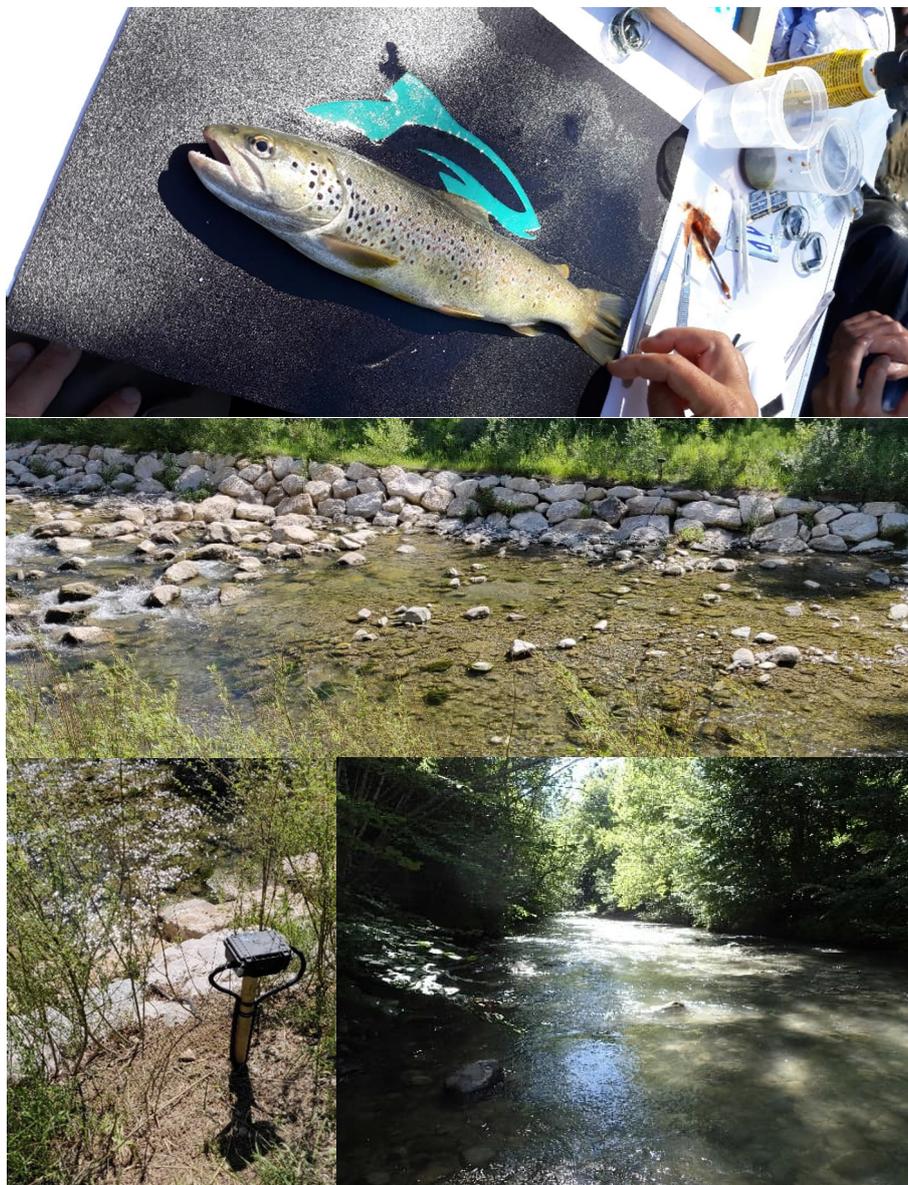




Suivi et évaluation de la franchissabilité piscicole de
l'aménagement du seuil de Chosal, sur les Usses



Rapport final de suivi



Version finale du 19/04/2022

Avec le soutien financier de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, la région Auvergne-Rhône-Alpes et le département de la Haute-Savoie



Travail réalisé en collaboration avec le bureau SAGE Environnement



TABLE DES MATIÈRES

1.	Contexte	3
2.	Fonctionnement d'un dispositif RFID.....	3
3.	Dispositif RFID implanté – matériel et fonctionnement	5
3.1	Matériel installé	5
3.2	Localisation du matériel principal	8
3.3	Tests de portée des antennes	9
4.	Méthode et conditions de capture des poissons.....	10
4.1	Conditions de pêche	10
4.2	Méthode employée	10
4.3	Méthode de marquage.....	13
4.4	Caractéristiques des individus marqués	15
5.	Sonde de débit installée dans les Usse.....	18
6.	Résultats de suivi des déplacements de poissons au droit du seuil de Chosal.....	19
6.1	Suivi hydrologique des Usse à la station de Chosal	19
6.2	Fonctionnement du dispositif RFID	21
6.3	Résultats de suivi du franchissement du seuil de Chosal	23
6.3.1	Flux de détection des poissons.....	23
6.3.2	Résultats spécifiques.....	26
6.3.3	Temps de franchissement du seuil	27
6.3.4	Caractéristiques du franchissement supposé	28
7.	Conclusions sur la franchissabilité du seuil de Chosal	31
8.	Bibliographie mentionnée.....	32

1. CONTEXTE

Dans le cadre du suivi et de l'évaluation de la franchissabilité piscicole du seuil de Chosal sur les Usse, dont des travaux d'aménagement ont permis son effacement courant l'année 2017, le « Syndicat de Rivière les Usse » a demandé à SCIMABIO Interface de réaliser un rapport final d'évaluation afin de constater les résultats comportementaux pouvant ressortir après 490 j. d'étude (du 29 juin 2020 au 31 octobre 2021).

Ce document reprend les éléments de matériel et méthodes déjà présentés à travers les notes techniques d'avancement du projet communiquées au syndicat à chaque étape clé du projet, ainsi que les analyses hydrologiques et comportementales finalisées qui peuvent être proposées en considérant les données récoltées depuis le tout début du suivi.

Ce document a été rédigé début novembre 2021 et concerne les données récoltées durant la totalité du suivi, réalisé entre le 29/06/2020 et le 31/10/2021, soit 490j. de suivi.

2. FONCTIONNEMENT D'UN DISPOSITIF RFID

La RFID (*Radio Frequency Identification*) est une technologie qui permet de récupérer des données à distance en communiquant par des ondes radio basses fréquences.



Les transpondeurs passifs ou PIT-tags (*Passive Integrated Transponder*) sont des petites marques constituées d'une antenne et d'un condensateur associés à une puce électronique qui fonctionnent à une longueur d'onde de 134,2 kHz. Elles sont encapsulées dans du verre et sont conformes au marquage biologique (Figure 1). Elles peuvent donc être utilisées pour le marquage interne d'animaux comme les poissons.

Figure 1 : Exemple de différentes tailles de transpondeurs passifs utilisés pour le marquage des poissons

Chaque transpondeur est caractérisé par un identifiant unique, ce qui permet d'identifier individuellement tous les individus marqués. L'identification des transpondeurs se fait lors du passage de l'organisme marqué à proximité d'une antenne de détection. Les PIT-Tags n'ont pas besoin d'une énergie interne (batterie) pour fonctionner, leur durée de vie est donc illimitée. Ils se chargent de manière passive par induction grâce à une impulsion magnétique transmise par l'antenne reliée à un boîtier lecteur-enregistreur RFID. Cette impulsion charge le condensateur du transpondeur qui en réponse émet son numéro d'identification qui est enregistré par le lecteur-enregistreur en même temps que la date et l'heure de son émission.

La technologie HDX, utilisée depuis longtemps par SCIMABIO Interface et compatible avec le système de suivi de la FDAAPPMA 74, permet sur une même antenne d'alterner très rapidement les phases d'émission et de réception. Le système effectue 10 cycles de lecture par seconde afin de maximiser les chances de détection (Figure 2).

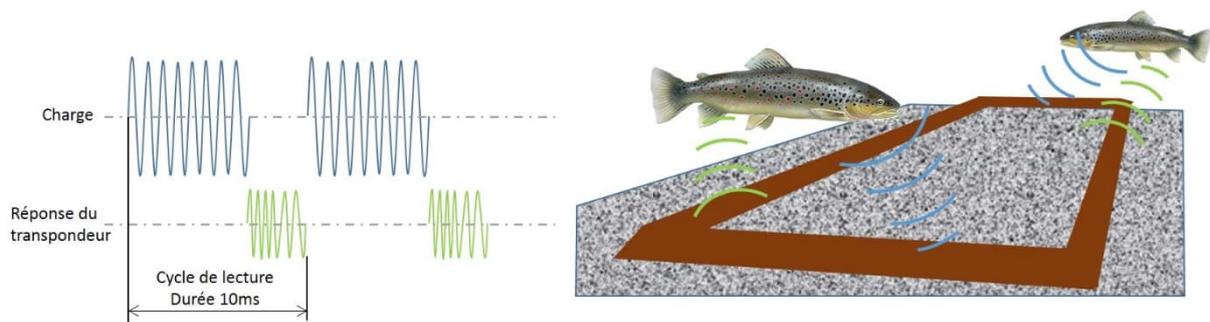


Figure 2 : Illustration du principe de la technologie HDX.

Les poissons marqués peuvent être détectés soit au niveau d’antennes fixes judicieusement placées (sortie d’ouvrage de franchissement, zone naturelle de radier) soit lors de prospections actives à pied en utilisant des antennes portatives couplées à un GPS pour enregistrer les coordonnées des individus détectés.

Les antennes fixes disposées en rivière peuvent être de dimensions et de formes très variables, elles peuvent être de type « pass-over » (disposées à plat au fond du lit) ou « pass-through » (verticale en formant un cadre) (Figure 3).

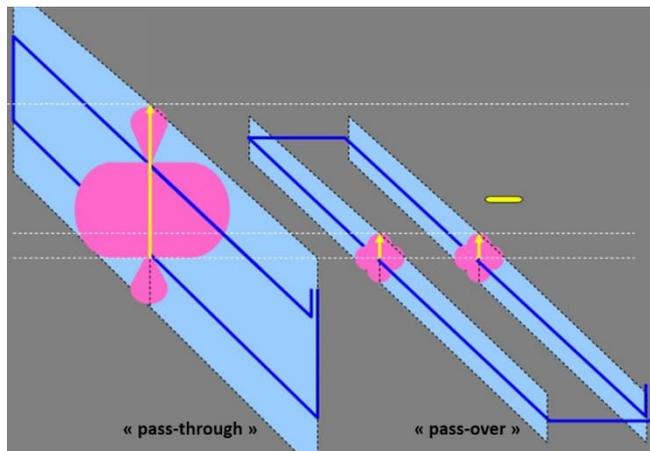


Figure 3 : Schéma illustrant les zones de détections des deux configurations d’antenne (pass-through et pass-over).

Dans le cas d’une installation « pass-over », configuration qui a été privilégiée pour le site de Chosal, le poisson marqué est détecté en passant au-dessus de l’antenne jusqu’à une certaine hauteur. Cette hauteur est propre à chaque antenne et varie en fonction de plusieurs paramètres : largeur de l’antenne, type de câble utilisé, tension électrique utilisée, caractéristique du site. Son avantage est de permettre un ancrage plus solide sur le fond d’un cours d’eau et donc de présenter un risque moindre d’être endommagé lors d’une crue. En revanche, sa zone de détection est plus réduite par rapport à une antenne verticale (figure 3).

Une antenne « Pass-over » de 18 mètres de long



Figure 4 : Photos d’installation d’antennes « pass-over »

Le chapitre 3 détaille les organes de fonctionnement de la technologie RFID au regard de l’installation qui a été privilégiée pour le site de Chosal.

3. DISPOSITIF RFID IMPLANTÉ – MATÉRIEL ET FONCTIONNEMENT

3.1 Matériel installé

Pour rappel, le dispositif RFID installé est composé des éléments suivants (photographies prises sur site à la suite de l'installation, hormis l'illustration de la marque-test difficilement accessible) :

- ☑ Une alimentation électrique très basse tension 12 à 15 V; cette alimentation est reliée au réseau électrique par l'intermédiaire d'un coffret électrique HT installé semaine 49 de l'année 2019 par un électricien agréé. Ce coffret est localisé en bordure de route « Chemin des Usse ».



- ☑ Un lecteur-enregistreur RFID qui est placé dans un coffret étanche IP66 sécurisé ; pour éviter le vandalisme opportuniste, le coffret est verrouillé à clé et solidement fixé. Tous les passages de câble (alimentation électrique et twinax) sont étanchéifiés par des presse-étoupes et de la gaine thermorétractable étanche. Le lecteur RFID comprend par défaut un système de transfert des données à distance ; au total, deux lecteurs ont été installés (un par rideau d'antenne) et placés dans un coffret unique.



- ☑ Du câble twinax reliant le lecteur RFID aux « tuners » des antennes. Le câble est protégé à l'aide d'une gaine ICTA (diamètre 20mm) Arnould Duogliss spécifiquement prévue pour les usages extérieurs.



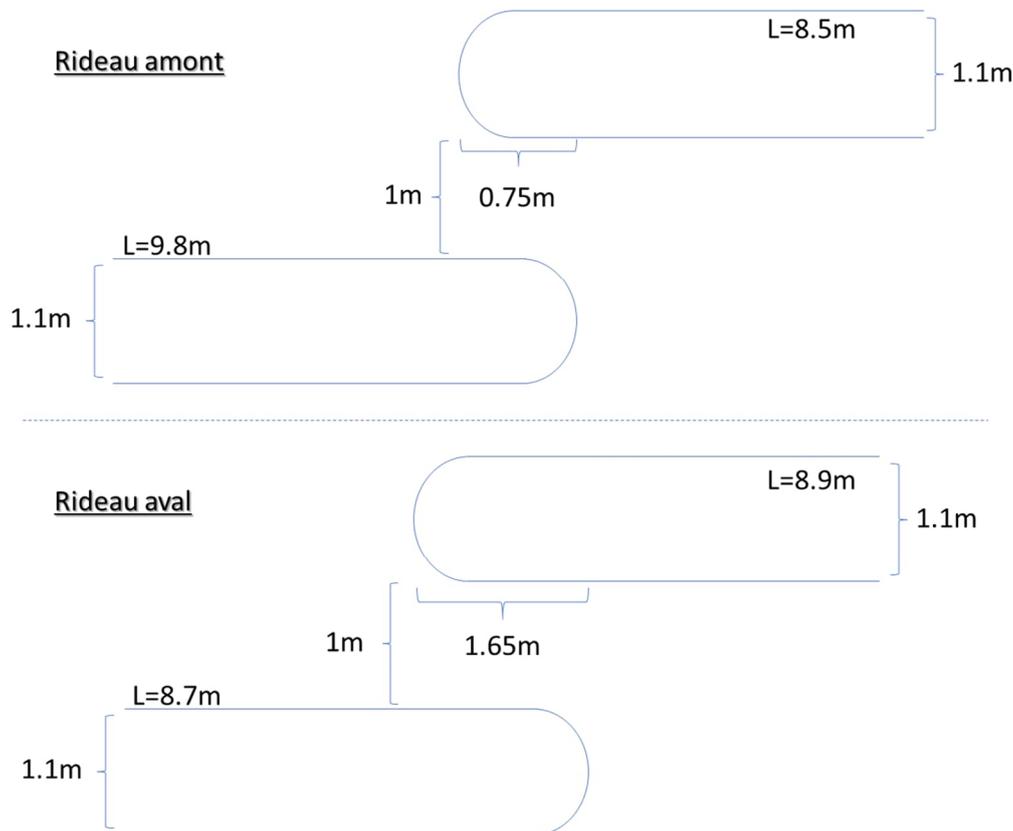
- ☑ Un tuner par antenne destiné à régler le champ magnétique de chaque antenne. Il est positionné à proximité de celle-ci et hors d'eau. Le tuner est fourni dans une boîte polyester étanche IP65. Ce conditionnement présente un indice d'étanchéité et de résistance aux chocs suffisants pour être utilisé en milieu naturel. L'étanchéité des connexions du twinax et du câble d'antenne est assurée par des presse-étoupes et de la gaine thermorétractable étanche ;



- ☑ Quatre antennes de détection placées dans la rivière (2 rideaux d'antennes installées en décalé) ; chaque antenne est confectionnée à partir de câble souple en cuivre (câble électrique ou hifi). L'antenne est solidement fixée à l'aide de pieux en bois, de tiges métalliques et de blocs ;



Ci-après un schéma détaillant les dimensions de l'installation des antennes.



- ☑ Une marque-test par antenne pour contrôler son bon fonctionnement. Ce témoin est programmé pour fonctionner pendant quelques secondes toutes les 30 minutes. Ces informations sont précieuses en fin de projet lors du traitement des données pour valider les résultats obtenus ;



3.2 Localisation du matériel principal

La Figure 5 localise les organes principaux de l'installation décrite dans le chapitre précédent. Le coffret électrique installé par l'électricien (haute tension) et notre coffret électrique (+ transformateur) ont été installés côte à côte.

De notre coffret BT, un câble BT d'environ 100m court le long du chemin des Ussez (a été enterré en bordure de route jusqu'au pont passant sur l'affluent des Ussez, puis attaché le long de ce pont récemment rénové) et longe la parcelle limitrophe jusqu'à son environ 10m de son angle situé le plus à l'Est de l'installation.

Les coffrets RFID ont été installés côte à côte dans un coffret de protection, à l'intérieur de la propriété du riverain. Le coffret a été fixé au sol, par l'utilisation de 4 tiges boulonnées dans le coffret et enfoncées à environ 1m de profondeur. Le coffret est fermé à clé par un système de doubles serrures.

De ces coffrets partent les câbles twinax qui rejoignent les différentes antennes.

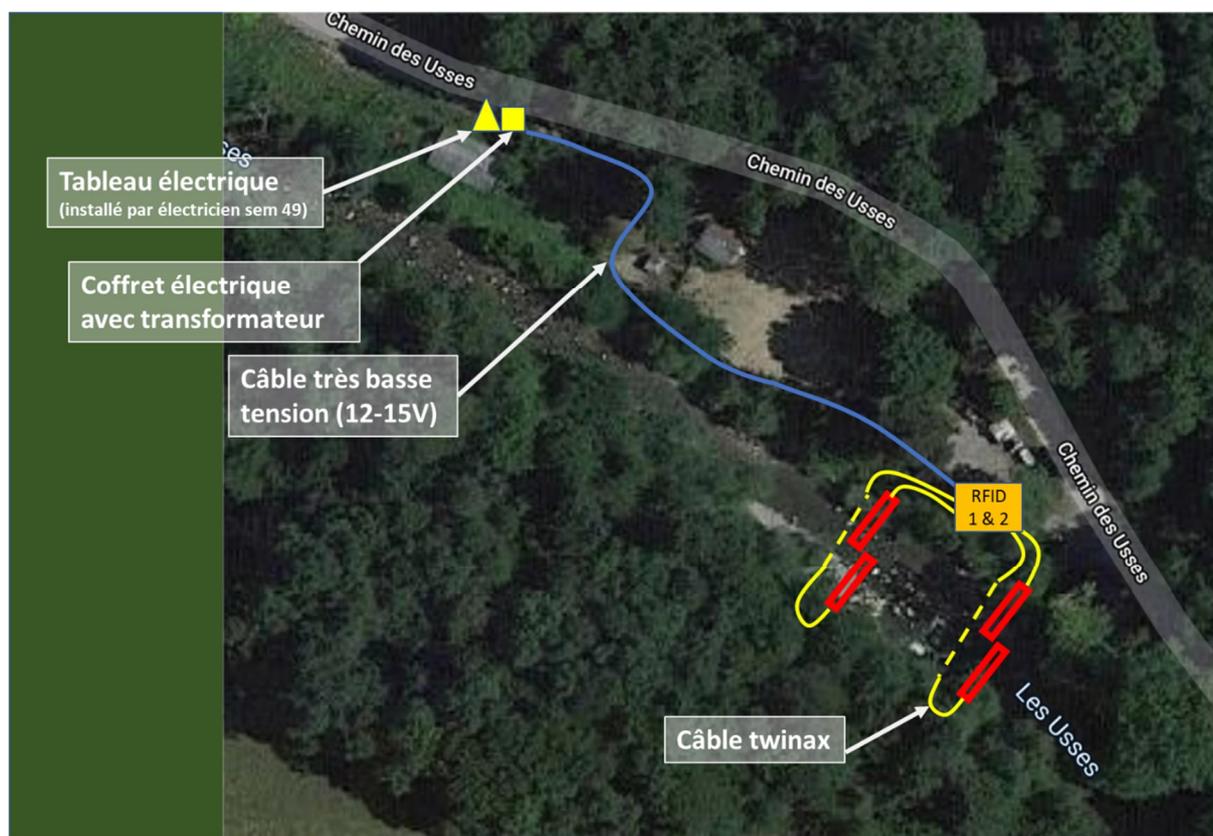


Figure 5 : Schéma d'implantation du système RFID installé au site de Chosal.

Les antennes amont ont été placées environ 5m en amont du seuil. Initialement, elles auraient dû être placées un peu plus en aval (Figure 6), mais il n'était pas possible d'enfoncer les pieux de maintien sur cette zone. Cela étant, la position actuelle des antennes amont permet de valider le franchissement du seuil par les poissons lorsque ceux-ci sont détectés par une des deux antennes.

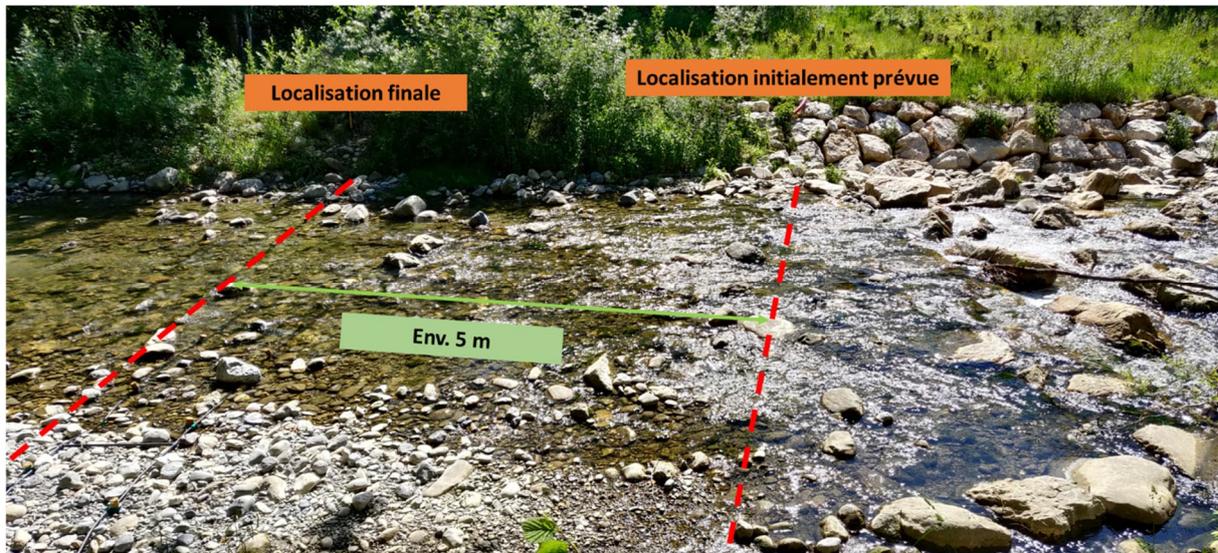


Figure 6 : Localisation du rideau d'antennes amont et localisation de sa position initialement prévue.

3.3 Tests de portée des antennes

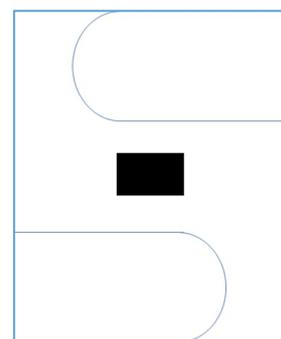
Un test de portée des antennes a été réalisé après que tout le système ait été mis en place, c'est-à-dire dans les mêmes conditions de fonctionnement que celles qui ont été enregistrées durant la détection des poissons marqués par Pit-Tag.

Voici les résultats de ce test :

Taille tag utilisé	Antennes	Rive	Portée (cm)
13 mm	Amont	Gauche	20
		Droite	25
	Aval	Gauche	25
		Droite	25
23 mm	Amont	Gauche	55
		Droite	65
	Aval	Gauche	70
		Droite	70

Enfin, étant donné la forme ellipsoïdale du champ de détection des antennes et leur configuration en quinconce, il existe une zone aveugle entre les têtes d'antenne. Elle concernera principalement les poissons qui passeront collés au fond de la rivière, c'est-à-dire les espèces benthiques comme le chabot. Pour les autres espèces, qui passeront dans cette zone à >20 cm de hauteur (par rapport au fond), la détection est effective.

Cette zone est estimée à environ 50-60 cm de long pour une quarantaine de centimètres de large.



4. MÉTHODE ET CONDITIONS DE CAPTURE DES POISSONS

À la suite de l'installation du dispositif RFID, il a été nécessaire de capturer des poissons afin de leur implanter les transpondeurs « PitTags » et de suivre leur déplacement à proximité des antennes installées dans les Usse. Les chapitres suivants détaillent la méthodologie de capture/marquage employée, ainsi que les espèces et individus qui ont été équipés de ces transpondeurs.

4.1 Conditions de pêche

La campagne de pêche s'est déroulée du 29 juin au 1^{er} juillet 2020. Chaque jour de pêche, un secteur différent était prospecté.

La météo était ensoleillée, avec une température de l'air maximale enregistrée d'environ 30°C.

La température de l'eau des Usse, au moment des pêches, a oscillé entre 14.5 et 15.5°C. Soit des températures assurant de bonnes conditions de marquage et de survie pour les poissons anesthésiés.

Les pêches se sont déroulées d'environ 8h30 à 18h chaque jour, hors durée de préparation du matériel.

4.2 Méthode employée

Les différentes entités formant l'équipe de pêche étaient réparties comme suit :

- Une personne dédiée au transport du groupe de pêche : de marque EFKO de 2kW, réglé sur 500V.
- Pour la capture des poissons : 3 personnes dédiées à la capture du poisson : une anode utilisée en parallèle 2-3 épuisettes
- Un porteur de seau pour le transit des poissons capturés.



Figure 7 : Équipe type de pêche. La seconde épuisette et le porteur de seau ne sont pas visibles.

Les pêches se sont déroulées d'amont vers l'aval les 2 premiers jours (secteurs en aval du seuil), puis d'aval vers l'amont le troisième jour (secteur en amont du seuil).

Les caractéristiques des trois secteurs pêchés sont les suivantes :

N° secteur	Date pêche	X_aval	Y_aval	Lim sect dist seuil (m)	Largeur (m)	Long. (m)
1 (aval)	29/06/2020	938161	6551734	276-0	8	276
2 (aval)	30/06/2020	937741	6552101	791-276	8	515
3 (amont)	01/07/2020	938345	6551615	0-562	8	562

Le premier secteur est plus court que les autres, car l'effort a été plus important pour capturer les chabots, plus difficiles à capturer et à marquer.

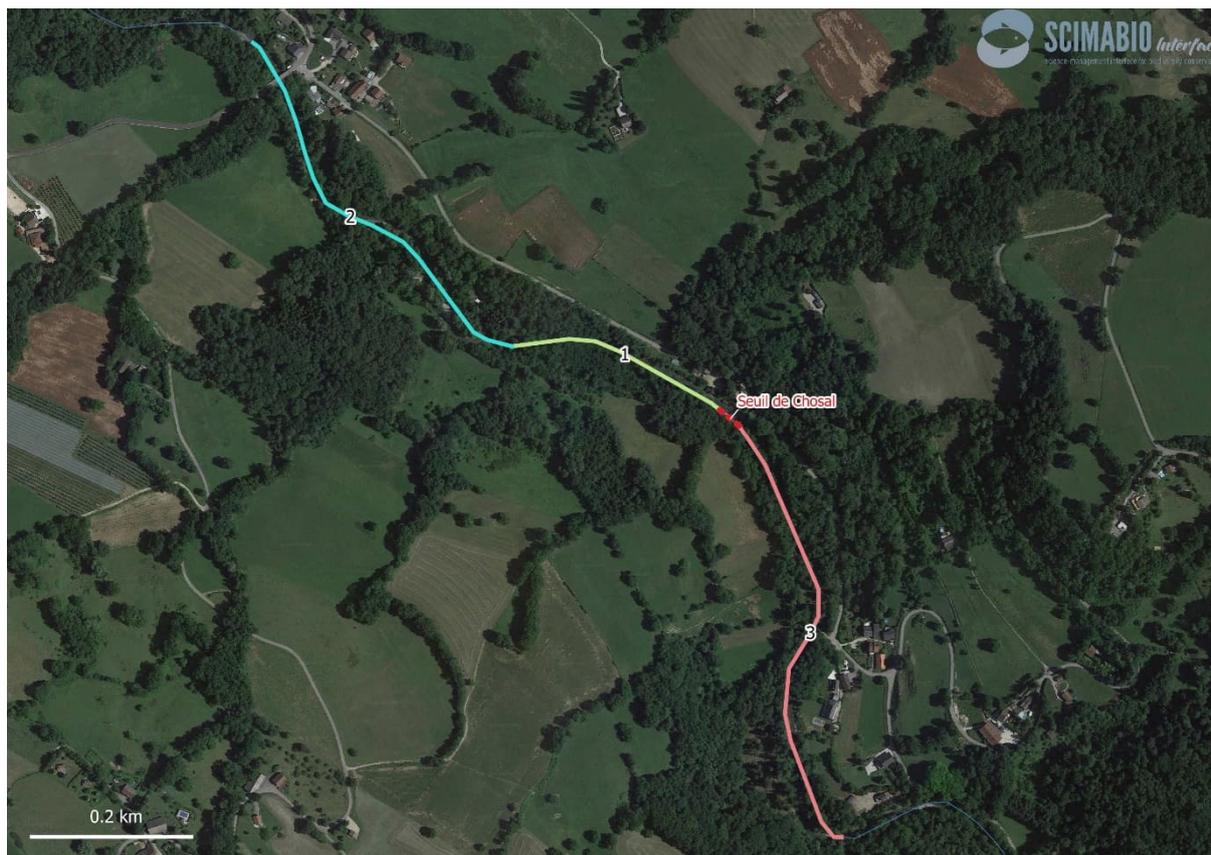


Figure 8 : Localisation des secteurs de pêche

L'objectif étant de capturer prioritairement les truites, chabots, barbeaux et chevaines, tous les habitats piscicoles rencontrés ont été prospectés : berges et centre du cours d'eau. Un seul passage a été réalisé sur chaque linéaire.



Figure 9 : Les Usses sur le linéaire parcouru le premier jour.

Enfin, tous les individus capturés le troisième jour, c'est-à-dire capturés en amont du seuil, ont été déplacés (transloqués) en aval du seuil de Chosal afin de forcer un comportement de montaison et augmenter les chances de franchissement.

4.3 Méthode de marquage

Une fois capturés, les poissons ont été stabilisés dans la rivière à l'aide d'un vivier. Chaque individu a été anesthésié dans un bain d'eugénol (Keene et al. 1998), mesuré (longueur totale au mm près) puis marqué avec un transpondeur. Pour ce faire, la peau a été incisée à l'aide d'un scalpel puis la marque a été introduite dans la cavité péritonéale (Baras et al. 1999).

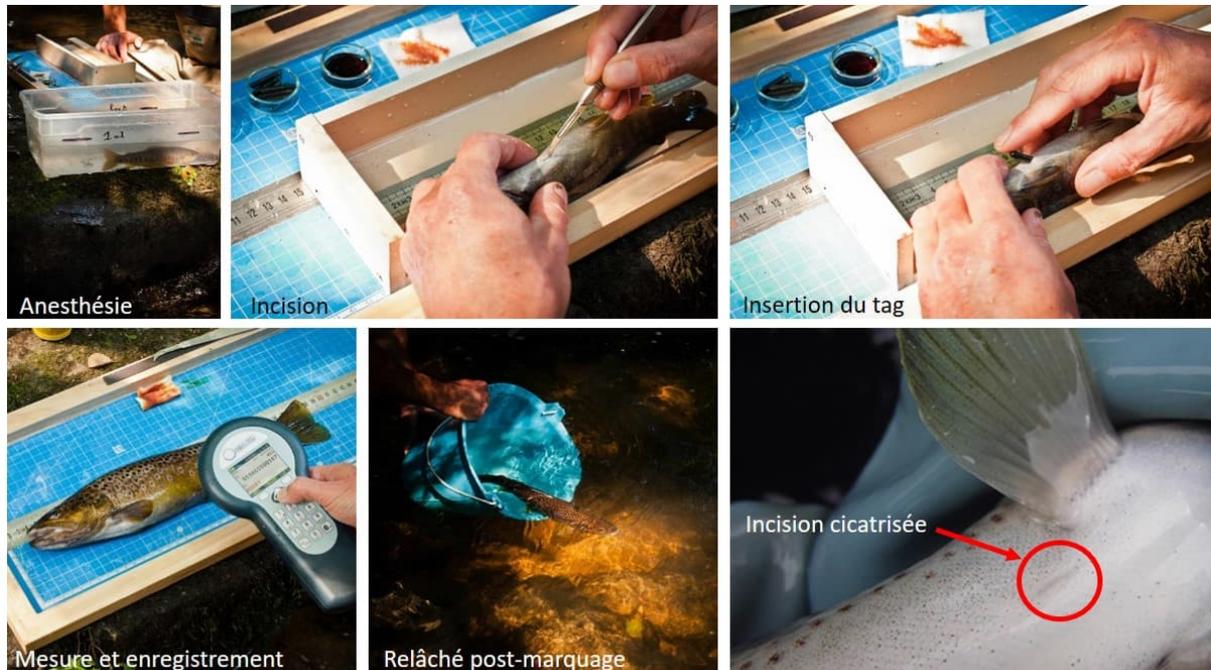


Figure 10 : Illustration des différentes étapes de marquage des poissons dans le cadre du présent suivi et vue d'une incision cicatrisée (photo provenant d'un autre suivi).

La taille des marques utilisées a été adaptée à la taille des poissons. Conformément aux recommandations de la littérature (Brown et al. 1999; Acolas et al. 2007; Richard et al. 2013), les poissons de taille inférieure à 120mm (longueur totale) ont été marqués avec des transpondeurs 13mm (0,1g) et les poissons de taille supérieure à 120mm avec des transpondeurs de 23mm (0,6g). Tous les chabots ont été marqués avec des transpondeurs de 12mm.



L'opérateur responsable du marquage a veillé à limiter à un maximum de 30 secondes la durée totale de la manipulation hors d'eau des poissons.



Après marquage, les individus ont été stabulés dans un bac de réveil le temps qu'ils retrouvent toute leur capacité natatoire avant d'être libérés dans la rivière.

La température de l'eau dans les bacs d'anesthésie et de réveil a été contrôlée en continu afin d'éviter des différences avec la température de la rivière de plus de 1°C. Dans tous les cas, aucun marquage n'a été réalisé à une température d'eau supérieure à 16°C (Baras et al. 1999; Jepsen et al. 2002).

Le protocole mis en place respecte l'ensemble de la réglementation en vigueur en termes de capture et de marquage d'animaux à des fins scientifiques. Les captures ont été réalisées conformément à l'arrêté de pêche scientifique obtenu. Le protocole de marquage a été validé par le comité d'éthique CECCAPP de Lyon, réalisé par des opérateurs habilités et le projet a reçu l'agrément du Ministère de la Recherche sous le numéro 22580.

Aucune perte de marque n'a été constatée immédiatement après marquage. La cicatrisation intervient rapidement au bout de quelques jours empêchant tout rejet de la marque par l'incision. Le taux de rétention post-marquage chez la truite commune pour des individus de taille supérieure à 100mm est proche de 100% (Vatland et Caudron 2015).

Enfin, les objectifs de marquage suivant étaient initialement prévus :

Espèce	Tag	Taille min (mm)	N total prévu
Truite	13	80	260
	23	120	410
Barbeau	13	80	30
	23	130	60
Chevaine	13	80	30
	23	130	60
Chabot	12	60	150
Total			1000

4.4 Caractéristiques des individus marqués

À la suite des trois jours de pêche, 646 poissons ont été marqués, selon la répartition suivante :

Date de capture	Espèce	Taille tag	Nb	Remarques
29/06/2020 Secteur 1 aval	Chabot	12 mm	138	Individus déplacés à proximité de l'antenne aval
	Truite	13 mm	29	
		23	58	
30/06/2020 Secteur 2 aval	Truite	13 mm	32	
		23	177	
01/07/2020 Secteur 3 amont	Chabot	12 mm	71	
	Truite	13 mm	19	
		23 mm	122	
Total			646	65% de l'objectif initial

Nous pouvons apporter les précisions suivantes :

- Les objectifs de marquage n'ont pas pu être atteints du fait d'une quantité de poissons particulièrement faible dans les secteurs prospectés. Aussi, de manière à optimiser les chances de franchissement du seuil, il a été décidé de ne pas capturer de poissons trop en aval de l'aménagement. Il en résulte que les objectifs de marquage ont été atteints à environ 65%.
- En considérant la forme des truites locales et notamment leur maigreur, les tags 23 mm ont été utilisés pour des individus >130 mm et non pas 120 mm.
- Le second jour, seules des truites ont été marquées puisque le quota de marquage des chabots était déjà presque atteint le premier jour.
- Aucun barbeau ni aucun chevaine n'a été capturé durant ces trois jours de pêche ; les habitats prospectés n'étant pas compatibles avec leur présence.
- D'une manière générale, l'effort réalisé pour capturer et marquer ces 646 individus a été très important. Sur d'autres cours d'eau, un tel effort de capture aurait amené bien plus de poissons, notamment en ce qui concerne les truites. Sans préjuger de l'état de la population piscicole en présence, les premières impressions et les résultats de pêche qui les accompagnent dénotent un secteur de pêche plutôt pauvre en truites, en deçà de ce qui devrait être observé dans ce type de rivière.

Pour rappel, tous les poissons ont été relâchés en aval du seuil de Chosal (et en aval des antennes aval), sur 6 points distincts, localisés dans la Figure 11, selon la répartition suivante :

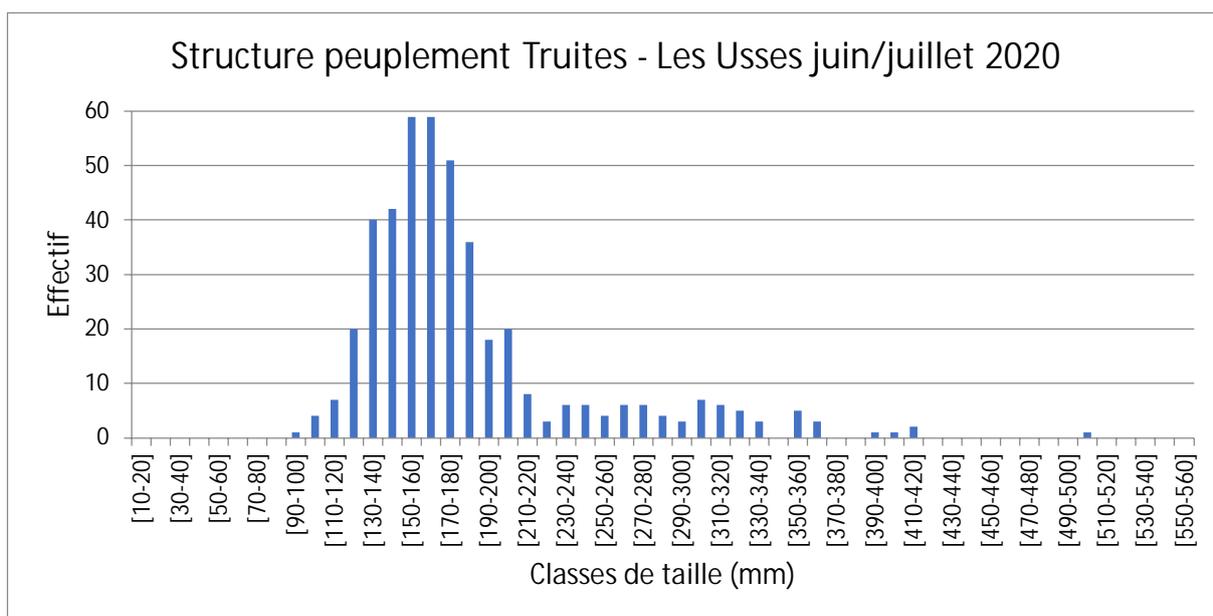
N° point	Distance au seuil (m)	Nb poissons marqués	Translocation
1	5	80	Non
2	14	59	Non
3	38	97	Non
4	54	212	Oui
5	93	129	Non
6	120	69	Non

Tous les individus issus de l'amont (transloqués) ont été relâchés au point 4, localisé 54 m en aval du seuil.

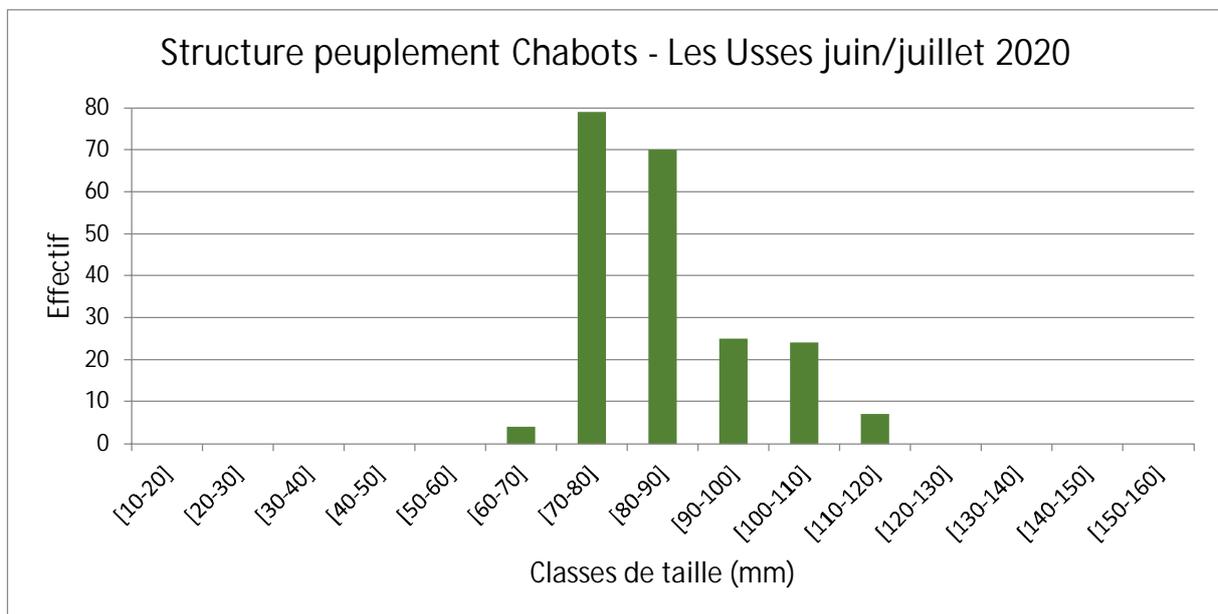


Figure 11 : Localisation des points de relâché des poissons marqués.

Les structures spécifiques en taille des poissons marqués sont présentées ci-après :



Concernant les truites, les premières classes d'âge sont plutôt bien représentées. Nous rappelons que les 0+ ne sont pas présents puisque non marquables avec les tags utilisés. On constate cependant des effectifs assez faibles dès que la taille dépasse les 23 cm. Bien que cela soit normal (en comparaison avec les jeunes classes d'âge), on constate tout de même que ces âges sont moins bien représentés.



Concernant les chabots, la limite de taille de marquage est de 70mm. Il était en effet très délicat d'implanter les émetteurs sur des individus plus petits. Compte tenu de la morphologie de cette espèce, toutes les classes d'âge sont correctement représentées. On regrette l'absence d'individus plus âgés ($L_t > 120$ mm) qui auraient potentiellement eu plus de facilité à franchir le seuil.

5. SONDE DE DÉBIT INSTALLÉE DANS LES USSES

En parallèle du dispositif RFID installé par le bureau SCIMABIO interface, un système de suivi du débit des Usse a été installé par le bureau SAGE Environnement les 5 et 6 mai 2020. Ce système consiste en un capteur radar de niveau de surface OTT RLS implanté sous le tablier du pont de Chosal (RD245) localisé environ 800 m en aval du seuil de Chosal (Figure 12). Plus de détails sur l'installation du capteur peuvent être trouvés dans le contre-rendu d'intervention NT/19.135/324/20 réalisé par le bureau SAGE Environnement et diffusé en date du 07/05/2020.

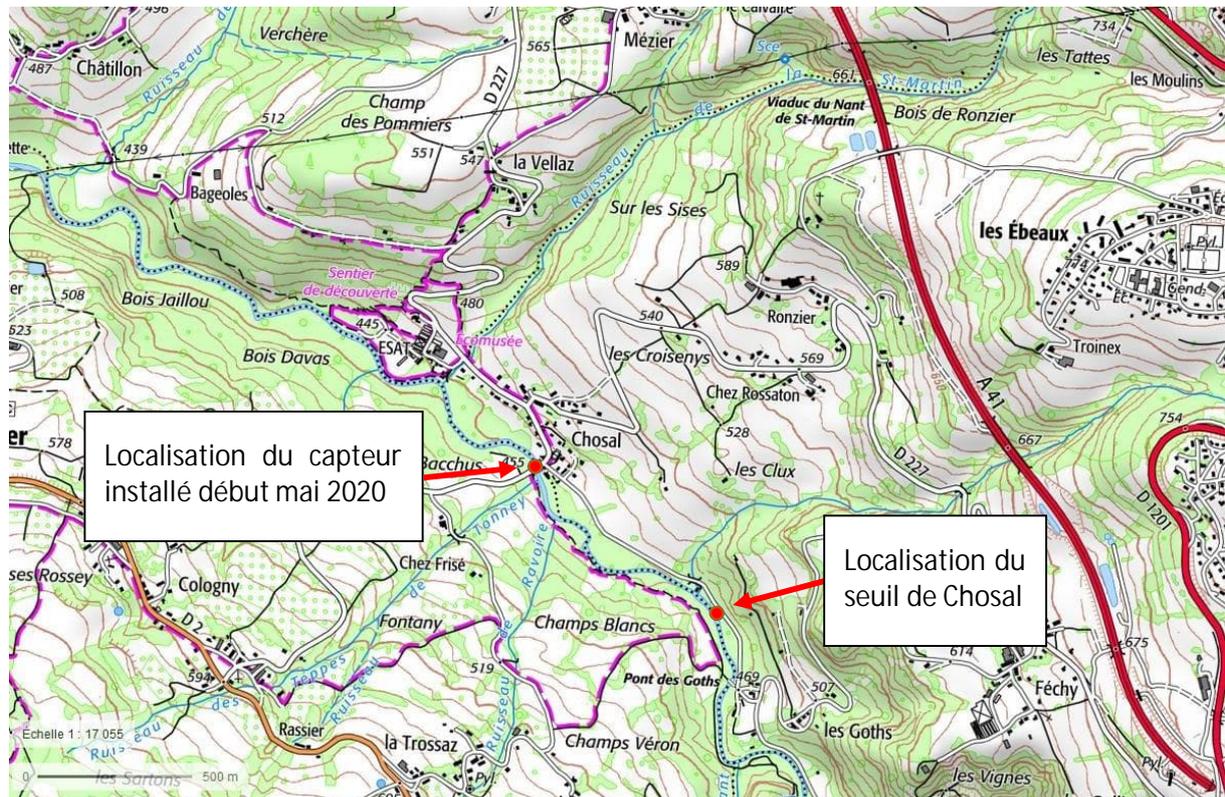


Figure 12 : Carte de localisation de la station de mesure (source : Géoportail IGN).

Ce capteur permet de mesurer le débit des Usse à un pas de temps de 15 min. Il fonctionne correctement et quasiment sans interruption depuis son installation ; il permet de connaître les conditions hydrologiques rencontrées par les poissons au moment du franchissement du seuil.

À noter que le capteur est tombé en panne le 10/02/2021 et que le bureau SAGE est immédiatement intervenu pour envoyer le capteur en SAV. Un système provisoire a été mis en place dès le 16/02/2020 pour pallier cet arrêt de fonctionnement. Au total, il manque une semaine complète d'enregistrement de débit, du 10 au 17/02/2021.

6. RÉSULTATS DE SUIVI DES DÉPLACEMENTS DE POISSONS AU DROIT DU SEUIL DE CHOSAL

Les résultats présentés dans les chapitres suivants concernent les enregistrements réalisés par le dispositif RFID depuis le premier jour de marquage (le 29/06/2020) jusqu'au dernier jour de suivi, le 31/10/2021.

Concernant les données hydrologiques, toutes les données disponibles ont été utilisées : du 29/06/2021 jusqu'au 07/10/2021, qui correspond à la date du dernier relevé des données du capteur au moment de la rédaction de ce document.

6.1 Suivi hydrologique des Ussez à la station de Chosal

Pour rappel, la station de suivi du débit a été installée début mai 2020 et le débit des Ussez a pu être enregistré tous les $\frac{1}{4}$ d'heures, en parallèle du suivi RFID.

L'hydrogramme enregistré par la sonde est présenté dans la Figure 13.

Le tableau suivant renseigne quelques statistiques descriptives de l'hydrogramme ainsi enregistré. Les calculs ont été réalisés sur les 466 jours de fonctionnement du capteur (chronique d'enregistrement arrêtée le 7 octobre 2021, au moment de la rédaction de ce document).

<i>Débit des Ussez enregistré à Chosal (données horaires)</i>	
Statistiques	Débit à Chosal
Nb jrs fonctionnement	459 sur 466 j. au total
Durée fonctionnement - Prop (%)	98%
Min (m ³ /s)	0.2
Max (m ³ /s)	31.0
Moyenne (m ³ /s)	2.2
ET (m ³ /s)	3.1
<u>QMNA5 (station de Musièges, m³/s)</u>	<u>0.34 [0.30;0.38]</u>

On peut réaliser les observations suivantes :

- Comme précisé au chapitre 5, la sonde a fonctionné de manière quasi optimale, près de 98% du temps. On déplore notamment une coupure de fonctionnement du système, courant le mois de février 2021, qui a engendré une absence d'enregistrement durant une semaine environ.
- Le débit minimal de 0.2 m³/s a été enregistré fin août 2020 et correspond à une valeur très basse pour les Ussez. À titre d'exemple, le QMNA5 calculé pour la station de Musièges sur les Ussez (station la plus proche de celle de Chosal) est estimé à 0.34 m³/s. On constate aussi que le débit enregistré à Chosal reste inférieur à ce seuil bas pendant quasiment 4 mois en 2020 (de début juillet à fin octobre) et 1.5 mois en 2021. En effet, en 2021, bien qu'on n'observe aucune pointe de crue majeure malgré une pluviométrie soutenue, les incursions du débit dans les valeurs basses (<QMNA5) sont plus rares et moins longues qu'en début de suivi.
- La valeur maximale enregistrée était de 31.7 m³/s, début novembre 2020 (non observée ici car les données lissées journalières sont présentées).

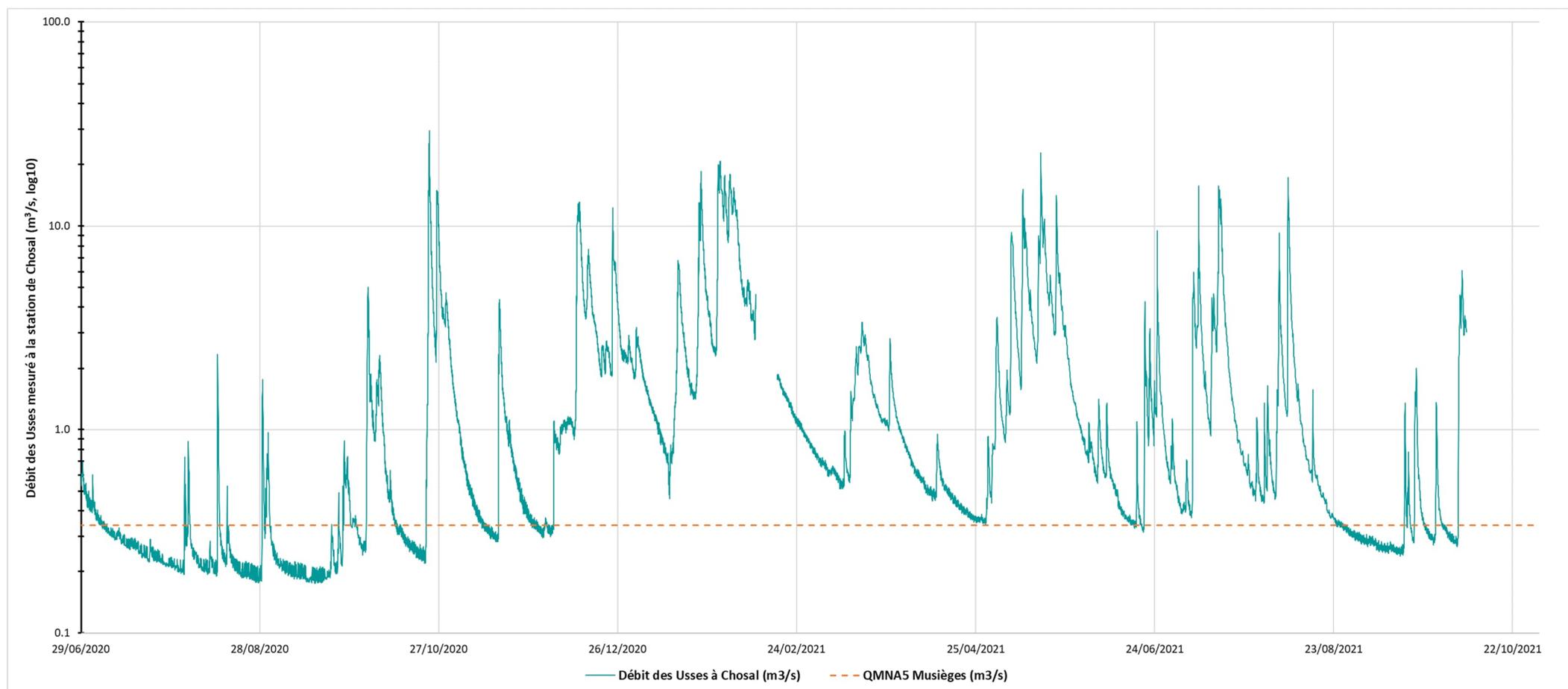


Figure 13 : Hydrogramme enregistré par la station des Ussees localisée au pont de Chosal. Le QMNA5 estimé pour la station de Musièges est aussi présenté.

6.2 Fonctionnement du dispositif RFID

Il est possible d'analyser certains paramètres de fonctionnement du dispositif RFID, de manière à vérifier la bonne continuité de suivi de ce système. Pour ce faire, nous suivons quotidiennement le nombre de détections des markertags (ou marque-test) installés au niveau de chaque antenne. Ces marques étant programmées pour émettre un signal toutes les 30 min, nous nous attendons à enregistrer, pour chaque antenne, 48 détections journalières. Si ce n'est pas le cas, nous pouvons considérer que le système n'était peut-être pas en état de suivre correctement les déplacements des poissons marqués. Il arrive que certaines détections ne soient pas enregistrées, notamment si le signal de la marque test entre en collision avec le signal d'un transpondeur implanté dans un poisson, alors situé dans le champ de détection des antennes. Ainsi, par sécurité, nous estimons que le système présente des aléas de fonctionnement lorsque nous enregistrons <40 détections quotidiennes du markertag.

Si l'on s'intéresse tout d'abord au fonctionnement des antennes aval (figure et tableau suivant), on constate les points suivants :

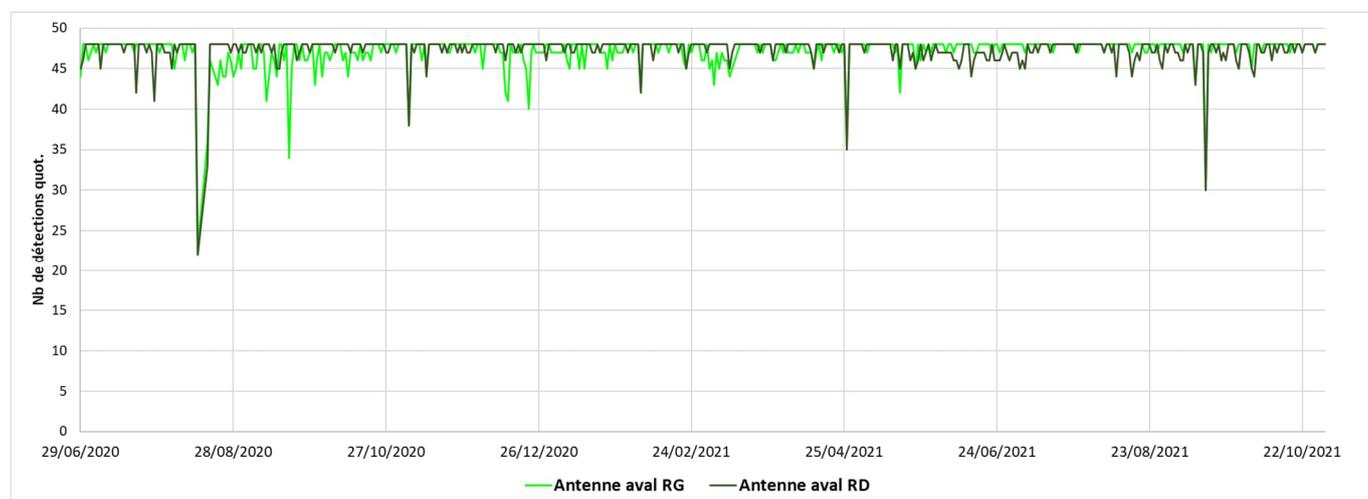


Figure 14 : Nombre quotidien de détections des markertags pour les antennes aval.

		Antennes aval	
		MarkerTags détectés quot.	
Statistiques	Antenne aval RG	Antenne aval RD	
Min	23	22	
Max	48	48	
Moyenne	47.2	47.3	
Nb jours fonctionnement	490	490	
Nb jours n quot>40 (prop.%)	480	soit 98%	482 soit 98%

- Les deux antennes ont fonctionné de manière optimale (>40 détections/j.) durant 98% du temps de fonctionnement (estimé à 490 j. entre le 29/06/2020 et le 31/10/2021).
- En moyenne, les deux antennes ont détecté >47 fois/j. les markertags, ce qui suppose un fonctionnement performant du dispositif.
- On constate pour les deux antennes une baisse de nombre de détections des markers tags à la mi-août 2020. Après diagnostic, il n'a pas été mis en évidence de défaillance du système RFID. Il semble que le fonctionnement ait été perturbé, en basses eaux, pas un phénomène annexe au dispositif. Le même constat peut être fait à la mi-août 2021 : aucune défaillance claire n'avait pu être détectée.

De la même manière, on peut réaliser certaines interprétations pour les antennes amont (figure et tableau suivant) :

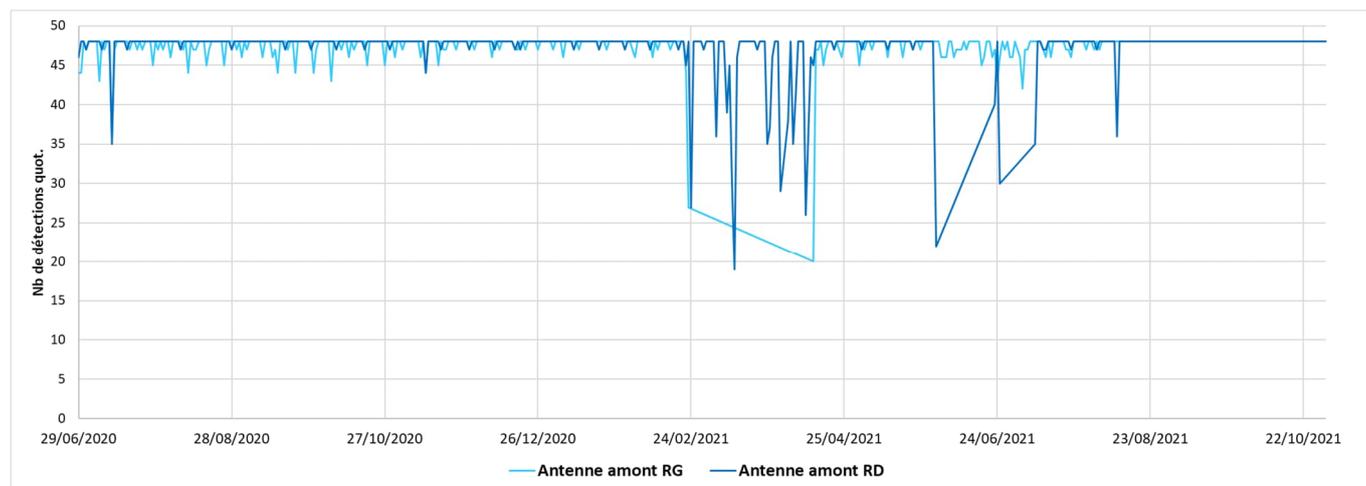


Figure 15 : Nombre quotidien de détections des markertags pour les antennes amont.

Antennes amont		
MarkerTags détectés quot.		
Statistiques	Antenne amont RD	Antenne amont RG
Min	19	20
Max	48	48
Moyenne	47.3	47.4
Nb jours fonctionnement	490	490
Nb jours n quot>40 (prop.%)	435 soit 89%	439 soit 90%

- Les deux antennes ont fonctionné de manière optimale (>40 détections/j.) durant >89% du temps de fonctionnement.
- En moyenne, les deux antennes ont détecté >47 fois/j. les markertags ce qui suppose un fonctionnement performant du dispositif.
- On constate en milieu de chronique (à partir du 23/02/2021) que les détections passent sous la limite des 40 détections/j. au niveau de l'antenne RG. Cela est dû à une dégradation du câble twinax qui relie l'antenne amont RG au coffret d'enregistrement.
- Pour l'antenne RD, on observe des oscillations de fonctionnement à partir de la même date. À ce jour, ce phénomène n'est pas clairement expliqué. Il est probable que le dysfonctionnement de l'antenne RG ait eu des répercussions sur l'antenne RD.
- Le câble twinax dégradé a été changé le 13/04/2021, réglant par la même les problèmes d'oscillations de l'antenne RD.
- Enfin, un MarkerTag a cessé de fonctionner au niveau de l'antenne RD à partir de la fin mai 2021. Ce MarkerTag a été changé le 12/08/2021 et un fonctionnement optimal a été observé jusqu'à la fin du suivi.

En conclusion, le dispositif RFID installé dans les Usse a correctement fonctionné de fin juin 2020 à la mi-février 2021, lors de la dégradation du câble twinax alimentant l'antenne amont rive gauche. A la suite de son remplacement, le système est devenu à nouveau pleinement opérationnel. Ainsi, hormis durant cette période de dysfonctionnement, le dispositif de suivi RFID a permis de suivre de manière sereine les déplacements des poissons marqués à proximité des antennes.

6.3 Résultats de suivi du franchissement du seuil de Chosal

6.3.1 Flux de détection des poissons

Les chroniques de détection des poissons au niveau des antennes aval et amont sont présentées dans les figures suivantes. Quelques statistiques descriptives de ces chroniques sont présentées dans les tableaux liés.

Concernant les antennes aval, les résultats suivants peuvent être présentés :

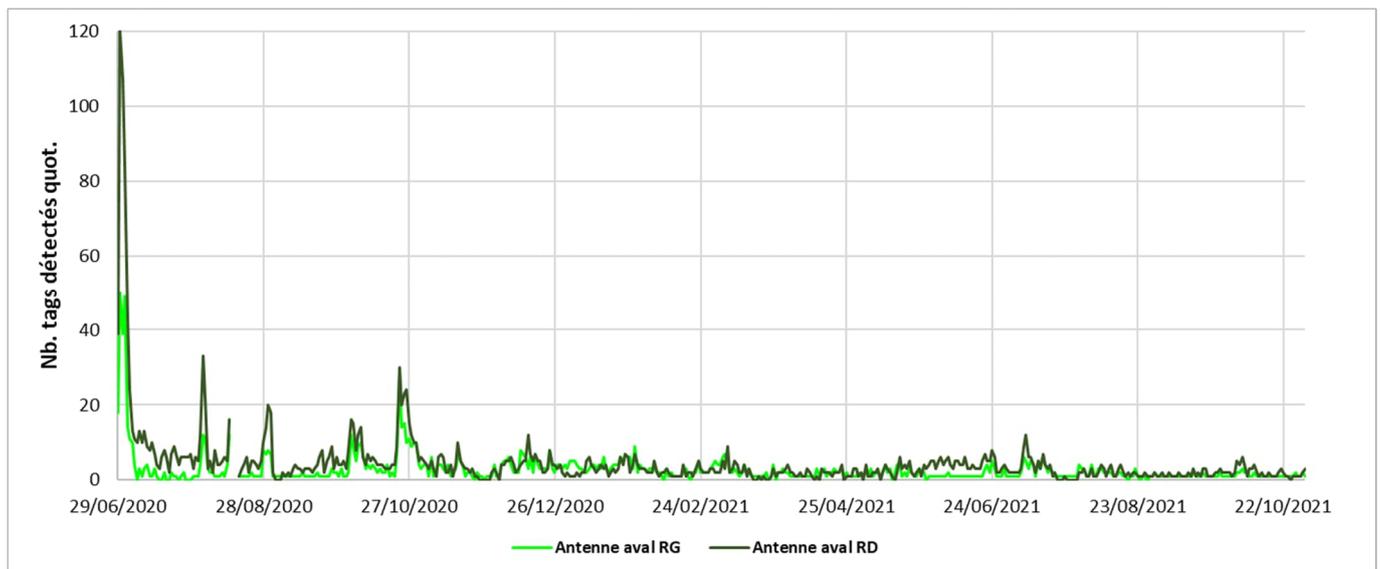


Figure 16 : Chroniques de détection des poissons sur les antennes aval du dispositif RFID.

Antennes aval
Nombre de tags détectés quot.

Statistiques	Antenne aval RG	Antenne aval RD
Min	0	0
Max	50	120
Moyenne	3	5
ET	4	9

- On constate que le maximum de poissons détectés quotidiennement est observé en début de chronique, soit dès la fin des premières journées de marquage. Un maximum de 120 poissons différents détectés par jour a été enregistré au tout début du mois de juillet.
- En moyenne, entre 3 et 5 poissons sont détectés chaque jour de suivi.
- Enfin, il semble que les poissons passent préférentiellement au niveau de l'antenne située en rive droite, même si cette observation n'est pas toujours évidente.

Concernant les antennes amont, les résultats suivants peuvent être présentés :

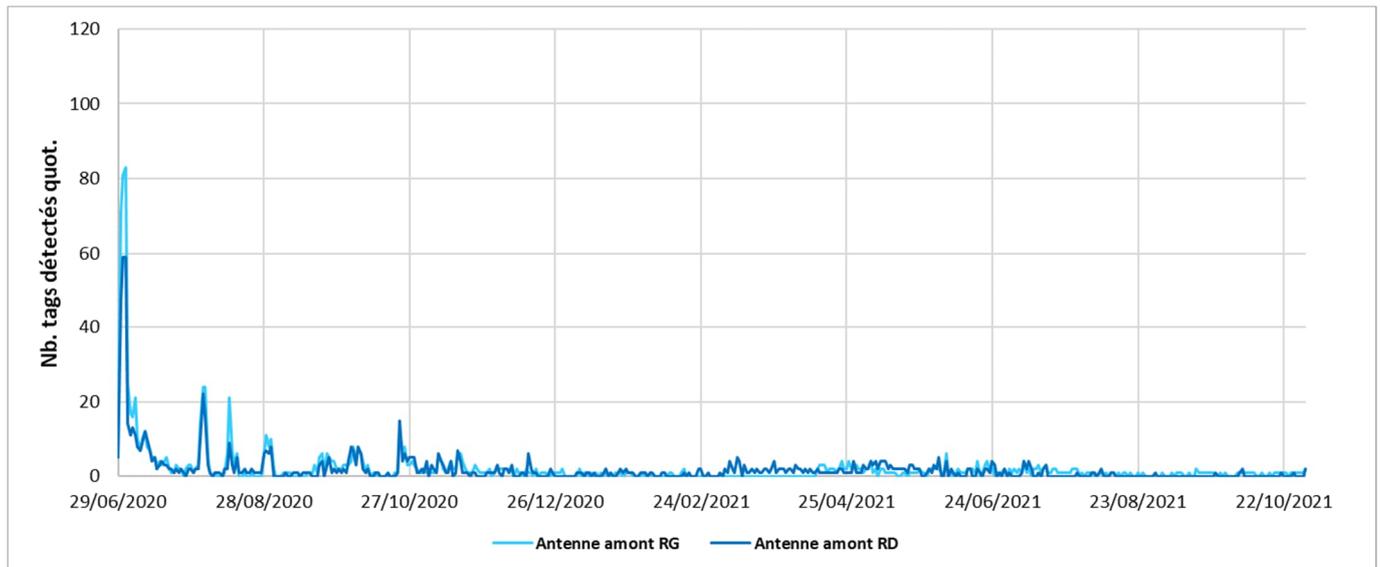


Figure 17 : Chroniques de détection des poissons sur les antennes amont du dispositif RFID.

Antennes amont

Nombre de tags détectés quot.

Statistiques	Antenne amont RG	Antenne amont RD
Min	0	0
Max	83	59
Moyenne	2	2
ET	7	5

- On retrouve à peu près les mêmes résultats que pour les antennes aval, avec le maximum de poissons détectés quotidiennement observé en début de chronique, soit dès la fin des premières journées de marquage. Un maximum de 83 poissons différents détectés par jour a été enregistré au tout début du mois de juillet.
- Cependant, on constate que le nombre de poissons détectés quotidiennement est sensiblement plus faible que pour les antennes aval, ce qui laisse supposer que de nombreux poissons n'ont pas atteint les antennes amont.

Si l'on s'intéresse au nombre de nouveaux poissons détectés au cours du suivi (figures suivantes et tableaux liés), on confirme que la grande majorité des poissons a franchi le seuil dès les premiers jours post-marquage et qu'une faible quantité de poisson a franchi le seuil durant la suite du suivi.

On peut discerner quelques pics de détection de nouveaux poissons à la fin octobre 2020 qui pourraient être expliqués par des déplacements liés à la reproduction, mais cette observation doit être considérée avec précaution étant donné la faible quantité de nouveaux poissons détectés.

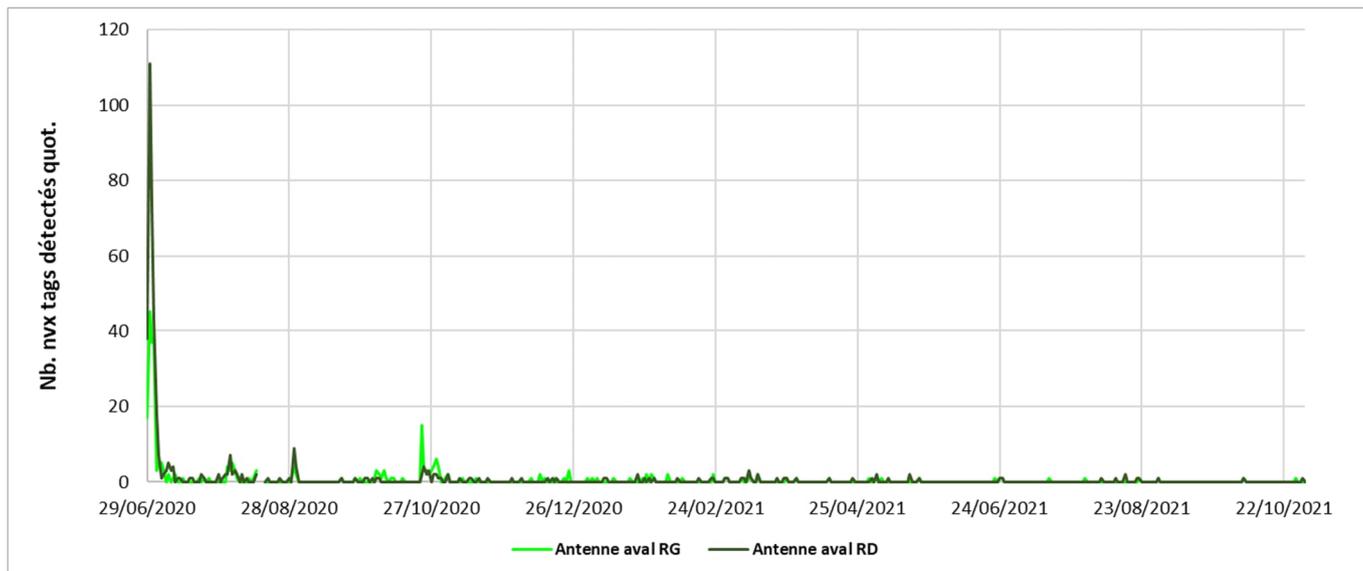


Figure 18 : Nombre de nouveaux poissons détectés quotidiennement par les antennes aval.

Antennes aval

Nombre de nouveaux tags détectés quot.

Statistiques	Antenne aval RG	Antenne aval RD
Min	0	0
Max	45	111
Moyenne	1	1
ET	3	7

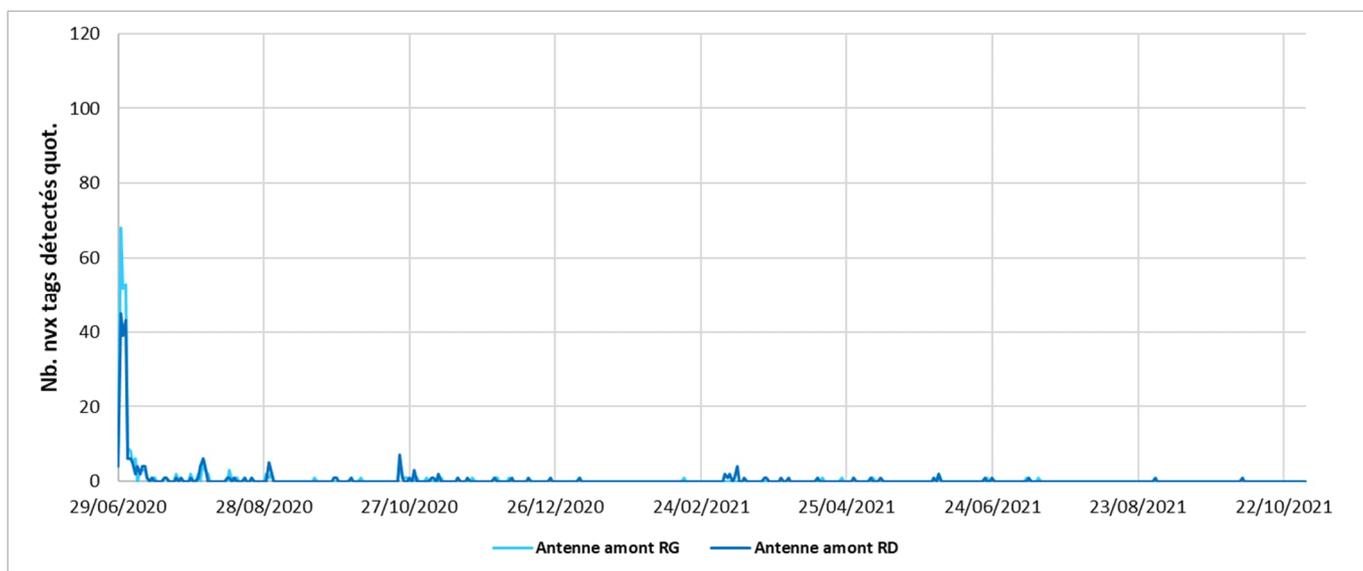


Figure 19 : Nombre de nouveaux poissons détectés quotidiennement par les antennes amont.

Antennes amont

Nombre de nouveaux tags détectés quot.

Statistiques	Antenne amont RG	Antenne amont RD
Min	0	0
Max	68	45
Moyenne	1	1
ET	5	3

6.3.2 Résultats spécifiques

Si l'on s'intéresse aux résultats traduits par espèce suivie (chabot et truite), on peut affirmer les points suivants :

- Au total, concernant la chronique de suivi du 29/06/2020 au 31/10/2021, 467 poissons différents ont été détectés par le dispositif, dont 123 chabots et 344 truites. Cela représente un taux de détection des poissons marqués de 72% (467/646).
- Parmi ces 467 poissons détectés, 318 (soit 68%, dont 32 chabots et 286 truites) ont été détectés aux antennes amont, ce qui laisse suggérer que ces poissons ont franchi le seuil.
- 149 poissons ont été détectés exclusivement par les antennes aval (91 chabots et 58 truites), ce qui suggère que ces poissons n'ont pas franchi le seuil.
- Au total, 7 poissons (2 chabots et 5 truites) ont été détectés uniquement en amont et jamais en aval. Tous les poissons ayant été relâchés en aval du seuil, cela implique que ces 7 poissons n'ont pas été détectés par le dispositif RFID installé en aval lors de leur montaison.
- L'efficacité de détection de l'antenne aval a pu être calculée, elle est estimée à 97.8%. Cette efficacité n'est pas calculable pour l'antenne amont.

Enfin, quelques statistiques supplémentaires sont fournies dans les tableaux suivants :

Espèces	Antenne ayant détectée		Total
	Antennes amont	Antennes aval	
Cha	32	121	153
Trf	286	339	625
Total	318	460	778

On constate que la majorité des poissons a été détectée par les antennes aval, ce qui est cohérent avec les résultats apportés dans le chapitre 6.3.1. La majorité des poissons détectés était des truites qui représentent 81% des poissons détectés.

Espèces	Origine poissons détectés aux 2 antennes		Total
	Amont seuil	Aval seuil	
Cha	10	18	28
Trf	97	186	283
Total	107	204	311

Si l'on s'intéresse à l'origine des poissons détectés à la fois aux antennes aval et amont (poissons ayant pu franchir le seuil), on remarque que la majorité des poissons provenait de l'aval du seuil (66% de l'effectif détecté). Ce résultat est particulièrement intéressant, car il suppose que les franchissements supposés ne sont pas exclusivement réalisés par des poissons désireux de retourner sur leurs habitats de capture (poissons transloqués), mais que des poissons issus de l'aval du seuil ont souhaité franchir l'obstacle, sans comportement de montaison forcé. À noter aussi que 51% des poissons transloqués ont été détectés par l'antenne amont (14% des chabots et 69% des truites transloquées), ce qui est un résultat conforme aux standards observés sur d'autres études. On remarque ici tout le comportement sédentaire du chabot qui, malgré un effort certain de translocation, n'initie que très peu un comportement de retour sur son habitat d'origine.

6.3.3 Temps de franchissement du seuil

En utilisant les données de détection des individus détectés aux antennes aval et amont, il est possible de calculer un temps de franchissement individuel et spécifique qui est défini par la différence de temps entre la dernière détection faite par une des antennes aval et la première détection suivante faite par une des deux antennes amont. À noter que pour chaque individu, une valeur de temps de franchissement a été retenue, la première mesurée. Les individus ayant réalisé des aller-retour entre les deux antennes sont donc comptabilisés une seule fois.

Les premières statistiques suivantes peuvent être présentées :

Espèces	n temps consi.	Temps de franchissement du seuil (j.)						
		Min.	Max.	Moyenne	ET	Médiane	Q25	Q75
Cha	27	0.00	296.50	45.95	78.43	4.90	0.03	56.39
Trf	280	0.01	306.06	5.93	33.10	0.06	0.03	0.19

Au total, 307 temps de franchissement ont été utilisés pour réaliser ces statistiques. On remarque une grande variabilité de temps, que ce soit au sein de chaque espèce (écart-type variant de 33.1 à 78.4 j.), mais aussi entre les deux espèces. Les truites ont franchi plus rapidement le seuil que les chabots, en moyenne en <6j. pour les truites, contre ~46j. pour les chabots. À noter cependant que les moyennes sont « faussées » à cause de certains individus présentant des temps très importants (d'environ 300j. pour les deux espèces). Ces derniers correspondent à des poissons résidents des antennes aval qui ont déclenché très tardivement un comportement de montaison. Dans ce cas, la médiane semble plus appropriée pour décrire la durée de franchissement : elle est infra journalière pour les truites et de <5j. pour les chabots.

Si l'on s'intéresse au temps de franchissement des poissons selon leur origine (station de capture, tableau suivant), on remarque que les individus issus de l'amont du seuil ont franchi plus rapidement le seuil ; les temps de franchissement étant en moyenne divisé par deux selon l'origine des individus. Ce résultat semble démontrer un comportement de montaison exacerbé pour ces individus qui souhaitent retourner plus rapidement dans leurs habitats d'origine.

Espèces	Origine	Temps de franchissement du seuil (j.)				
		n temps consi.	Min.	Max.	Moyenne	ET
Cha	Amont du seuil	8	0.02	114.49	26.26	40.11
	Aval du seuil	19	0.00	296.50	54.24	89.52
Trf	Amont du seuil	97	0.01	119.36	2.94	16.58
	Aval du seuil	183	0.01	306.06	7.51	39.09

Enfin, nous pouvons nous interroger sur la relation qui peut logiquement exister entre la taille des individus et les temps de franchissement estimés. Comme cela est montré dans la Figure 20, on retrouve une différence notable entre les deux espèces, notamment des temps de franchissement bien moins importants pour les truites que pour les chabots. Aussi, même si cela est plutôt tenu, on remarque que les chabots de plus petite taille (Lt<90 mm) présentent des temps de franchissement plus importants (>50j.). Cependant, ce résultat est à considérer avec précaution étant donné le faible effectif de temps disponibles pour cette observation. À l'inverse, aucune relation claire ne semble exister pour les truites, bien qu'aucun temps important (>5j.) ne soit observé pour les individus >250 mm.

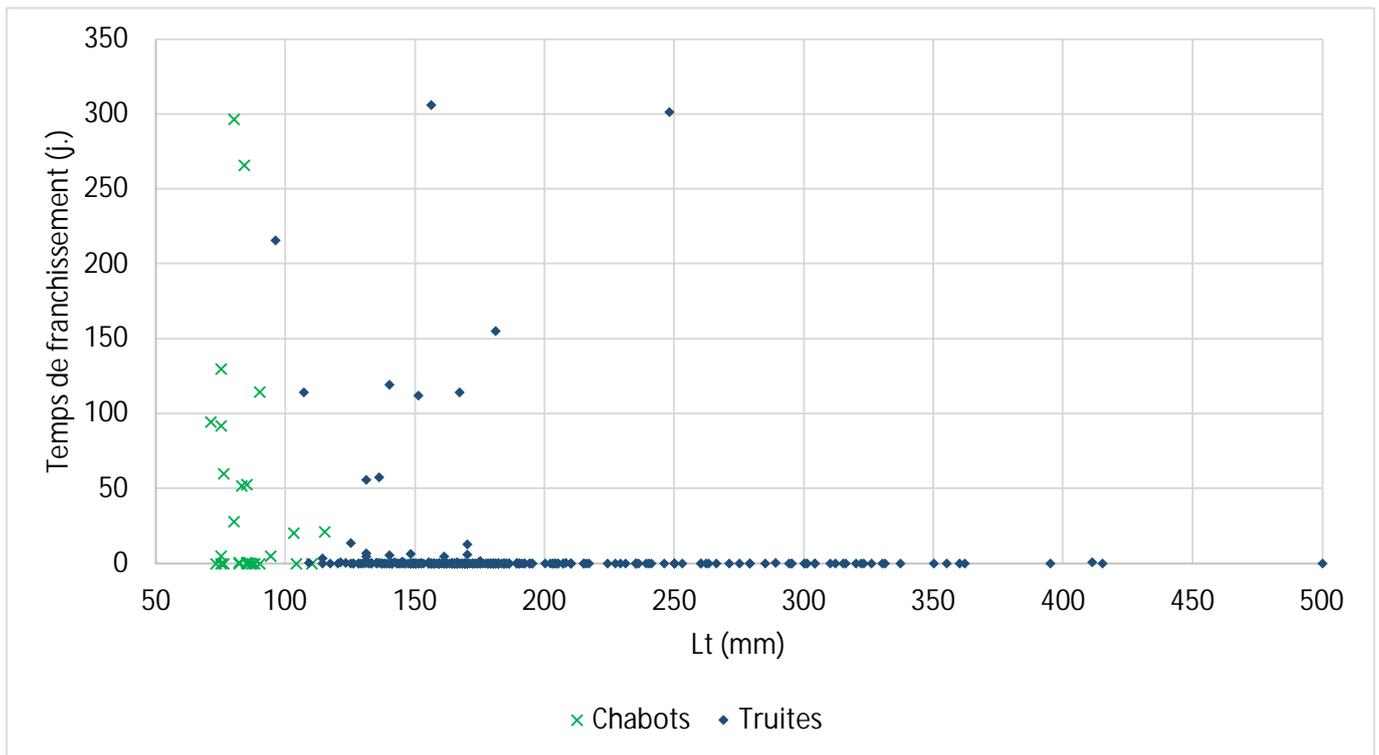


Figure 20 : Relation entre la taille des individus (Lt en mm) et les temps de franchissement individuels (en j.), selon les espèces considérées.

6.3.4 Caractéristiques du franchissement supposé

6.3.4.1 CONDITIONS HYDROLOGIQUES

Nous avons pu déterminer les valeurs de débit enregistrées au moment de la première détection des poissons par les antennes amont. Nous pouvons donc connaître dans quelles conditions hydrologiques les poissons ont franchi l'obstacle et donc savoir s'il existe des conditions hydrologiques favorables au franchissement spécifique.

La Figure 21 présente la distribution spécifique des débits enregistrés au moment de la première détection des poissons par une des deux antennes amont.

On distingue aussi une différence spécifique quant aux conditions hydrologiques de franchissement favorisées par les deux espèces. Il semble que les chabots remontent le seuil à des valeurs de débit plus élevées que pour les truites. Il est probable que cette espèce recherche des veines d'eau suffisamment profondes pour se déplacer vers l'amont, tout en restant au plus proche du lit (comportement benthique bien connu pour cette espèce) ; conditions qui sont favorisées à des débits plus élevés. À l'inverse, les truites, meilleures nageuses, semblent pouvoir remonter le seuil à des débits faibles, même si la lame d'eau disponible n'est pas optimale. Aucune mesure de hauteurs d'eau sur le seuil n'ayant été réalisée en fonction du débit, il est difficile d'apporter plus de précisions sur ce résultat spécifique contrasté.

6.3.4.2 TAILLES DES POISSONS AYANT FRANCHI LE SEUIL

Si l'on s'intéresse à la taille des poissons ayant été détectés par les antennes amont (donc ayant potentiellement franchi le seuil), on peut présenter les résultats suivants :

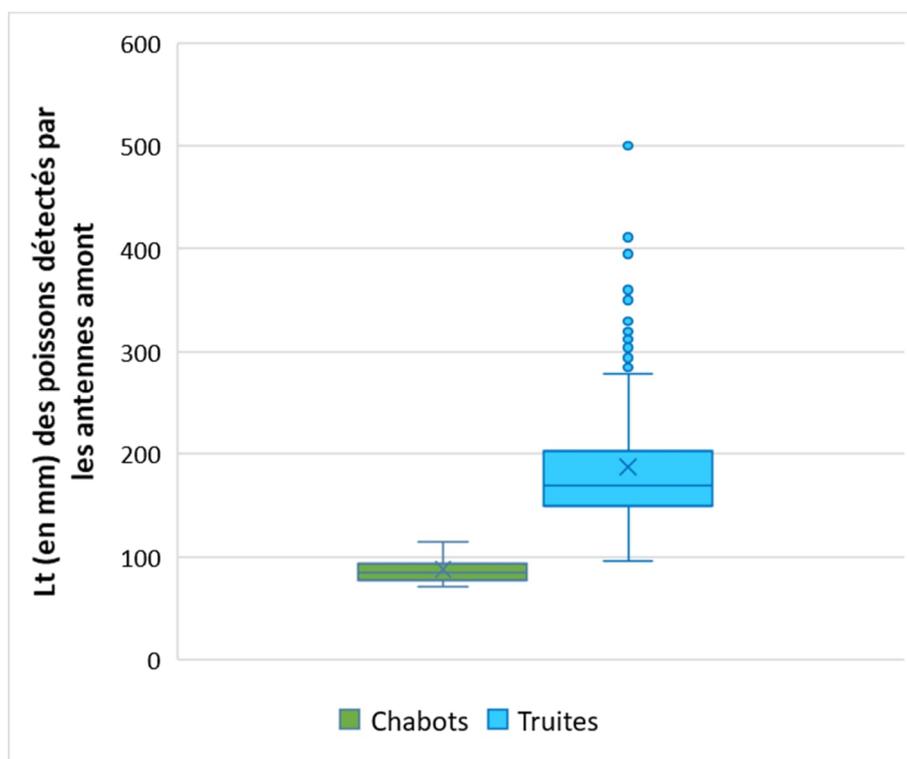


Figure 22 : Distribution des tailles totales (Lt en mm) des poissons ayant été détectés par l'antenne amont.

		Espèce	
		Chabots	Truites
n individus concernés		32	286
Lt (mm)	Lt min	71	96
	Lt max	115	500
	Lt moyenne	88	187
	ET	13	61
	Lt médian	85	169

On ne constate aucune taille préférentielle dans les distributions présentées dans la Figure 22. En effet, on retrouve peu ou prou les mêmes distributions de tailles que celles présentées dans les figures du chapitre 4.4. Toutes les classes de tailles des poissons marquées sont représentées dans les deux distributions de la Figure 22, ce qui suggère que le seuil n'exerce aucun effet sur les différentes classes d'âge de poissons, pour les deux espèces étudiées.

7. CONCLUSIONS SUR LA FRANCHISSABILITÉ DU SEUIL DE CHOSAL

Un dispositif RFID de suivi du comportement de deux espèces piscicoles a été installé dans les Usse, au droit du seuil de Chosal, courants le mois de mai 2020 et a permis de récolter, de manière quasi optimale, les informations de déplacement des truites et des chabots marqués fin juin 2020. En parallèle de ce dispositif, un capteur a été installé en aval de la zone d'étude afin de récolter les valeurs de débit des Usse.

Après 490j. de fonctionnement (1 an et 4 mois environ), ces deux systèmes de télémétrie apportent des résultats décisifs pour l'évaluation de la franchissabilité du seuil de Chosal, dont les travaux de suppression ont été réalisés en 2017.

Sur les 646 poissons marqués, 467 poissons ont été détectés par le dispositif RFID (123 chabots et 344 truites), soit un taux de redétection de près de 72%. Cette valeur est très importante et rarement enregistrée dans ce type de suivi.

Sur ces 467 poissons détectés, 318 poissons ont été détectés par les antennes amont (dont 32 chabots ou 26% des chabots détectés et 286 truites ou 83% des truites détectées), soit près de 68%, ce qui tend à démontrer que le seuil est franchissable par les deux espèces.

Au-delà de ces premiers chiffres de franchissement, nous n'avons pas observé de conditions de débit préférentielles favorisant le franchissement du seuil, même si la majorité des détections par les antennes amont a été réalisée en dessous du débit moyen de la rivière. Cependant, nous avons pu détecter des poissons aux antennes amont à des débits très variés, quelle que soit l'espèce concernée. Aucune détection n'a cependant été faite à des débits élevés, >15-16 m³/s (pour un débit maximal enregistré de 31 m³/s).

Le constat est le même en s'intéressant à la taille des individus ayant été détectés en amont du seuil. Toutes les classes de tailles marquées, pour les deux espèces, ont été détectées, laissant supposer que le seuil ne sélectionne pas de classes d'âge.

Enfin, point important pour l'interprétation, la majorité des détections réalisées par les antennes amont concerne des poissons capturés initialement en aval du seuil. Ce qui signifie que le seuil est franchissable par les poissons même lorsque ceux-ci ne sont pas poussés par un comportement forcé de montaison, que l'on observe généralement chez les individus transloqués.

En conclusion, en considérant les différents résultats présentés dans ce document, il semble que la franchissabilité du seuil de Chosal soit manifeste et qu'hormis lors de rares situations hydrologiques importantes (débit >15 m³/s), ce seuil ne semble plus être un obstacle à la montaison de ces deux espèces.

Document réalisé le 19.04.2022 par J. Bergé



8. BIBLIOGRAPHIE MENTIONNÉE

- Acolas, Marie-Laure, Jean-Marc Roussel, Jean Marc Lebel, et Jean-Luc Baglinière. 2007. « Laboratory experiment on survival, growth and tag retention following PIT injection into the body cavity of juvenile brown trout (*Salmo trutta*) ». *Fisheries Research* 86 (2-3): 280-84.
- Baras, E, L Westerloppe, Charles Mélard, J-C Philippart, et V Bénech. 1999. « Evaluation of implantation procedures for PIT-tagging juvenile Nile tilapia ». *North American Journal of Aquaculture* 61 (3): 246-51.
- Brown, R. S., S. J. Cooke, W. G. Anderson, et R. S. McKinley. 1999. « Evidence to challenge the “2% rule” for biotelemetry ». *North American Journal of Fisheries Management* 19 (3): 867-71.
- Jepsen, N., A. Koed, E. B. Thorstad, et E. Baras. 2002. « Surgical implantation of telemetry transmitters in fish: How much have we learned? » *Hydrobiologia* 483: 239-48.
- Keene, J. L., D. L. G. Noakes, R. D. Moccia, et C. G. Soto. 1998. « The efficacy of clove oil as an anaesthetic for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) ». *Aquaculture Research* 29 (2): 89-101.
- Richard, Alexandre, Jane O'Rourke, Arnaud Caudron, et Franck Cattaneo. 2013. « Effects of passive integrated transponder tagging methods on survival, tag retention and growth of age-0 brown trout ». *Fisheries Research* 145: 37-42.
- Vatland, Shane, et Arnaud Caudron. 2015. « Movement and early survival of age-0 brown trout ». *Freshwater biology* 60 (7): 1252-62.