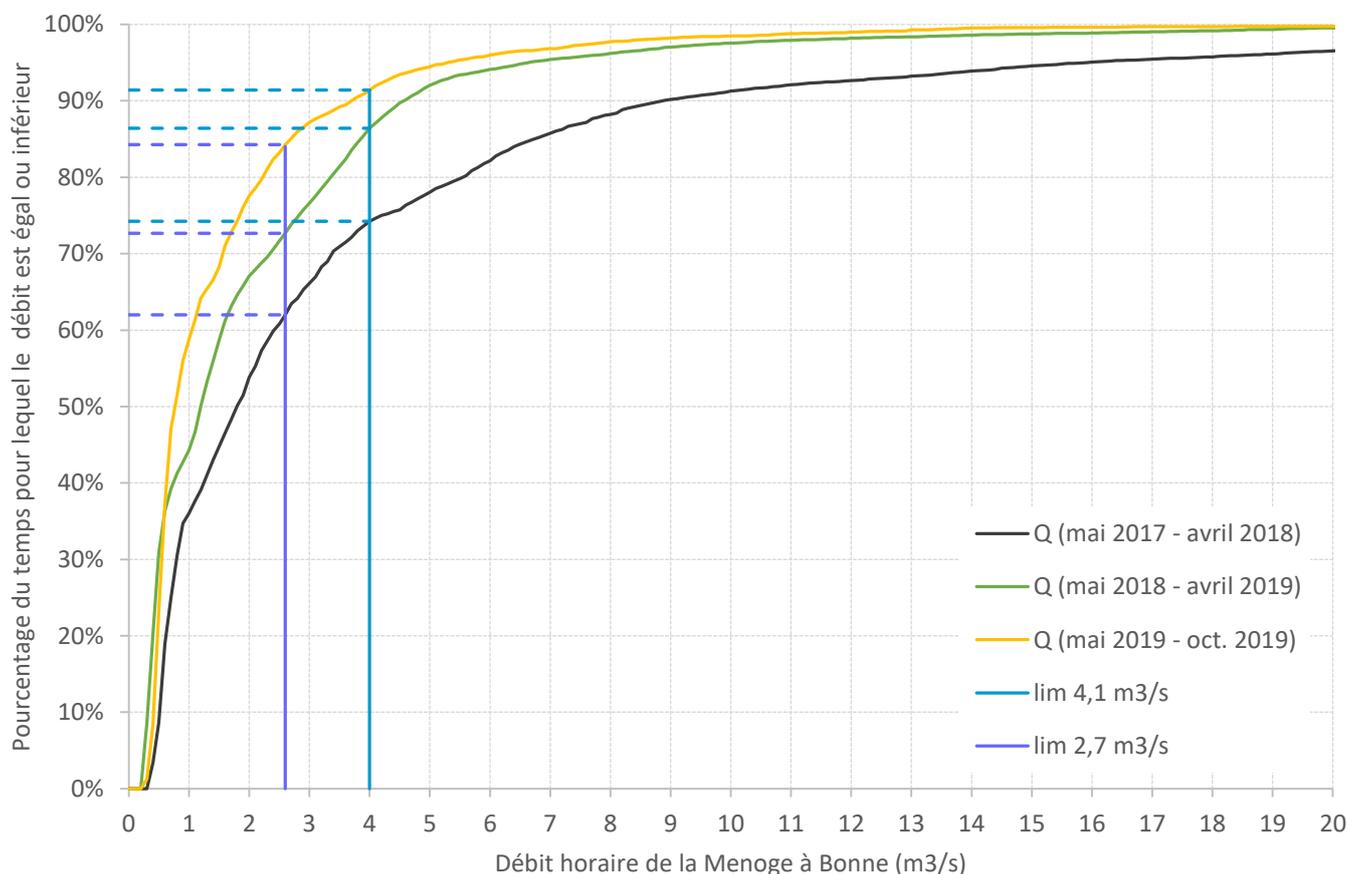
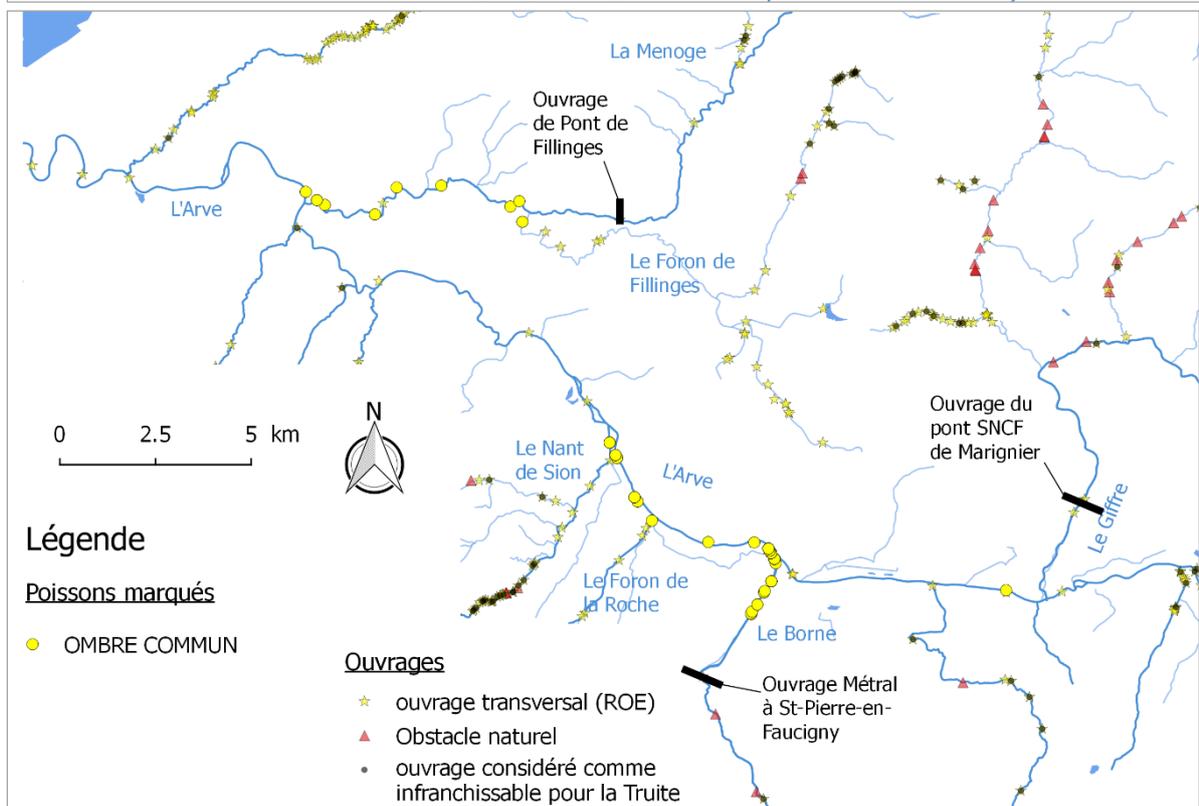
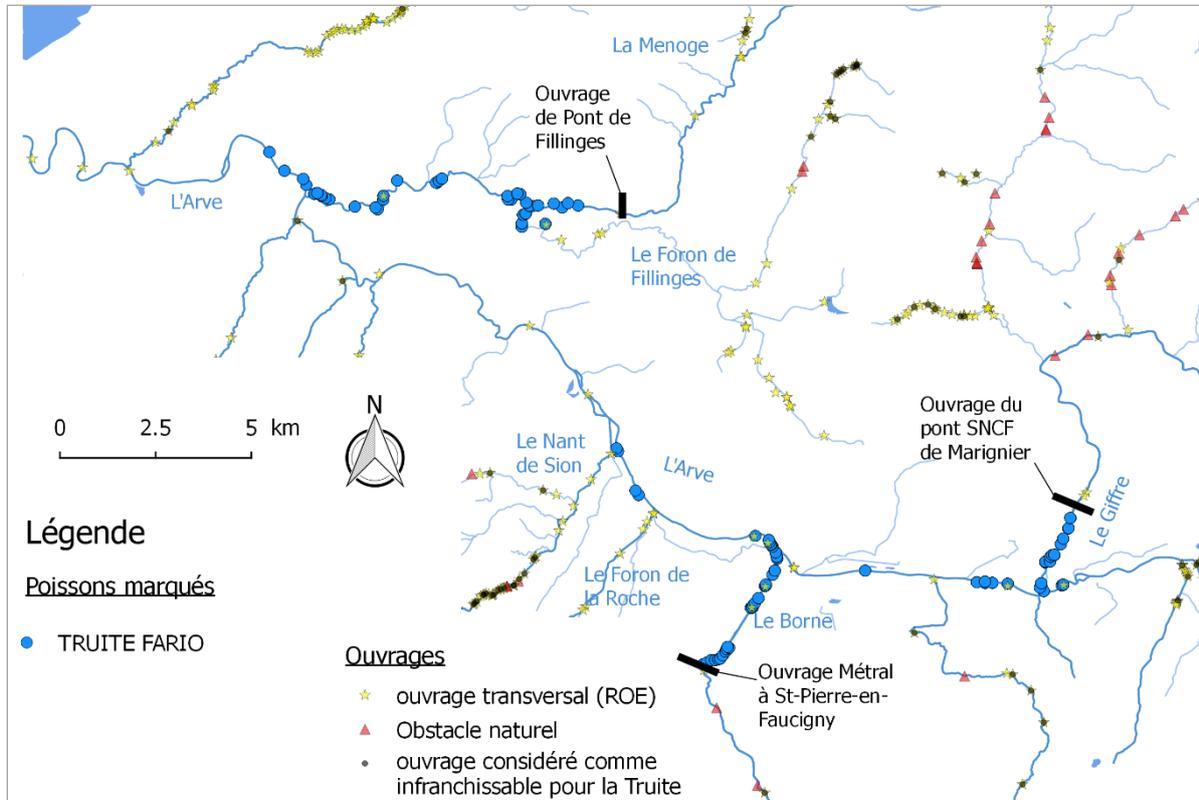
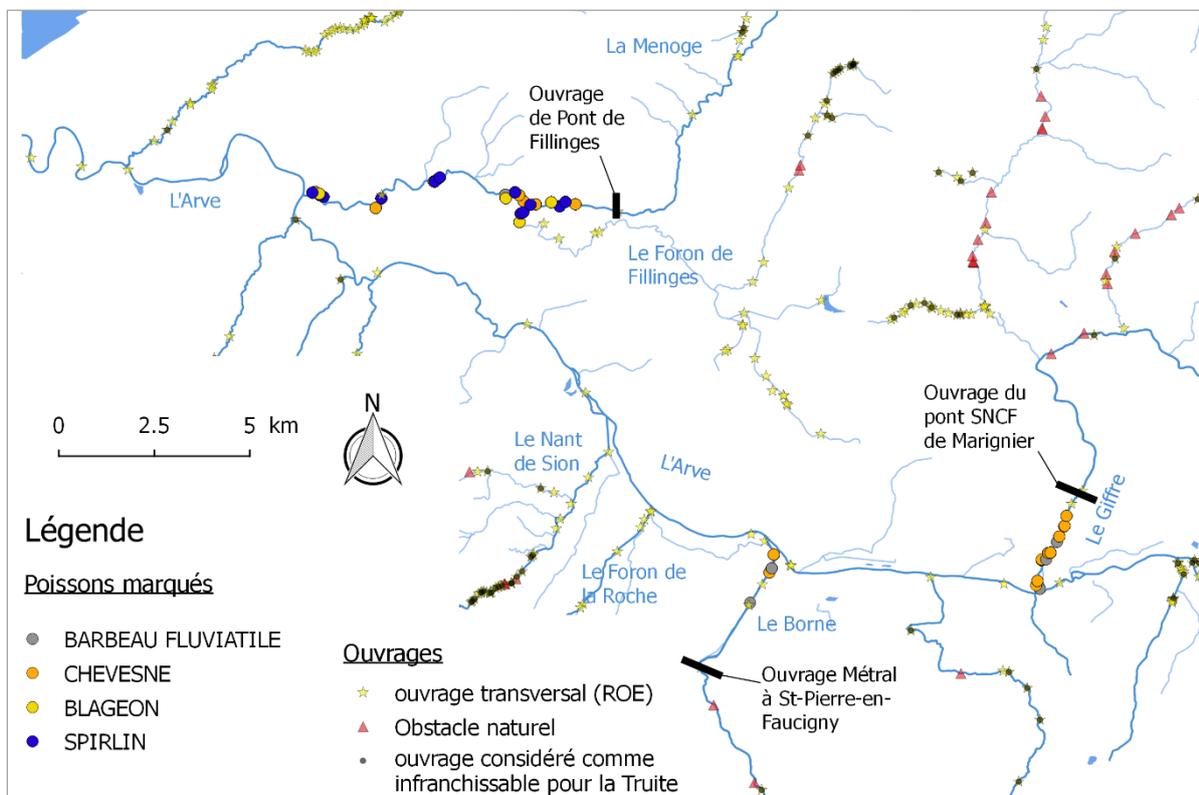
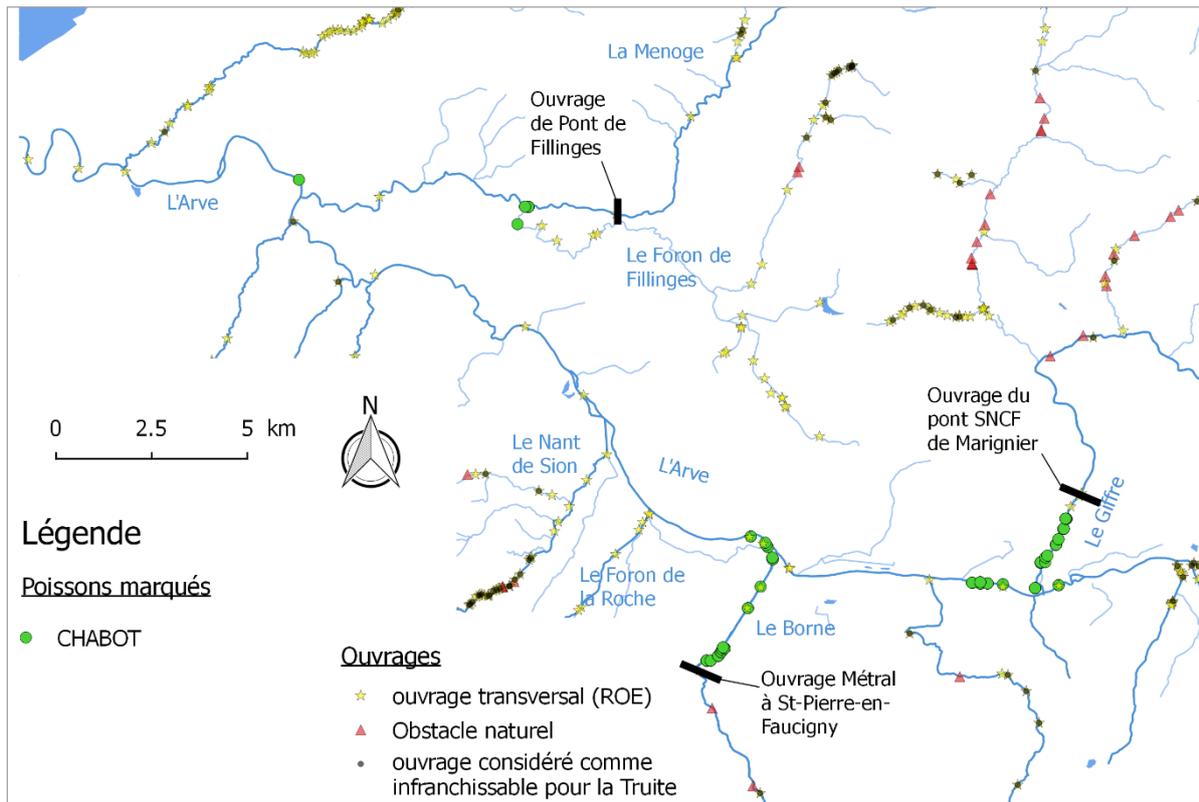


Tableau des pourcentages de temps annuels pour lesquels le débit « limite » est égal ou inférieur au cours de l'année en question.

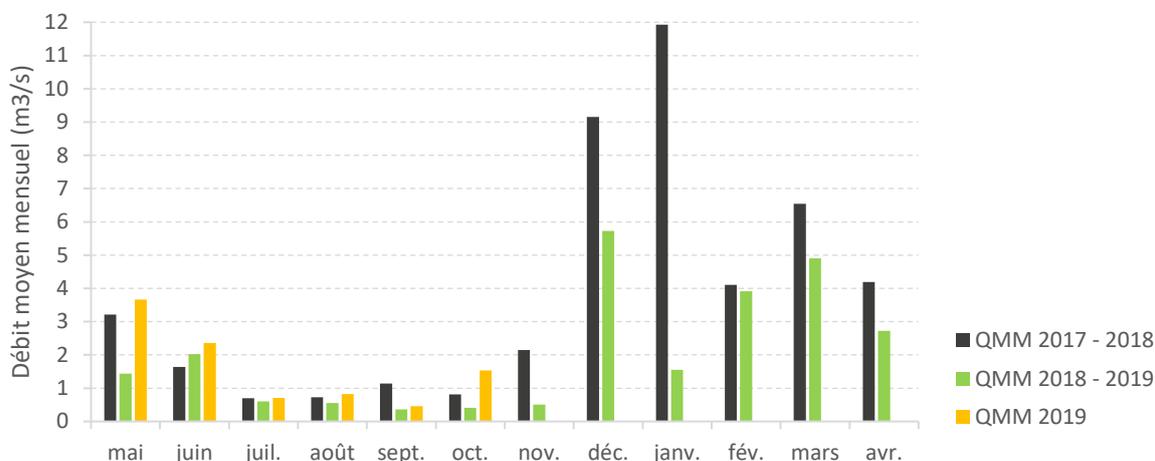
Débit	Année		
	mai 2017 - avril 2018	mai 2018 - avril 2019	mai 2019 - oct. 2020
4,1 m <sup>3</sup> /s	74%	86%	91%
2,7 m <sup>3</sup> /s	62%	73%	84%

Annexe 4 : Localisation des points de marquage (de 2016 à 2018) pour chacune des espèces cibles.





## Annexe 5 : Comparaison des débits moyens mensuels de la Menoge à Bonne (station DREAL V0235020) entre mai 2017 et octobre 2019.



Test de Kolmogorov-Smirnov sur deux échantillons / Test bilatéral :

- Hypothèses :
- H<sub>0</sub> : Les deux échantillons suivent la même loi de distribution.
  - H<sub>a</sub> : Les distributions des deux échantillons sont différentes.

Analyse faite par paire de chroniques

		QMM 2017 - 2018	QMM 2018 - 2019	QMM 2017 - 2018	QMM 2018 - 2019	QMM 2019
Statistiques descriptives	Nb de valeurs	12	12	6	6	6
	Moyenne	3,86	2,058	1,372	0,897	1,59
	Médiane	2,68	1,495	0,975	0,575	1,175
	Ecart type	3,633	1,87	0,968	0,677	1,227
	Minimum	0,7	0,36	0,7	0,36	0,46
	Maximum	11,93	5,73	3,21	2,02	3,66
Test de Kolmogorov- Smirnov sur 2 échantillons	D	0,417				
	p-value (bilatérale)	0,249				

Tests réalisés avec XLSTAT 2019.4.2

		p-value (bilatérale)		
		QMM 2017 - 2018	QMM 2018 - 2019	QMM 2019
D	QMM 2017 - 2018		0,139	1,000
	QMM 2018 - 2019	0,667		0,441
	QMM 2019	0,167	0,500	

Interprétation : Etant donné que les p-values calculées sont supérieures au niveau de signification seuil alpha=0,05, on ne peut pas rejeter les hypothèses nulles H<sub>0</sub>.

Annexe 6 : Débits horaires cumulés de la Menoge à Bonne (station DREAL V0235020) à différentes périodes de l'année au cours du suivi de 29 mois.

