



SCIMABIO *Interface*

science-management interface for biodiversity conservation

SCIMABIO Interface

Les Cyclades B

5, rue des Quatre Vents

74200 Thonon-les-Bains



www.scimabio-interface-fr

Évaluation de la franchissabilité du seuil de Vinon sur le Bas Verdon (83)

Suivi télémétrique des truites communes



FÉDÉRATION DÉPARTEMENTALE

Document final



Janvier 2023



SOMMAIRE

1. Contexte général du projet et objectifs	1
1.1 Description de la zone d'étude et fonctionnement du Bas Verdon	1
1.1.1 Hydrographie	1
1.1.2 Hydrologie	1
1.1.3 Aménagements	2
1.2 Objectifs de l'étude	3
2. Matériel et méthodes.....	4
2.1 Zone d'étude et période de suivi.....	4
2.2 Principe de la technologie utilisée : la radiotélémétrie	4
2.3 Opérations de captures et de marquage des truites de rivières.....	5
2.4 Dispositifs de stations fixes sur la zone d'étude.....	8
2.5 Campagnes de prospections mobiles.....	9
2.6 Conditions environnementales et efficacité du dispositif mis en place.....	12
2.6.1 Hydrogramme à la station de Vinon-sur-Verdon	12
2.6.2 Thermogrammes enregistrés	12
2.6.3 Fonctionnement des stations fixes.....	15
3. Résultats du suivi télémétrique	16
3.1 Validation des données récoltées	16
3.2 Chronique de détections quotidiennes et effectif ayant franchi	17
3.3 Caractéristiques des franchissements du seuil	19
3.3.1 Premiers constats et caractérisation des franchissements	19
3.3.1.1 Bilan global des franchissements	19
3.3.1.2 Effet des transferts	20
3.3.1.3 Effet de la taille.....	20
3.3.1.4 Caractérisation fine des franchissements	22
3.3.2 Influence possible du débit	23
4. Évaluation de la franchissabilité du seuil de Vinon.....	24

5. Limites de l'étude	25
5.1 Contraintes d'analyses liées au design télémétrique.....	25
5.2 Absence d'évaluation de l'effet de la thermie de l'eau	26
6. Conclusion	27
7. Annexes	28
7.1 Autorisations de marquage	28
7.2 Spécifications des émetteurs utilisés	30

Référence à citer :

ABDALLAH Y., BERGE J., PREYNAT J., 2023. *Évaluation de la franchissabilité du seuil de Vinon sur le Bas Verdon (83). Suivi télémétrique des truites communes.* FDAPPMA 83 et SCIMABIO Interface. 27 pages + annexes.

Table des Figures

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude et des secteurs attenants.	1
Figure 2 : Seuils en amont immédiat de Vinon-sur-Verdon (à gauche) et seuil « du boudin de Gréoux » (à droite).....	2
Figure 3 : Seuils supprimés ou en cours de suppression sur des affluents du Verdon.	2
Figure 4 : Quelques illustrations du seuil du Vinon-sur-Verdon.	3
Figure 5 : Implantation d'émetteurs actifs par voie intragastrique (gauche) et chirurgicale (droite). ...	4
Figure 6 : Exemples de dispositifs de suivis fixes et mobiles par télémetrie radio.	5
Figure 7 : Illustration photographique des étapes de marquage.....	6
Figure 8 : Exemple de cicatrisation d'une truite marquée, 1 an après l'implantation de l'émetteur.....	6
Figure 9 : Distribution des tailles individuelles – truites marquées en 2020.	7
Figure 10 : Illustrations des étapes de capture/marquage.	8
Figure 11 : Localisation des trois récepteurs installés et illustrations de leur zone de détection.	9
Figure 12 : Une station aérienne implantée dans le milieu naturel. Les dispositifs électroniques ont été enterrés par discrétion. L'antenne était alors peu visible après l'installation.	10
Figure 13 : Présentation du principe de bi angulation utilisé pour estimer la localisation d'un émetteur.	10
Figure 14 : Linéaire maximal pratiqué lors des suivis mobiles et localisations des stations fixes (en rouge) et des sites de suivi mobile (en bleu).....	11
Figure 15 : Hydrogramme enregistré à la station de Vinon-sur-Verdon, entre le 1 ^{er} octobre 2020 et le 31 décembre 2021.....	12
Figure 16 : Thermogrammes enregistrées sur deux sondes du Bas Verdon (amont et aval restitution du canal EDF) et différence thermique entre les valeurs horaires enregistrées.....	14
Figure 17 : Chronique de détections quotidiennes, tous types de suivi et toutes stations fixes confondus.....	18
Figure 18 : Chronique de détections quotidiennes de nouveaux poissons au cours du suivi. En rouge, tous types de suivi et toutes stations fixes confondus. En bleu, uniquement les poissons détectés en amont du seuil.....	18
Figure 19 : Bilan global du nombre de truites marquées ayant réussi à franchir au moins 1 fois le seuil durant les 15 mois de suivi.....	19
Figure 20 : Distribution des tailles (Lt en mm) selon le statut de franchissement.....	20

Table des Tableaux

Tableau 1 : Dimension de l'émetteur type F1140L utilisé.....	7
Tableau 2 : Statistiques descriptives de la taille (Lt en mm) des truites marquées en 2020.	7
Tableau 3 : Détails des sites prospectés lors des différents suivis mobiles. Les distances au seuil sont aussi présentées.....	11
Tableau 4 : Statistiques descriptives des thermogrammes enregistrés par les deux sondes du Bas Verdon.	15
Tableau 5 : Exemple de détections valides (haut) et non-valides (bas) à partir du critère de sélection « N_Matches » / « N-Pulses »	16
Tableau 6 : Statut de franchissement des truites marquées. (Lt = longueur totale, « nb franch. » = nombre individuel de franchissements).....	21
Tableau 7 : Description des 23 franchissements retenus pour la suite des analyses.	22



1. CONTEXTE GÉNÉRAL DU PROJET ET OBJECTIFS

1.1 Description de la zone d'étude et fonctionnement du Bas Verdon

1.1.1 Hydrographie

Le Bas Verdon constitue la partie la plus aval du bassin versant, confiné entre le barrage d'Esparron à l'amont et la confluence avec la Durance à l'aval. Ce tronçon de rivière représente un linéaire d'**environ 17 km** et reçoit 2 principaux affluents, **le Colostre** en rive droite et **le Malaurie** en rive gauche. Dans sa partie la plus aval en rive droite, le Verdon reçoit également **la Louane**, petit affluent issu d'une résurgence de la nappe du Verdon.

1.1.2 Hydrologie

Le Bas Verdon dispose d'un **fonctionnement hydrologique très artificialisé** du fait des grands aménagements hydroélectriques. Sur le tronçon d'étude, on distinguera **deux secteurs** disposant d'un fonctionnement très contrasté (Figure 1). Le premier secteur s'étale de la limite amont de la zone d'étude jusqu'à la **restitution du canal usinier EDF**, à environ 6 km en amont de la confluence avec la Durance. Le second secteur s'étale de cette restitution **jusqu'à la Durance**.

Le secteur 1 est, la très grande majorité du temps, alimenté par le **débit réservé d'Esparron (2.3 m³/s)**, auquel s'ajoute progressivement les débits du Colostre, du ruisseau de Notre Dame et de la Malaurie (respectivement quelques dizaines de l/s en moyenne). Lors d'importants épisodes pluviométriques et/ou lors de manœuvres spécifiques sur la chaîne hydroélectrique EDF, **des déversés** ont lieu au barrage d'Esparron et peuvent provoquer des **crues significatives** (crue centennale référence en novembre 1994 – QJM max = 1 050 m³/s au droit du pont de Vinon).

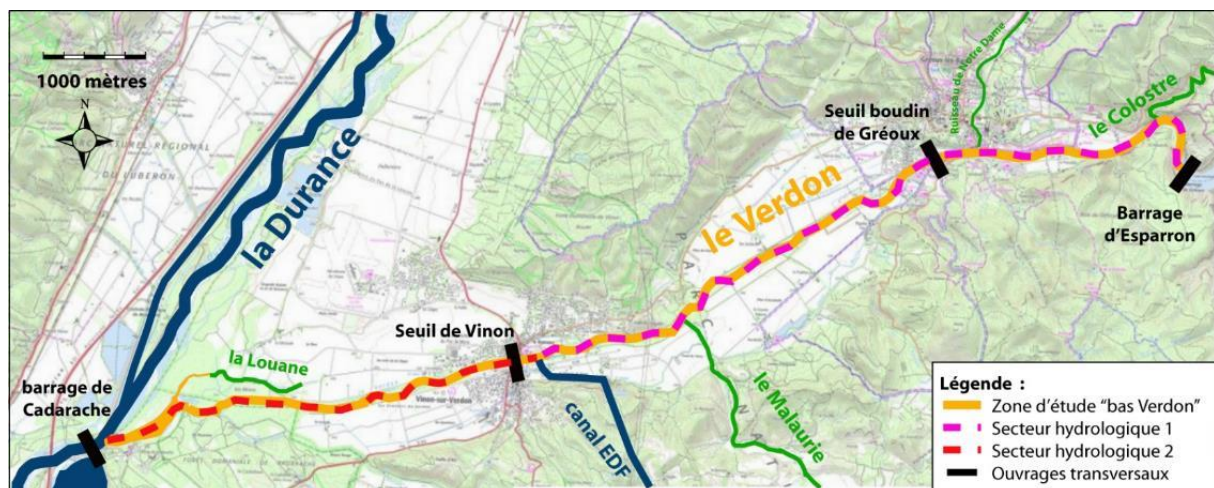


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude et des secteurs attenants.

Le fonctionnement hydrologique du secteur 2 se distingue fortement par l'alimentation de la **restitution du canal usinier EDF calibré à 40 m³/s**. Ce secteur a donc un fonctionnement caractérisé par 2 débits très contrastés (hors déversé Esparron) :

- Hors restitution canal EDF = débit réservé d'Esparron + affluents soit environ 2.5 m³/s ;
- Avec restitution canal EDF = environ 42.5 m³/s.

1.1.3 Aménagements

Le Bas Verdon est clairement caractérisé par un niveau d'artificialisation très marqué, par son fonctionnement hydrologique certes, mais également par l'édification au fil du temps d'**ouvrages longitudinaux** (épis, digues) et d'**ouvrages transversaux**.

Dans le cadre de la politique nationale de restauration de la continuité écologique, le Bas Verdon a été **classé en Liste 2** entre le barrage d'Esparron et la restitution du canal EDF.

Plusieurs ouvrages ont d'ores et déjà été traités avec notamment la suppression de deux seuils en enrochements en amont immédiat de Vinon-sur-Verdon (photo ci-dessous à gauche). Sur le secteur en Liste 2, il ne reste ainsi qu'un ouvrage transversal à traiter, le seuil dit « du boudin de Gréoux » localisé à environ 12 km de la confluence à la Durance (photo ci-dessous à droite). Cet ouvrage, propriété d'EDF, devrait être supprimé à termes, vraisemblablement à l'horizon 2024-2025.



Figure 2 : Seuils en amont immédiat de Vinon-sur-Verdon (à gauche) et seuil « du boudin de Gréoux » (à droite).

Une politique similaire est conduite **sur les affluents** le Colostre (portée par le PNR du Verdon ; photo confluence Verdon-Colostre ci-dessous à gauche) et sur le Malaurie (portée par la FDPPMA 83 ; photo d'ouvrage effacé en 2018 ci-dessous à droite) où de nombreuses **opérations d'effacement** ont été menées.



Figure 3 : Seuils supprimés ou en cours de suppression sur des affluents du Verdon.

A un horizon court terme (2 à 3 ans), la continuité écologique devrait ainsi être complètement rétablie sur le Bas Verdon et ses affluents, à l'exception d'un seul ouvrage situé à l'aval immédiat du linéaire classé en Liste 2, le **seuil de Vinon-sur-Verdon**. Cet ouvrage est actuellement équipé d'une **rivière artificielle à canoës** en rive droite mais pour autant, sans véritable explication technique encore identifiée à ce jour, l'administration compétente ne reconnaît pas cet ouvrage comme ayant une origine anthropique et n'est, par conséquent, pas identifié comme posant des problèmes de circulation des poissons.

Le Verdon, au droit du seuil de Vinon, a connu un **important enfoncement de son lit** au cours des 20 dernières années du fait (1) de la présence de la chaîne hydroélectrique qui bloque le transit sédimentaire et (2) de la crue très morphogène de novembre 1994.

Du fait de cet enfoncement, la **franchissabilité du seuil** de Vinon par la truite de rivière **pose aujourd'hui question**, y compris par la rivière à canoës qui possède des hauteurs de chute entre bassins et des vitesses débitantes au droit des chutes **potentiellement très sélectives** (photos de l'ouvrage ci-dessous).



Figure 4 : Quelques illustrations du seuil du Vinon-sur-Verdon.

1.2 Objectifs de l'étude

L'objectif de l'étude est d'évaluer l'état de la continuité piscicole pour l'espèce cible, la truite de rivière, **sur l'ensemble du Bas Verdon** et de ses principaux affluents (approche couplant la présente étude télémétrique avec une étude des **caractéristiques génétiques des populations** en place).

Dans le détail, et de façon prioritaire, il a été demandé par les collectivités piscicoles (FDAAPPMA et AAPPMA de Vinon-sur-Verdon et de Gréoux-les-Bains) de pouvoir **estimer la franchissabilité actuelle du seuil de Vinon-sur-Verdon** afin de fournir un **outil d'aide à la décision pour l'évolution à moyen/long terme du complexe rivière à canoës/radier du pont**

La présente étude présente les résultats et conclusions du suivi télémétrique qui a été mis en place courant 2019 et qui s'est terminé fin 2021. Celui-ci a été élaboré de manière à estimer la franchissabilité globale du seuil de Vinon (pour différentes classes de taille et différentes conditions environnementales), et **potentiellement les voies de passages préférentielles** en fonction des résultats obtenus.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 Zone d'étude et période de suivi

Pour répondre avec robustesse à ces objectifs, la zone d'étude a concerné 2 échelles de travail distinctes :

- Un **zoom sur le seuil de Vinon-sur-Verdon**, avec des dispositifs fixes de détection placés en amont et en aval immédiat de celui-ci ;
- Une zone plus large couverte par des prospections mobiles ponctuelles pour compléter les données acquises par les dispositifs fixes. Cette zone a concerné **1 200 mètres linéaires à l'aval** du seuil et **6 000 mètres linéaires en amont**.

La durée du suivi a été conditionnée par la **durée de vie des émetteurs** (estimée à 440 jours selon le fabricant) et le démarrage du suivi a été défini à partir des deux critères suivants :

- Pouvoir réaliser les échantillonnages **au débit réservé**, y compris en aval de la restitution EDF ;
- Disposer de **températures de l'eau inférieures à 18°C** pour le confort des truites marquées.

Aussi, le suivi s'est déroulé du **06/10/2020 (premier jour de marquage) au 31/12/2021, soit 451 jours consécutifs de suivi**.

2.2 Principe de la technologie utilisée : la radiotélémétrie

Les suivis par radiotélémétrie (ou radiopistage) reposent sur l'utilisation de marques actives émettant un signal radio, dont la fréquence varie de 30 à 200 MHz, qui sera détecté et enregistré au niveau d'un récepteur disposant d'une antenne aérienne ou immergée. Les émetteurs radio sont pourvus d'une batterie interne. Leur durée de vie est par conséquent limitée, variant de quelques semaines à plusieurs années selon les réglages et le type d'émetteur utilisé.

Le marquage des poissons à l'aide d'émetteurs radio peut être réalisé de trois façons (Figure 5) : par voie intra gastrique, apposé en externe sur le dos du poisson ou par implantation chirurgicale dans la cavité abdominale.

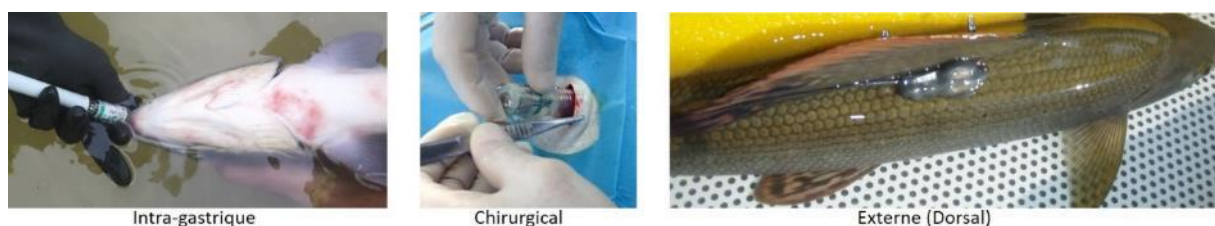


Figure 5 : Implantation d'émetteurs actifs par voie intragastrique (gauche) et chirurgicale (droite).

Chaque émetteur est caractérisé par une fréquence propre (émetteur non codé) ou par un identifiant unique (émetteur codé), permettant l'identification des individus marqués se trouvant à portée de détection des récepteurs.

Les récepteurs peuvent être équipés d'une ou plusieurs antennes aériennes ou immergées (Figure 6). Ils peuvent être utilisés de manière automatique pour équiper une station de suivi fixe ou manuellement pour réaliser des prospections mobiles.



Figure 6 : Exemples de dispositifs de suivis fixes et mobiles par télémétrie radio.

Les suivis télémétriques mobiles appelés aussi « radiotracking » peuvent être réalisés à pied, à partir d'une embarcation, d'un véhicule ou d'un avion.

En pratique, le signal est détecté sous forme de « bips » sonores audibles par l'opérateur. Il est en général d'abord recherché avec une antenne non directionnelle puis, une fois le signal capté, avec une antenne directionnelle, permettant de déterminer la direction de la source du signal et d'estimer sa localisation avec un degré de précision variable par triangulation.

Les mouvements des individus marqués sont retracés à partir de leurs **positions successives enregistrées à l'aide des stations fixes ou mobiles**. Compte tenu des portées de détections importantes (jusqu'à plusieurs centaines de mètres), la télémétrie radio permet de suivre les déplacements de poissons à des échelles spatiales importantes. Elles trouvent notamment des applications dans l'étude des patrons de migration, de l'utilisation des habitats ou encore du franchissement d'ouvrages.

2.3 Opérations de captures et de marquage des truites de rivières

Les opérations de captures se sont déroulées durant **deux jours d'octobre 2020 (le 6 et le 7 octobre)** et ont mobilisé deux équipes de **pêche électriques** composées d'opérateurs des Fédération de Pêche du Var et des Alpes de Haute-Provence ainsi que de l'AAPPMA du Bas Verdon.

Les pêches électriques ont été réalisées à l'amont du seuil de Vinon sur un linéaire de **1 000 mètres et à l'aval du seuil en se concentrant entre le pied de l'ouvrage et le débouché aval de la rivière à canoës**. Une équipe de plusieurs opérateurs était dédiée au transport des truites capturées vers la station de marquage fixe, localisée en berge rive gauche du seuil.

Les pêches ont été réalisées **au débit réservé** et avec une **température de l'eau moyenne de 12°C**.

Sur place, les truites étaient stabulées dans des viviers positionnés directement dans la rivière avant d'être amenées une à une au poste de chirurgie pour se voir implanter un émetteur radio.

Le marquage chirurgical des poissons à l'aide de marque interne a été réalisé **conformément à la législation en vigueur sur l'expérimentation animale** (opérateurs habilités, structure agréée utilisateur d'animaux à des fins scientifiques, avis favorable d'un comité d'éthique en expérimentation animale et dossier Apafis n°24179, annexe 7.1).

L'ensemble du matériel de chirurgie ainsi que les émetteurs ont été, préalablement aux marquages, désinfectés à froid dans une solution de glutaraldéhyde à 2% (Stéranios).

Toutes les truites destinées à être marquées ont été anesthésiées dans un bain d'isoeugénol. Elles ont été mesurées (longueur totale en mm), pesées (+/- 1g) et sexées si possible par observation visuelle. Ensuite, une incision ventrale d'environ 2-3 cm a été réalisée au scalpel pour permettre d'implanter l'émetteur **dans la cavité péritonéale du poisson**. L'incision a ensuite été refermée par plusieurs points de suture (3 points en moyenne ; Figure 7).

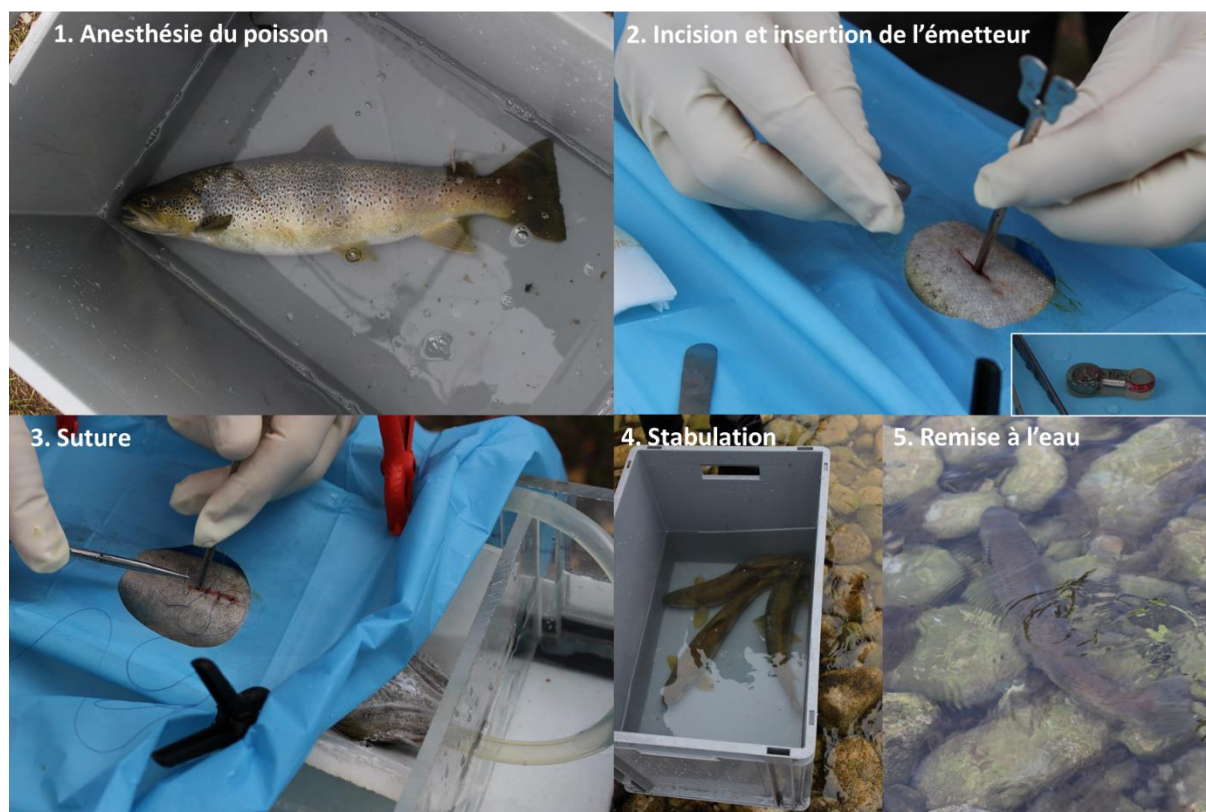


Figure 7 : Illustration photographique des étapes de marquage.

Le marquage interne est largement préféré par rapport au marquage externe car moins intrusif. En effet, aucune blessure post-marquage ne subsiste après cicatrisation (Figure 8).



Figure 8 : Exemple de cicatrisation d'une truite marquée, 1 an après l'implantation de l'émetteur.

Un modèle unique d'émetteur a été utilisé durant la campagne de marquage, le **modèle F1170L de la marque ATS** (Advanced Telemetry Systems). Le choix de l'émetteur implanté a été réalisé en fonction de la masse du poisson pour ne pas dépasser 2% de la masse du poisson (Brown et al. 1999¹). Les spécificités techniques du modèle utilisé sont précisées en annexe 7.2.

¹ 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.

Pour assurer une autonomie maximale des émetteurs, il a été fait le choix de programmer les émetteurs à une fréquence d'émission de **30 pulses par minute** (nécessitant des récepteurs capables d'entendre des signaux d'une largeur d'impulsion de 15 ms).

Tableau 1 : Dimension de l'émetteur type F1140L utilisé.

Modèle	Durée de vie	L (cm)	D (cm)	Masse (g)	
F1170	14 mois	2.4	1,4	4.0	

Après marquage, les poissons ont été placés dans un bac de réveil oxygéné et thermo-régulé. Une fois réveillé, ils ont été gardés en observation avant d'être relâchés sur un site unique localisé 150 mètres en aval du seuil, et en aval du dispositif fixe aval de détection (Figure 10).

Au total, 49 truites ont été marquées dont 19 individus qui provenaient de l'amont du seuil (soit 39% de l'effectif). Le tableau suivant (Tableau 2) décrit quelques statistiques de la distribution de taille présentée dans la Figure 9.

Tableau 2 : Statistiques descriptives de la taille (Lt en mm) des truites marquées en 2020.

Variable	Total	Orig. amont	Orig. aval
Nombre individus	49	19	30
Taille min (mm)	305	305	307
Taille moyenne (mm) $\pm$ ET (mm)	405 $\pm$ 60	404 $\pm$ 62	405 $\pm$ 61
Taille max (mm)	525	520	525

La majorité des truites marquées (53%) mesurait ≤ 400 mm. On ne constate que peu de différences entre les distributions des individus ayant été capturés en amont ou en aval du seuil. Enfin, toutes les classes de tailles sont représentées quel que soit l'origine des poissons.

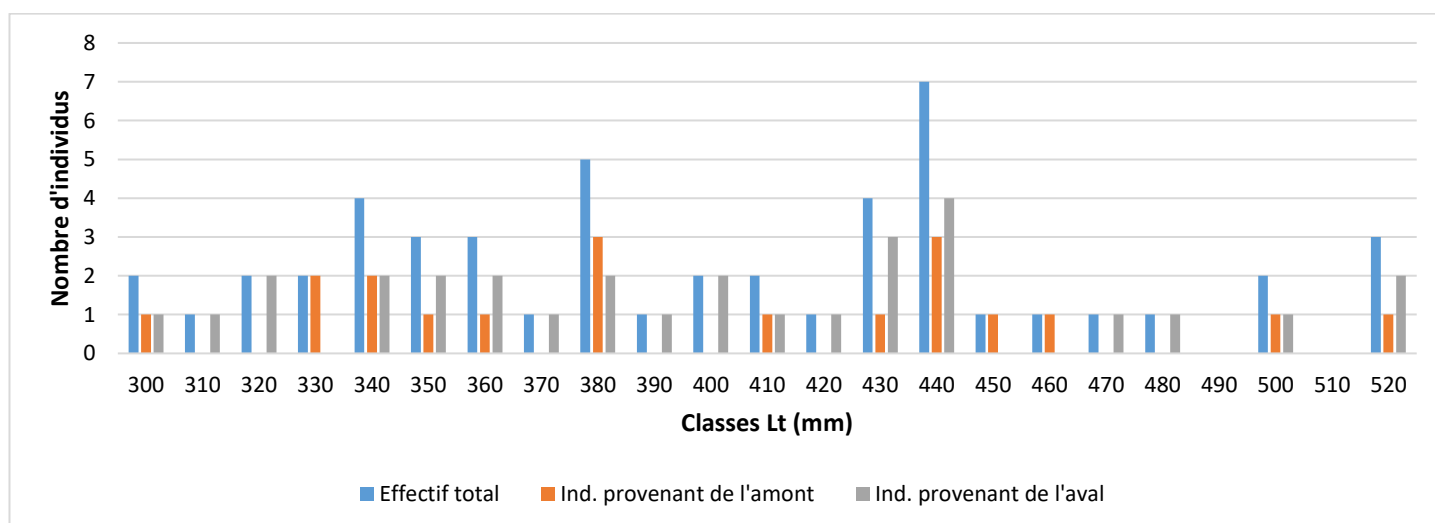


Figure 9 : Distribution des tailles individuelles – truites marquées en 2020.

2.4 Dispositifs de stations fixes sur la zone d'étude

Le dispositif de suivi mis en place sur la zone d'étude « seuil de Vinon » au droit de la commune de Vinon-sur-Verdon était constitué de 3 stations fixes, installées par SCIMABIO Interface et gérées par la FDPPMA83 durant la totalité du suivi. La localisation de ces trois stations fixes, ainsi que leurs zones de détection (testées *in situ*) sont présentées dans la Figure 11.

Deux stations (« parking » en aval du seuil et « boules » en amont de ce dernier) étaient localisées en rive gauche du Verdon. La troisième station, « kayak », était située en aval du seuil en rive droite.

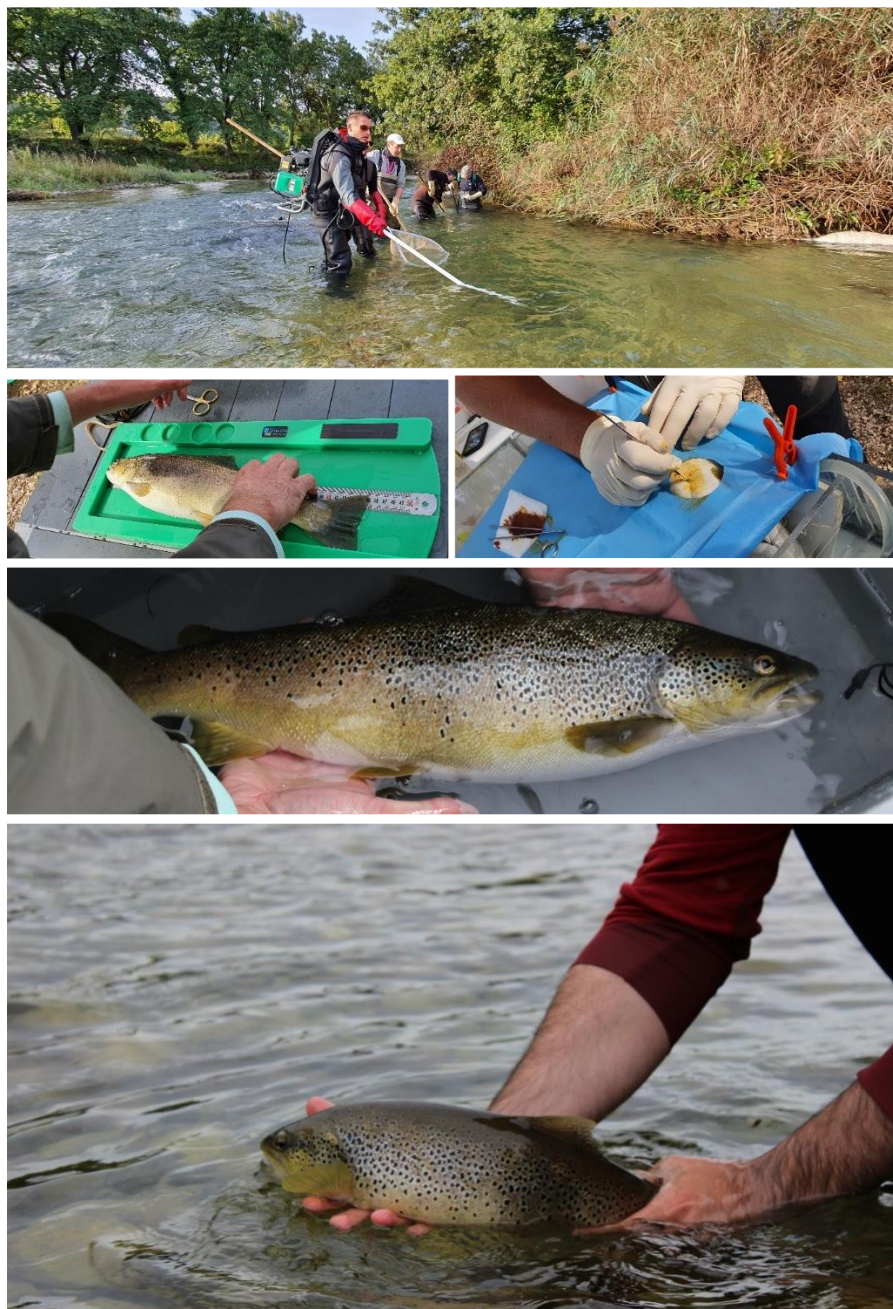


Figure 10 : Illustrations des étapes de capture/marquage.

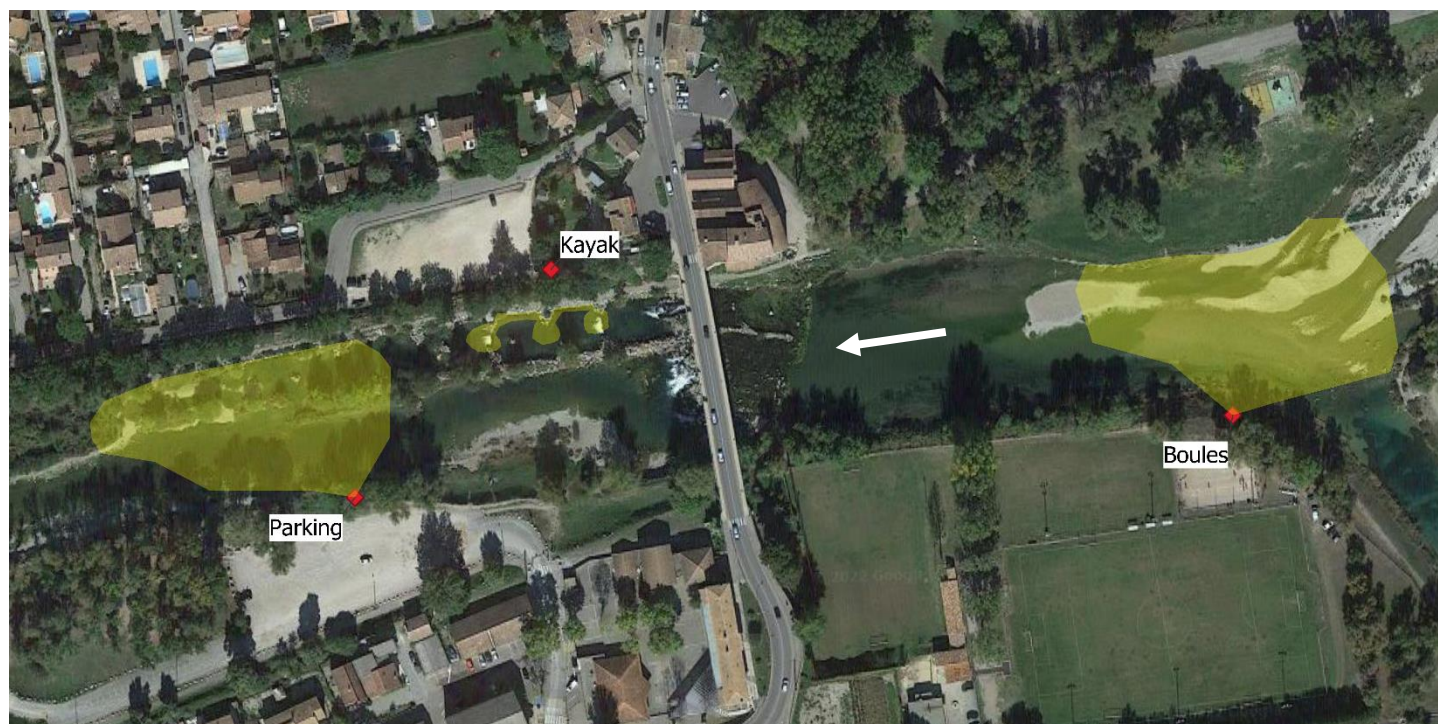


Figure 11 : Localisation des trois récepteurs installés et illustrations de leur zone de détection.

Les stations « Parking » et « Boules » étaient composées de **deux récepteurs-enregistreurs radio ATS 4500S a**, chacun connecté à une **antenne aérienne boucle positionnée en hauteur**, dans un arbre. La station kayak était également équipée de deux récepteurs-enregistreurs mais reliée à une grande **antenne immergée en bordure rive droite dans la rivière à canoës**. L'alimentation électrique était assurée sur les 3 sites par des **batteries 12V 110 Ah** changées environ **toutes les 3 semaines** par le personnel de la FDAAPPMA 83. Pour les stations « Parking » et « Boules », ne disposant pas de moyen de sécurisation existant, le matériel a été protégé à l'aide d'un **caisson métallique étanche et inviolable** qui a été **enterré** pour des raisons de discrétion (Figure 12). La station « Kayak » a pu être installée chez un propriétaire riverain, à l'intérieur d'une enceinte fermée et inaccessible sans la présence du propriétaire.

Les récepteurs enregistreurs ont été programmés pour scanner les fréquences des émetteurs avec un **temps de scan minimum de 4 secondes** (pulse rate = 2 secondes ; temps d'écoute minimum = 2 x 2 secondes). Il faut au minimum 5 écoutes confirmées pour valider la fréquence soit un **temps de scan de validation de 10 secondes**. Chaque récepteur scannait une table de **25 fréquences**. Aussi, le temps de scan de la table complète (25 truites) était de 100 secondes *minimum*, en l'absence d'individus marqués dans la zone de détection, à 250 secondes maximum, dans l'hypothèse (peu probable) de la présence de l'ensemble des individus dans la zone de détection.

Pour chaque fréquence validée par un récepteur, son numéro était enregistré automatiquement en incrémentant la date, l'heure (UTC), le nombre de détections et la puissance du signal.

2.5 Campagnes de prospections mobiles

Le suivi mobile a été réalisé à l'aide d'un récepteur **ATS 2100 couplé à une antenne boucle**. L'antenne boucle a été utilisée à pied depuis les berges ou le lit de la rivière pour des localisations précises en utilisant la **bi-angulation** (Figure 13).

Au total, **15 prospections mobiles** ont été réalisées sur la zone d'étude entre le démarrage du suivi (début octobre 2020) et le **1^{er} juillet 2021**. Ces prospections ont été assurées par le personnel de la FDPPMA 83.



Figure 12 : Une station aérienne implantée dans le milieu naturel. Les dispositifs électroniques ont été enterrés par discrétion. L'antenne était alors peu visible après l'installation.

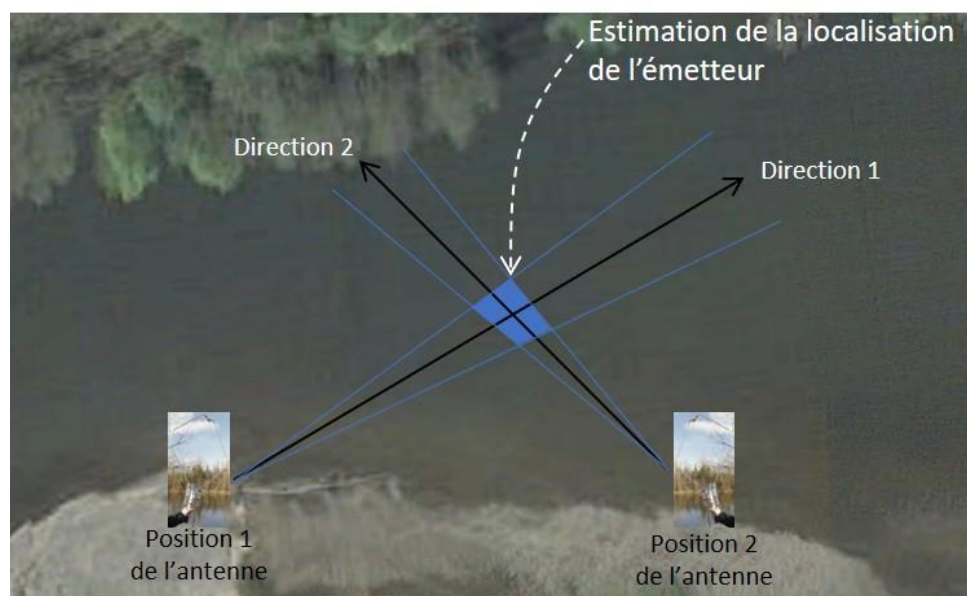


Figure 13 : Présentation du principe de bi angulation utilisé pour estimer la localisation d'un émetteur.

Les prospections ont surtout été menées en aval du seuil, entre le secteur compris entre la STEP de Vinon située 1200 m en aval du seuil et le seuil lui-même.

En complément, plusieurs prospections mobiles ont permis de suivre un linéaire plus important dont les limites étaient le site « Digue fusible » situé 3100 m en aval du seuil de Vinon et un secteur du TCC localisé 2450 m en amont du seuil de Vinon, ainsi que l'aval immédiat du seuil du boudin de Gréoux (6600 m vers l'amont, non représenté en Figure 14 pour une question d'échelle).

Un **récapitulatif des linéaires suivis** par prospection est précisé ci-après (Tableau 3).

Tableau 3 : Détails des sites prospectés lors des différents suivis mobiles. Les distances au seuil sont aussi présentées.

				Aval							Amont					
				Sites et distance au seuil (m)												
				Digue fusible -3107	PIP Aval -1695	STEP Vinon -1201	Aval SIMC -738	SIMC -676	Amont SIMC -554	Passerelle -340	Passé à kayaks -120	Fosse RG seuil Vinon -23	Seuil Vinon 0	TRANS 1890	TCC 2452	Boudin Gréoux 6600
Num_Pro	Date	Délai suivi (j.)														
1	14/10/2020	8														
2	22/10/2020	16														
3	28/10/2020	22														
4	06/11/2020	31														
5	12/11/2020	37														
6	25/11/2020	50														
7	09/12/2020	64														
8	23/12/2020	78														
9	21/01/2021	107														
10	24/02/2021	141														
11	18/03/2021	163														
12	07/04/2021	183														
13	09/06/2021	246														
14	10/06/2021	247														
15	01/07/2021	268														

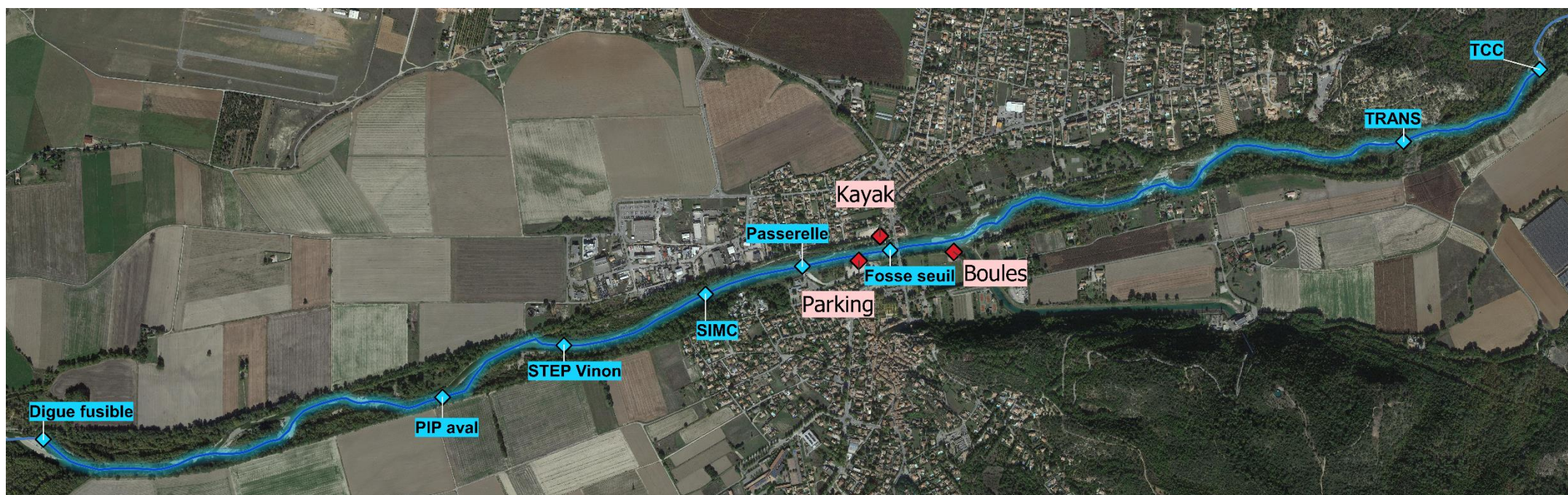


Figure 14 : Linéaire maximal pratiqué lors des suivis mobiles et localisations des stations fixes (en rouge) et des sites de suivi mobile (en bleu).

2.6 Conditions environnementales et efficacité du dispositif mis en place

2.6.1 Hydrogramme à la station de Vinon-sur-Verdon

Le débit du Bas Verdon a été suivi par l'intermédiaire de la station DREAL de Vinon-sur-Verdon [Le Hameau] (X281121001) située au droit du seuil. Les données horaires ont été récupérées entre le 01/10/2020 et le 31/12/2021. Hormis un dysfonctionnement de la station en début de chronique (**tout le mois d'octobre 2020**), l'enregistrement du débit s'est déroulé sans problème apparent. Le mois d'Octobre correspond à la **période de plus grande mobilité des truites** marquées dans le cadre de l'étude, nous savons qu'il n'y a pas eu de régime éclusé durant le mois d'Octobre, il y a eu deux événements de faible ampleur avec deux déversés au droit du barrage d'Esparron entre 6 et 8 m³/s le 16 et 22 Octobre.

L'hydrogramme enregistré durant cette période est présenté dans la Figure 15. On constate qu'**entre le 1^{er} novembre 2020 et début juin 2021, le débit oscille quotidiennement entre la valeur du débit réservé (2.5-3 m³/s) et celle du débit de restitution du canal EDF (≥ 42.5 m³/s)**. Courant l'été 2021 (de la mi-juin à la mi-août), ces oscillations se font plus rares avec un **débit stabilisé à la valeur du débit réservé**. On remarquera cependant quelques augmentations ponctuelles au débit de restitution, mais cela reste anecdotique sur la période. On constate à nouveau les **oscillations quotidiennes entre la fin aout 2021 et la fin de chronique**.

Sur l'ensemble de la période de suivi, **aucun déversement significatif au barrage d'Esparron ni crue naturelle** morphogène des affluents intermédiaires n'a été enregistré.

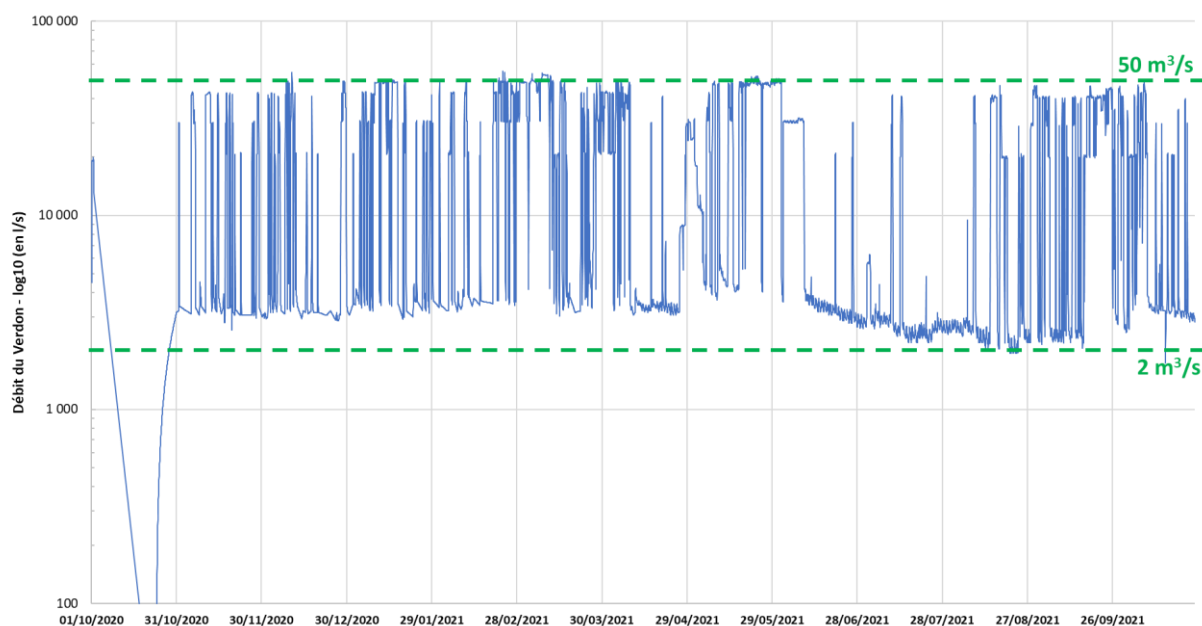


Figure 15 : Hydrogramme enregistré à la station de Vinon-sur-Verdon, entre le 1^{er} octobre 2020 et le 31 décembre 2021.

2.6.2 Thermogrammes enregistrés

Plusieurs sondes thermiques ont été disposées par la FDPMA 83 afin de suivre la thermie du Bas Verdon durant l'étude. Après échanges avec la Fédération et en considérant notamment la qualité des données récoltées, deux sondes en particulier sont utilisées pour nos analyses : la sonde installée **dans le TCC (bras secondaire) en amont du seuil** et non influencée par le canal usinier ; et la sonde installée

au site « Digue fusible », en aval du seuil. A noter que les sondes n'ont pas fonctionnées durant 15j. au mois de juin 2021. Les thermogrammes enregistrés sont présentés dans la Figure 16.

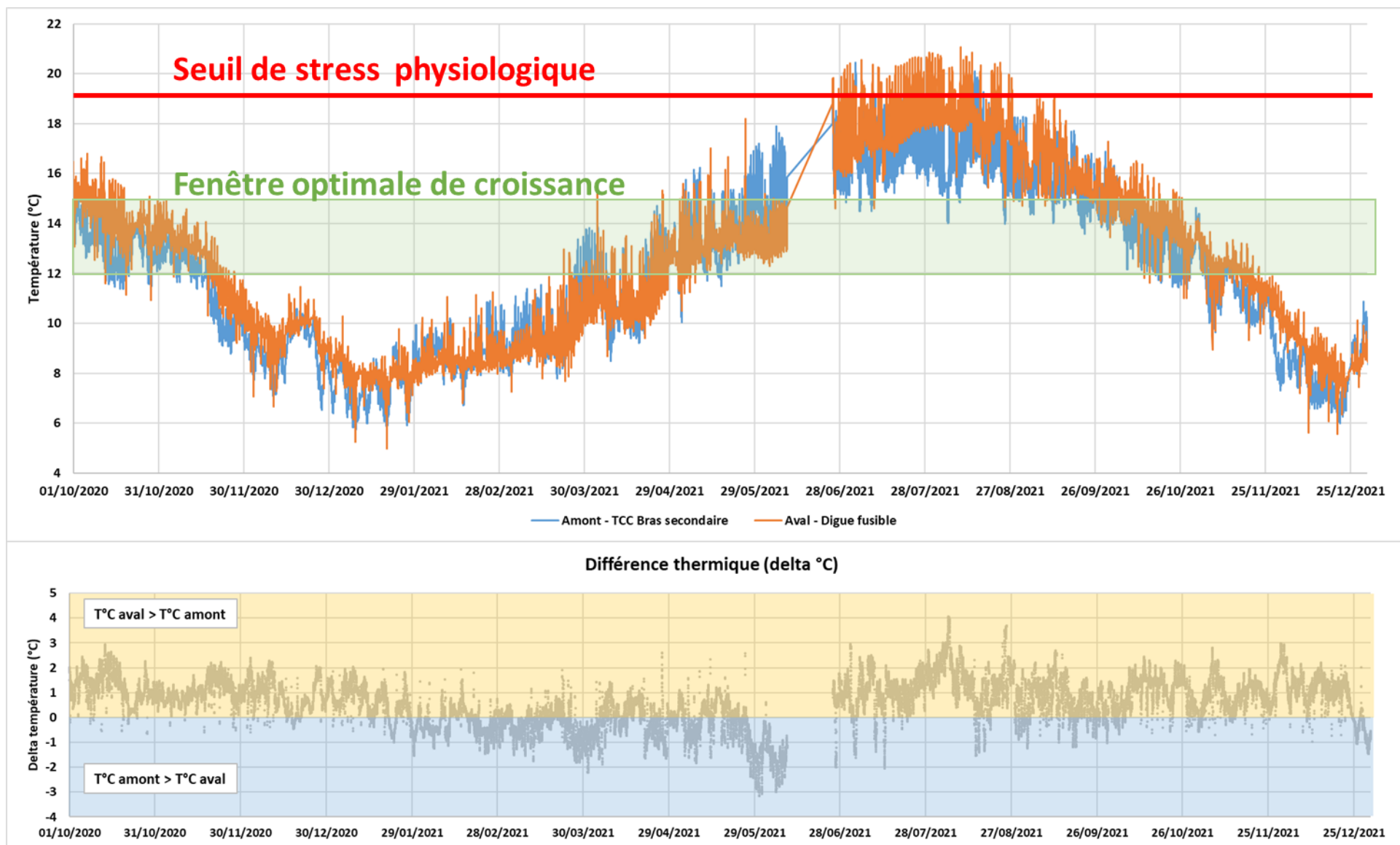


Figure 16 : Thermogrammes enregistrées sur deux sondes du Bas Verdon (amont et aval restitution du canal EDF) et différence thermique entre les valeurs horaires enregistrées.

Le Tableau 4 présente quelques statistiques descriptives des hydrogrammes présentés dans la Figure 16.

Tableau 4 : Statistiques descriptives des thermogrammes enregistrés par les deux sondes du Bas Verdon.

Variables	Stations de suivi		
	Amont - TCC Bras secondaire	Aval - Digue fusible	Diff (aval-amont)
Min	5.0	4.3	-3.2
Moyenne	11.4	12.0	0.6
ET	3.5	3.7	0.9
Max	20.4	21.1	4.1

Au cours du suivi, la sonde située en aval de la restitution enregistrait une **température supérieure** (en moyenne 0.6°C) à celle enregistrée par la sonde située dans le TCC (en amont de la restitution). Ce constat s'inverse sur une période s'étalant de la mi-février 2021 à la mi-juin 2021, puisque l'on observe une **température du TCC plus élevée** (différence maximale de 3.2°C) que celle enregistrée en aval de la restitution. Cependant, dès la fin juin 2021, cette situation s'inverse à nouveau avec, cette fois-ci, une température de l'eau en moyenne plus élevée (au *maximum* de 4.1°C), enregistrée par la station aval.

Ces quelques résultats témoignent d'un **régime thermique fluctuant à l'intérieur de la zone d'étude**, en lien avec les restitutions EDF. On notera que ni la position des thermographes, ni la position des récepteurs fixes n'a été pensée pour étudier finement ces fluctuations, qui ne constituaient pas un objectif de base de la présente étude. Dans ces conditions, il apparaît **difficile de pouvoir analyser le jeu de données au regard du paramètre température de l'eau**.

De façon plus générale toutefois, on remarquera que durant la période d'étude, la thermie de l'eau s'est **globalement tenue dans la fenêtre de *preferendum* de la truite**, à l'exception d'une période de 2 mois (fin juin à fin août 2021) au cours de laquelle la température **dépasse le seuil de stress physiologique** théorique chez la truite (avec un *maximum* légèrement en deçà de 21°C). Par ailleurs, sur l'ensemble de la fenêtre d'étude, on relève une période cumulée d'environ 6 mois (environ 1/3 de la durée totale du suivi) durant laquelle la température de l'eau se **situe dans la fenêtre optimale théorique de croissance chez la truite**. Il peut globalement être considéré que, au sein de la zone d'étude, et pour la période de suivi considérée, **la thermie de l'eau n'apparaît pas constituée un paramètre abiotique contraignant et limitant pour la population de truites**.

2.6.3 Fonctionnement des stations fixes

Sur l'ensemble de la période de suivi, le fonctionnement des dispositifs fixes se révèle **globalement satisfaisant avec des dysfonctionnements ponctuels** qui ont *in fine* peu nui aux analyses du jeu de données produits et ne questionnent pas la robustesse des conclusions (temps de fonctionnement total des récepteurs >90% du temps total du suivi). Pour rappel, la FDAAPPMA 83 réalisait des **contrôles bimensuels des installations** au moment de changer les batteries des lecteurs. Les dysfonctionnements principaux ont concerné 1/ un **défaut d'alimentation des récepteurs sur le réseau domestique à la station « kayak »** dans les premiers jours de démarrage du suivi (avec probablement quelques franchissements précoces manqués par ce fait); 2/ une **coupure d'enregistrement de la station « Boules »**, durant 2 semaines début septembre 2021. La liste des autres dysfonctionnements mineurs enregistrés par la fédération sont fournis ci-après :

- Poste 4623 – station « Parking » : lors de la relève du 09 Juin 2021, le poste était éteint : à force de manipulation le câble d'alimentation était endommagé. Il n'y avait que 99 blocs d'enregistrés sur cette relève alors que d'habitude on était plutôt autour des 4000 données.

Sur la relève du 22 Septembre 2021, le poste était éteint depuis 3 jours (problème de calage de calendrier avec les vacances du propriétaire du terrain où se trouvaient les postes « kayak ») ;

- Poste 4624 – station « Parking » : lors de la relève du 22 Septembre 2021, le poste était éteint depuis 3 jours (problème de calage de calendrier avec les vacances du propriétaire du terrain où se trouvaient les postes « kayak ») ;
- Poste 4273 et poste 4275 – station « Boules » : lors de la relève du 22 septembre 2021, constat que le poste était éteint. Cela est dû à un problème d'accès au terrain (vacances propriétaire) ;
- Poste 3767 et poste 4625 – station « Kayak » : lors de la relève du 08 Octobre 2021, constat que le poste était éteint. Cela est dû à un problème d'accès au terrain (vacances propriétaire).

3. RÉSULTATS DU SUIVI TÉLÉMÉTRIQUE

3.1 Validation des données récoltées

Au cours du dépouillement des données récoltées durant l'étude, il s'est avéré que certains récepteurs, principalement les deux situés à la station « Boules », présentaient des dysfonctionnements **générant aléatoirement des informations de détections erronées**.

Après échanges avec d'autres spécialistes des suivis par radio télémétrie, il s'avère que les erreurs autogénérées par ce type de dispositif sont courantes et sont principalement dues à des problèmes variés, difficilement anticipables (principalement un **parasitage de fréquences émises par l'activité humaine, a fortiori** dans l'environnement péri-urbain de Vinon-sur-Verdon avec le passage d'une voirie très fréquentée sur le pont). A noter que ces détections erronées **ne concernent pas la station « kayak »**, l'utilisation d'une antenne immergée permettant de s'affranchir desdits parasitages.

Pour s'assurer de **n'utiliser que des données les plus fiables possibles**, nous avons donc sélectionné les détections définies par des caractéristiques attendues, notamment le nombre de détections successives enregistrées lors de la captation d'une fréquence enregistrée. Toutes les détections pour lesquelles ont été observées des **différences significatives entre « N_Pulses » et « N_Matches »** ont ainsi été écartées du jeu de données. Ainsi, pour s'assurer d'écarter tous les faux-positifs, il a été décidé en accord avec la fédération de supprimer toutes détections pour lesquelles, avec une valeur « N_Matches » égale à 4, on obtenait une valeur de « N_Pulses » supérieure ou égale à 15 (Tableau 5).

Tableau 5 : Exemple de détections valides (haut) et non-valides (bas) à partir du critère de sélection « N_Matches » / « N-Pulses »



Site	Recepteur	Date	Heure	Date_num	Jour	Antenne	Frequence	Force_Signal	N_Pulses	PPM	N_Matches
Boules	R4273	03/01/2021	02:44:00	44199,1139	44199	1	8667	95	4	29	4
Boules	R4273	03/01/2021	02:50:00	44199,1181	44199	1	8667	94	4	29	4
Boules	R4273	03/01/2021	03:15:00	44199,1354	44199	1	8667	89	4	29	4
Boules	R4273	08/03/2021	13:04:00	44263,5444	44263	1	9113	85	4	27	4
Boules	R4273	08/03/2021	14:33:00	44263,6063	44263	1	9113	90	4	28	4
Boules	R4273	08/03/2021	14:38:00	44263,6097	44263	1	9113	81	4	28	4



Site	Recepteur	Date	Heure	Date_num	Jour	Antenne	Frequence	Force_Signal	N_Pulses	PPM	N_Matches
Boules	R4273	31/12/2021	02:37:00	44561,109	44561	1	8240	89	80	27	4
Boules	R4273	31/12/2021	02:43:00	44561,1132	44561	1	8240	89	80	27	4
Boules	R4273	31/12/2021	02:46:00	44561,1153	44561	1	8240	88	80	27	4
Boules	R4273	31/12/2021	02:49:00	44561,1174	44561	1	8240	91	80	27	4
Boules	R4273	31/12/2021	03:01:00	44561,1257	44561	1	8240	89	80	27	4
Boules	R4273	31/12/2021	18:06:00	44561,7542	44561	1	8240	90	80	28	4

A l'issue de ce nettoyage du jeu de données, sur les 247 516 détections enregistrées durant les 15 mois de suivi (tous récepteurs confondus), nous avons supprimé 51 355 détections en réalisant cette sélection, **soit 21.7% de la donnée disponible**. Il en résulte la mise à disposition de **196 161 détections** pour réaliser sereinement la suite des analyses (sujet des chapitres suivants).

Il est probable que cette méthode de nettoyage des données **implique la suppression de détections valides** (les détections avec un « N_Pulses » de 15 ou légèrement supérieur à 15) mais il a été fait le choix d'une **approche objective et prudente** pour être sûr de ne pas comptabiliser de potentiels faux franchissements.

3.2 Chronique de détections quotidiennes et effectif ayant franchi

Ci-après sont présentées les chroniques de détections quotidiennes des poissons au cours du suivi (Figure 17 & Figure 18).

On remarque tout d'abord que dès les marquages (début octobre 2020), les détections quotidiennes sont constantes, avec au maximum 36 poissons différents détectés en une journée (Figure 17, début de chronique). Les détections **déclinent graduellement par la suite**.

La totalité des poissons a été détectée par les systèmes télémétriques (par stations fixes et ou *via* les suivis mobiles) **au moins une fois pendant le suivi, soit les 49 individus marqués** (Figure 18). Ces 49 poissons ont tous été détectés dès le début du suivi, avant la fin du mois d'octobre (histogrammes rouges, Figure 18). Seul 1 individu a été détecté plus tardivement, le 12/11/2020, soit 37 jours après son marquage.

On peut noter que sur l'ensemble de la période de suivi, un **groupe composé de 5 à 10 truites vivait en permanence dans la zone de suivi**. Ce fait est tout à fait logique dans la mesure où 1/ une partie de l'échantillon de truites marquées a été capturé directement sur cette zone et 2/ la rivière à canoës comme la fosse de dissipation du seuil offrent des habitats (pour l'abri et la nourricerie) de qualité.

Si l'on s'intéresse aux nouveaux poissons détectés en amont du seuil (Figure 18, histogrammes bleu), on remarque que **20/49 individus ont été détectés durant le suivi, soit 41% des individus marqués**. Les poissons ont franchi le seuil durant toute la chronique, avec un premier lot nettement majoritaire entre le début du suivi jusqu'à la fin décembre 2020 (16/20 individus, soit 80% des franchissements), puis ponctuellement durant l'année 2021, jusqu'à la fin du suivi (4/20 individus). **En toute fin de suivi, les détections de truites deviennent rares** (associées à 1 ou 2 poissons uniquement), en lien avec d'une part la **mortalité progressive des truites étudiées** (naturelles ou par prédation) et d'autre part la **perte d'émission du signal** liée à la fin de vie des batteries.

Enfin, il faut noter qu'au cours du suivi **4 truites ont été considérées comme mortes** (état avéré), dont trois d'entre elles ont été capturées par des pêcheurs à la ligne. La quatrième truite a été retrouvée morte à proximité de la rivière à canoës environ 3 semaines après les marquages. Cette truite semblait présenter une mauvaise cicatrisation au niveau de la zone d'insertion de l'émetteur. Il est donc possible que cette mortalité soit à relier directement aux effets du marquage. Mais globalement sur l'ensemble de l'échantillon de truites marquées, **la mortalité liée directement à l'implantation des émetteurs peut être considérée très minoritaire (2%) et non-susceptible de remettre en question les comportements des truites post-marquage.**

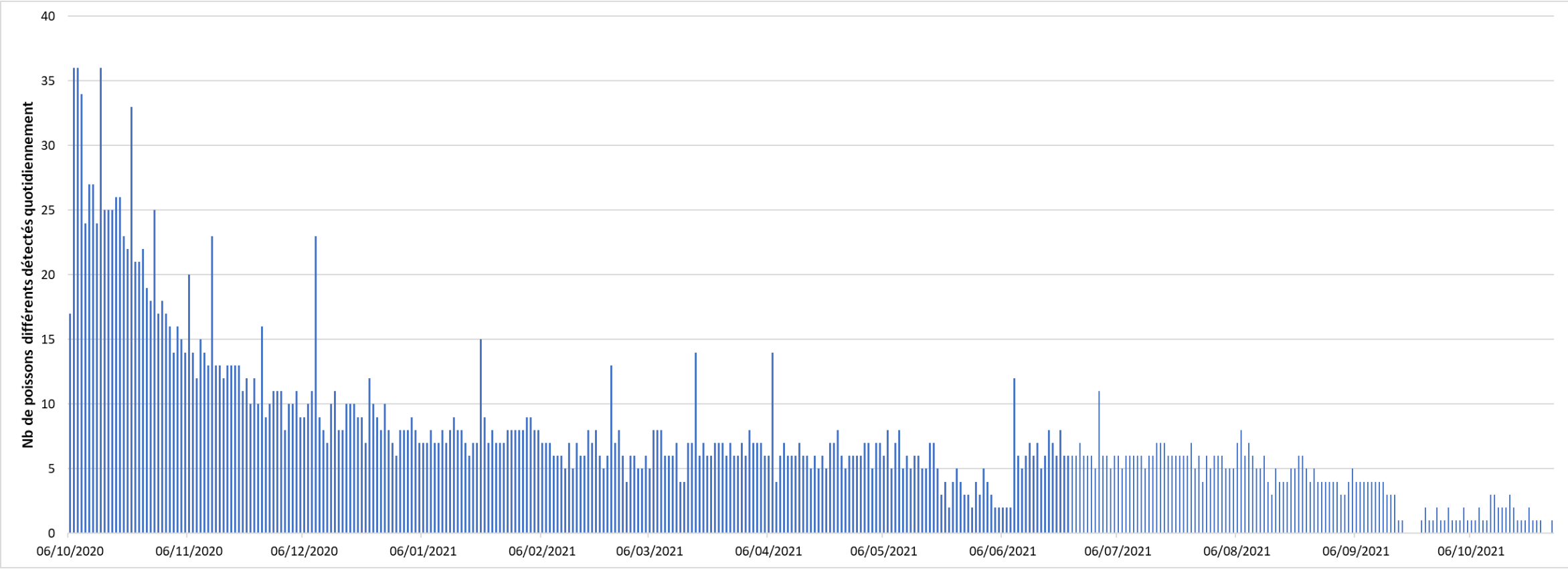


Figure 17 : Chronique de détections quotidiennes, tous types de suivi et toutes stations fixes confondus.

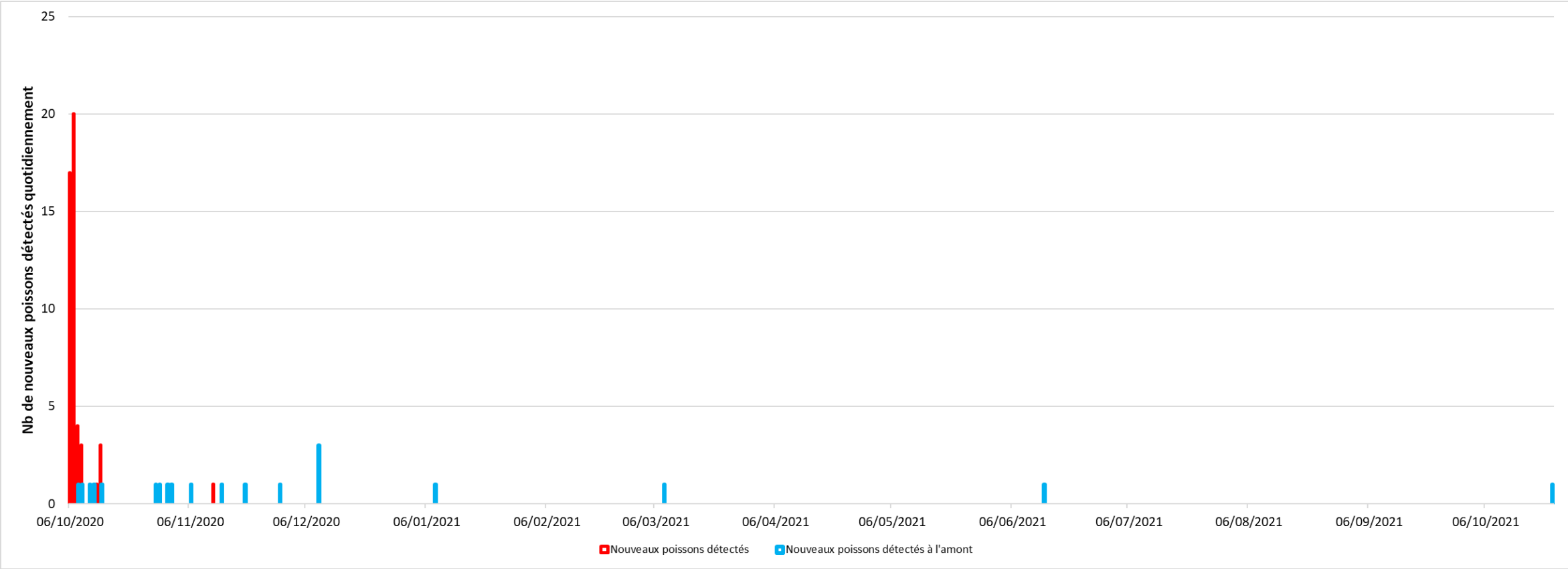


Figure 18 : Chronique de détections quotidiennes de nouveaux poissons au cours du suivi. En rouge, tous types de suivi et toutes stations fixes confondus. En bleu, uniquement les poissons détectés en amont du seuil.

3.3 Caractéristiques des franchissements du seuil

3.3.1 Premiers constats et caractérisation des franchissements

3.3.1.1 BILAN GLOBAL DES FRANCHISSEMENTS

Dans un premier temps, nous pouvons apporter les premières précisions suivantes (Tableau 6) :

- Comme précisé au chapitre précédent, **20/49 (soit 41%) des poissons marqués ont été détectés par le dispositif en amont du seuil de Vinon : ces 20 truites ont donc franchi le seuil** ;
- 12/20 truites (soit 60% de l'effectif ayant franchi) ont franchi le seuil une seule fois. Certaines n'ont plus été redétectées par la suite (montaison), et d'autres ont dévalé le seuil sans être de nouveau détecté en amont ;
- 7/20 truites (soit 35%) ont franchi le seuil entre 2 et 3 fois durant la totalité du suivi ;
- **1 truite a franchi 4 fois le seuil durant le suivi (Figure 19).**

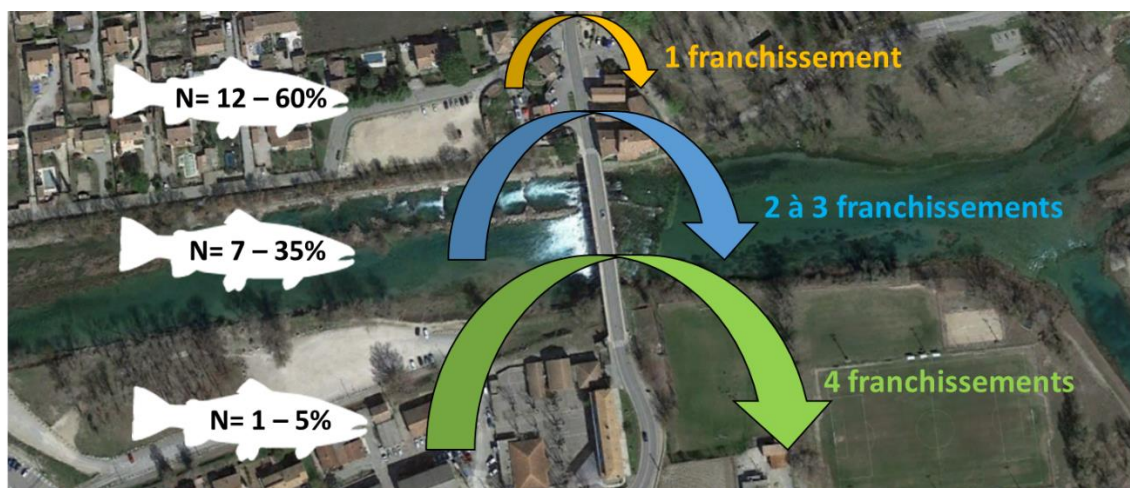


Figure 19 : Bilan global du nombre de truites marquées ayant réussi à franchir au moins 1 fois le seuil durant les 15 mois de suivi

Ces résultats impliquent parallèlement que **29 truites (59%) marquées n'ont pas franchi l'ouvrage au cours des 15 mois de suivi**. Cette absence de franchissement ne doit pas être interprétée comme un échec de franchissement. Le design de l'étude ne permet pas de conclure, à partir de l'analyse des détections, sur le comportement de ces 29 truites vis-à-vis de l'ouvrage de Vinon-sur-Verdon. En particulier, une partie de ces individus semblait vivre dans ou à proximité de la zone d'étude. D'autres ont été détectés en début de suivi puis sont sortis de la zone d'étude par l'aval sans jamais se représenter aux antennes. Pour tenter d'interpréter ces différents comportements, il faut intégrer le fait que **dans la majorité des études sur la mobilité chez la truite de rivière** (de lignée méditerranéenne en particulier), il est montré que **seule une part minoritaire de la population présente un caractère de mobilité à la montaison**. Selon les cas d'étude (très majoritairement réalisés sur des rivières de taille inférieure au Bas Verdon), cette part se situe **entre 20 et 30%**. Sur le Bas Verdon, cette part est évaluée à 41 % (avec en sus plusieurs franchissements multiples), ce qui tend à montrer que les truites étudiées témoignent d'une **mobilité supérieure à celle observée en moyenne chez d'autres populations sauvages de lignée méditerranéenne**. En conclusion, l'absence de franchissement chez 59% des truites étudiées **ne doit pas peser sur les conclusions relatives à la franchissabilité du seuil de Vinon**.

3.3.1.2 EFFET DES TRANSFERTS

De plus, on ne constate pas de différences significatives entre les truites transloquées (capturées en amont du seuil) et les truites issues de l'aval du seuil au moment des pêches électriques (Tableau 6). En effet, que ce soit au niveau du nombre ou des temps de franchissement, on constate que les résultats sont proches entre ces deux groupes d'individus. Par exemple, sur les 20 poissons détectés en amont du seuil, **10 ont été capturés en amont de ce dernier et 10 en aval**. Pour rappel, sur les 49 truites marquées, **19 truites provenaient de l'amont** et ont été transférées en aval du seuil. Concernant les temps de franchissement, la durée moyenne de franchissement entre ces deux groupes d'individus diffère d'un peu moins de 2h, ce qui reste négligeable considérant l'amplitude des temps observés. **Ainsi, par la suite, les truites sont donc considérées dans leur ensemble, sans distinction de leur origine de capture.**

Lorsque de tels transferts sont réalisés sur des études équivalentes chez la truite de rivière (par suivi RFID notamment), il est généralement observé une **propension significativement plus importante des truites transloquée à migrer vers l'amont**. La perturbation provoquée par le déplacement provoque chez la truite un comportement de mobilité post-marquage plus élevé que chez de truites également marquées mais relâchées au sein de leur domaine vital.

Les résultats observés sur le Verdon amènent 2 hypothèses : 1/ dans la zone des relâchers post-marquage, les habitats sont riches et diversifiés et ont potentiellement provoqué **un arrêt des truites transloquées au sein de cette zone favorable** ; 2/ sur ces grandes rivières, où les distances entre grands types d'habitats fonctionnels (abris, nourriceries, reproduction, thermique, ...) sont importantes, il est probable qu'on ait une **proportion d'individus mobiles au sein de la population de truites plus marquée**, se traduisant par une mobilité significative du lot de truites marquées à l'aval.

3.3.1.3 EFFET DE LA TAILLE

De la même manière, **aucun effet de la taille des individus ne semble expliquer le franchissement** (Figure 20). On constate en effet que les distributions de tailles sont très proches selon le statut de franchissement. Pour être complet, il aurait été intéressant de pouvoir également évaluer la franchissabilité du seuil **pour les individus non-adultes** (cohortes 0+ et 1+) mais pour rappel, leur taille ne permettait pas de respecter **la règle des 2% pour l'implantation des émetteurs**. Toutefois, il est bien connu de la littérature scientifique que les besoins de mobilité à la montaison de ces cohortes sont **sensiblement plus faibles** (à l'inverse, les mouvements en dévalaison sont importants), à l'exception d'enjeux relatifs **aux conditions thermiques du milieu**, ce qui, nous l'avons mentionné précédemment, **n'apparaît pas aujourd'hui être le cas sur le Bas Verdon**.

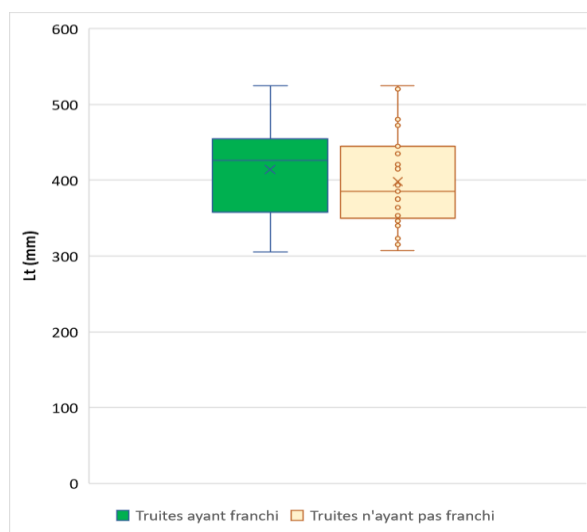


Figure 20 : Distribution des tailles (Lt en mm) selon le statut de franchissement.

Les informations détaillées de franchissements avec taille pour chaque individu marqué sont fournies dans le Tableau 6.

Tableau 6 : Statut de franchissement des truites marquées. (Lt = longueur totale, « nb franch. » = nombre individuel de franchissements).

Fréquences	Origine	Lt (mm)	Statut	nb franch
48010	aval	447	A franchi	1
48040	amont	346	N'a pas franchi	0
48070	amont	520	N'a pas franchi	0
48080	amont	466	A franchi	1
48091	aval	305	A franchi	1
48100	amont	393	N'a pas franchi	0
48122	aval	439	N'a pas franchi	0
48150	amont	364	N'a pas franchi	0
48190	amont	355	A franchi	1
48210	amont	340	N'a pas franchi	0
48240	amont	502	A franchi	1
48260	amont	389	A franchi	3
48281	amont	340	N'a pas franchi	0
48300	amont	445	A franchi	1
48352	amont	335	A franchi	1
48372	amont	335	A franchi	1
48420	amont	365	A franchi	1
48473	aval	387	N'a pas franchi	0
48560	amont	353	N'a pas franchi	0
48667	aval	456	A franchi	2
48680	amont	385	N'a pas franchi	0
48691	amont	419	A franchi	1
48701	aval	445	N'a pas franchi	0
48710	amont	315	N'a pas franchi	0
48730	aval	380	N'a pas franchi	0
48740	aval	380	N'a pas franchi	0
48750	aval	525	N'a pas franchi	0
48770	aval	400	A franchi	1
48790	aval	415	N'a pas franchi	0
48800	aval	445	N'a pas franchi	0
48810	aval	323	N'a pas franchi	0
49013	aval	446	N'a pas franchi	0
49033	aval	472	N'a pas franchi	0
49050	aval	436	A franchi	1
49063	aval	435	N'a pas franchi	0
49074	aval	357	N'a pas franchi	0
49084	aval	375	N'a pas franchi	0
49094	aval	421	N'a pas franchi	0
49103	aval	500	A franchi	3
49113	aval	525	A franchi	2
49123	aval	447	N'a pas franchi	0
49133	aval	433	A franchi	2
49145	aval	400	A franchi	4
49154	aval	368	N'a pas franchi	0
49173	aval	322	A franchi	2
49183	aval	307	N'a pas franchi	0
49193	aval	449	A franchi	2
49231	aval	480	N'a pas franchi	0
49270	aval	346	N'a pas franchi	0

3.3.1.4 CARACTÉRISATION FINE DES FRANCHISSEMENTS

Si l'on conserve uniquement les données de détection de poissons ayant franchi le seuil (détection par la station « Boules ») et **dont la dernière détection en aval du seuil datait de moins de 24h** (pour ne travailler que sur une période courte de variation environnementale, **minimisant l'influence des éclusées**), on peut alors caractériser les conditions de franchissement afin de cerner si certaines variables peuvent expliquer le comportement de montaison et **la capacité à franchir l'ouvrage**.

Cela implique de ne pas tenir compte dans ces analyses de certains franchissements correspondant à des cas de figures particuliers :

- Une **absence de détection à la station de « kayak »** avant la détection à la station « Boules » ;
- Un **individu résidant dans la rivière à canoës** avant la détection à la station « Boules ».

Pour rappel, cette limite **s'explique par le design initial de l'étude** avec une part d'incertitude résiduelle sur la capacité de la station « kayak » à détecter tous les passages de truites par la rivière à canoës, quelles que soient les conditions de débits.

Ceci étant, au total, **23 franchissements de seuil** ont pu être retenus pour réaliser ces analyses (Tableau 7). Elles concernent le franchissement du seuil **par 16 truites différentes**.

Le franchissement le plus rapide est alors estimé à 34 minutes (détection entre la station « Kayak » et la station « Boules ») et le plus long à près de 18h (errance de quelques poissons entre la station « Kayak » et la station « Boules », soit à l'intérieur de la rivière à canoës, soit directement en amont du seuil). **En moyenne, la durée de franchissement peut être estimée à 5h43 (médiane calculée à 4h30).**

Tableau 7 : Description des 23 franchissements retenus pour la suite des analyses.

Fréquence	Dernière détection aval		Première détection amont		Temps franch.	Débit par franch. (l/s)			
	Station	Time	Station	Time		Min	Max	Moy	ET
48080	Kayak	09/10/2020 06:00	Boules	09/10/2020 19:57	13:57:00				
48190	Kayak	08/10/2020 18:55	Boules	08/10/2020 21:27	02:32:00				
48260	Kayak	08/12/2020 15:34	Boules	09/12/2020 02:50	11:16:00	3 300	49 000	25 915	18 430
48260	Kayak	09/03/2021 12:23	Boules	09/03/2021 14:35	02:12:00	53 200	54 000	53 575	350
48260	Kayak	14/04/2021 16:39	Boules	14/04/2021 21:58	05:19:00	3 250	3 380	3 333	43
48300	Kayak	29/11/2020 12:10	Boules	29/11/2020 16:40	04:30:00	3 740	41 800	23 863	16 728
48352	Kayak	31/10/2020 12:20	Boules	31/10/2020 16:51	04:31:00				
48372	Parking	13/10/2020 07:00	Boules	14/10/2020 00:22	17:22:00				
48420	Kayak	14/11/2020 14:53	Boules	14/11/2020 16:29	01:36:00	41 800	42 700	42 325	386
48667	Parking	11/10/2020 05:22	Boules	11/10/2020 23:26	18:04:00				
48691	Parking	12/10/2020 07:55	Boules	12/10/2020 12:33	04:38:00				
48770	Kayak	28/10/2020 11:01	Boules	28/10/2020 16:39	05:38:00				
49103	Kayak	29/10/2020 07:09	Boules	29/10/2020 17:22	10:13:00				
49103	Kayak	08/11/2020 06:54	Boules	08/11/2020 17:17	10:23:00	3 440	4 540	4 143	415
49113	Kayak	08/03/2021 05:55	Boules	08/03/2021 07:48	01:53:00	30 600	48 600	41 675	8 375
49113	Kayak	18/07/2021 20:50	Boules	18/07/2021 22:20	01:30:00	2 210	2 300	2 248	41
49133	Parking	06/11/2020 13:18	Boules	06/11/2020 13:52	00:34:00	30 200	30 200	30 200	
49133	Parking	12/11/2020 07:57	Boules	12/11/2020 08:52	00:55:00	5 610	22 000	13 805	11 589
49145	Kayak	20/11/2020 14:52	Boules	20/11/2020 16:39	01:47:00	3 050	20 600	15 713	8 494
49145	Kayak	22/11/2020 14:01	Boules	22/11/2020 15:59	01:58:00	20 300	21 100	20 700	400
49145	Kayak	26/11/2020 15:48	Boules	26/11/2020 18:53	03:05:00	3 050	30 000	20 710	11 027
49173	Parking	14/06/2021 03:01	Boules	14/06/2021 09:35	06:34:00	3 170	3 670	3 391	186
49193	Kayak	01/11/2020 02:21	Boules	01/11/2020 03:38	01:17:00	3 390	3 540	3 440	87

La rivière à canoës **n'étant pas un dispositif conçu pour cibler les franchissements piscicoles**, il n'est pas opportun de comparer les temps de franchissement de cet ouvrage à ceux mesurés sur des passes à poissons classiques. En effet, les passes à poissons sont dimensionnées pour attirer le poisson au sein de l'ouvrage puis ensuite le forcer à le franchir le plus rapidement possible. Ainsi, les temps de franchissements sur les passes à poissons correctement conçus sont généralement assez courts. Par exemple, une étude sur le Drac (barrage du saut du Moine) réalisée sur une passe à bassins successifs à doubles fentes verticales composée de 15 bassins a montré **que la majorité des temps de franchissement par la truite était inférieurs à 1 heure**. A Vinon-sur-Verdon, les conditions hydrauliques rencontrées par les truites au sein de la rivière à canoës **ne les forcent pas à la franchir dans un temps raccourci**. Ce qui implique qu'on va davantage observer ici une diversité de comportements de franchissement, avec des individus allant très vite dans l'ouvrage, et d'autres étant capables d'y passer plusieurs heures.

Ainsi, il ne peut être conclu que la truite ayant mis 18 heures à franchir ait éprouvé plus de difficulté à franchir la rivière à canoës que la truite l'ayant franchi en 34 minutes ! Une fois ce constat posé, la question pourrait être : **est-ce qu'un temps de franchissement long est plus préjudiciable pour la truite de rivière qu'un temps court ? La réponse serait plutôt vers le négatif** dans notre cas de figure. Premièrement, les temps de franchissement restent modérés, autour de 4 à 5h, et la truite de rivière est beaucoup **moins contrainte par une horloge biologique** que d'autres espèces piscicoles amphihalines dont la migration génésique doit se réaliser sur un temps court. Deuxièmement, les conditions hydrauliques dans la rivière de canoës **sont « confortables » pour la truite**, ce qui signifie que lorsqu'elle y passe plusieurs heures, elle ne va pas s'épuiser ou dépenser beaucoup d'énergie, à l'inverse de si elle était en transit dans une passe à poissons classiques avec des conditions plus « sportives ».

La variabilité des temps de franchissement **témoigne donc davantage de différences comportementales chez la truite plus que de facilités/difficultés à négocier le franchissement de la rivière à canoës**. Et les franchissements infrajournaliers observés laissent à penser que lorsque les truites sont décidées, elles **ne semblent pas éprouver de difficultés particulières à la franchir**.

Concernant les voies de passage, le design de l'étude ne permet pas de fournir une description robuste et incontestable des résultats. Ceci étant, **sur les 23 franchissements étudiés, 17 d'entre eux (soit >74 %) ont été réalisés via la rivière à canoës**. Ce résultat **constitue de plus un minimum** dans la mesure où les récepteurs radio de la station « kayak » ont connu une courte période de dysfonctionnement juste après les marquages et que certains de ces franchissements ont eu lieu au moment de ce dysfonctionnement (2 à 3 franchissements concernés). Parallèlement, dans la mesure où durant les 15 mois de suivi, aucune crue naturelle du Verdon n'a été enregistrée, **les franchissements directs par le seuil peuvent être considérés impossibles** compte-tenu de la hauteur de chute totale, du pendage du seuil et de la hauteur de la lame d'eau déversante. Les 6 franchissements non-détectés à « kayak » s'expliquent probablement par le fait que les truites ont franchi la rivière à canoës dans des conditions où **leur détectabilité par l'antenne immergée était moins efficace** (restitution au max notamment).

3.3.2 Influence possible du débit

Dans un premier temps, nous avons estimé **les conditions hydrologiques du Bas-Verdon durant la période délimitée par la dernière détection en aval du seuil et la première enregistrée en amont**. Pour chaque franchissement caractérisable (n=23), nous avons donc pu calculer quelques statistiques hydrologiques qui encadraient ce franchissement. A noter que pour certains franchissements (8/23), **aucune donnée hydrologique n'était malheureusement disponible** (entre le 1^{er} et le 31 octobre ; défaillance de la station hydrologique).

Suivant le Tableau 7, on observe **3 patterns de franchissement** selon les valeurs de débit :

- Le premier (**données surlignées en orange**) présente des franchissements réalisés **exclusivement au débit réservé** (<4000 l/s de manière stabilisée) et concerne 5/15 individus.
- A l'inverse, le second pattern (**données surlignées en bleu clair**) présente des franchissements réalisés à des **débits élevés, proche du débit de restitution du canal** (>20000 l/s, de manière stabilisée) et concerne 5/15 individus.
- Le troisième pattern concerne des individus qui ont franchi le seuil lors **d'une modification des conditions hydrologiques** du Bas-Verdon (**baisses ou hausse du débit**), avec un passage du débit réservé à celui de restitution du canal ou inversement.

Considérant ces derniers résultats, **il n'apparaît pas que l'hydrologie du Bas-Verdon explique de manière certaine le déclenchement ou non d'un franchissement chez les truites étudiées**. De la même manière, on ne constate pas d'influence de la gamme de débit enregistrée sur les caractéristiques des franchissements, notamment en termes de temps. Néanmoins, la faible quantité de données utilisée pour cette analyse (15 franchissements) nous impose de **rester vigilant sur une généralisation de ces conclusions**. En particulier, ces analyses n'intègrent pas l'évaluation du franchissement de l'ouvrage **pour des débits supérieurs au maximum des restitutions** (crues naturelles et/ou déversés au barrage d'Esparron), ces débits n'ayant pas été rencontrés au cours de 15 mois de suivi.

4. ÉVALUATION DE LA FRANCHISSABILITÉ DU SEUIL DE VINON

À la suite de l'analyse détaillée des franchissements caractérisés à l'aide du dispositif de radiotélémetrie, nous pouvons plus finement évaluer la franchissabilité du seuil de Vinon pour les truites du Verdon :

- En considérant l'effectif de truites ayant franchi le seuil et les tailles des individus marqués, le **franchissement du seuil de Vinon semble pleinement réalisable** pour les truites ayant une taille comprise entre 30 et 53 cm. Les individus plus petits n'ayant pas pu être marqués (ratio taille du poisson/taille de l'émetteur), il nous est impossible de valider ce constat pour des truites <30 cm. Les enjeux de montaison pour ces cohortes de taille apparaissent néanmoins négligeables à ce jour.
- **Ni l'origine des truites étudiées, ni la taille** n'ont d'influence sur les comportements de franchissements et leur caractérisation fine ;
- A noter qu'en considérant les données disponibles, il n'est **pas possible de préciser les raisons exactes du non-franchissement des 29 truites jugées comme telle**. Aucune variable considérée (taille, origine des poissons ou débit) ne permet de caractériser ce non-franchissement. Cet état de fait doit être remis en perspective de la part d'individus mobiles à la montaison observé en moyenne chez les populations de truite sauvages méditerranéennes.
- On constate qu'une quantité importante des truites ayant franchi le seuil (45%) l'ont fait **plus d'une fois au cours du suivi téléométrique**. Au-delà de la notion de franchissabilité, on relèvera donc que le seuil de Vinon est **un obstacle qui n'entrave que peu l'utilisation des habitats piscicoles locaux**. Les truites locales (tout le moins celles suivies) exploitent le Bas Verdon autour du seuil de Vinon avec peu d'entraves à la continuité ;
- L'hypothèse de travail était que **les bas débits** (sous-entendu la valeur du débit réservé) **favorisaient le franchissement du seuil** puisque susceptibles de présenter des conditions hydrauliques locales facilitant le passage vers l'amont. A cette hypothèse, les résultats obtenus apportent des réponses contrastées :

- Il semble tout d'abord que les truites peuvent franchir le seuil de Vinon à **des débits variés (hors crues)**, sans que nous ayons la capacité de préciser une gamme hydrologique facilitant le franchissement.
- On notera que des passages ont été enregistrés **pour des débits >48m³/s**, suggérant que l'hydraulique locale est toujours favorable à ces débits pour franchir le seuil. Pour un débit >52 m³/s (débit journalier moyen maximal enregistré durant le suivi), nous ne pouvons pas confirmer ce résultat, ces conditions n'ayant pas été rencontrées durant les 15 mois de suivi ;
- Les franchissements semblent avoir lieu **très majoritairement par la rivière à canoës** (hors crues) ;
- Finalement, dans ces aléas hydrologiques du Bas Verdon, il semble que les truites trouvent **assez facilement des conditions de passage suffisantes pour franchir l'obstacle, sans que celles-ci ne soient bloquées longtemps en aval de ce dernier pour des raisons d'incompatibilité hydrauliques locales**. En cela, bien que les modulations rapides et très contrastées du débit ne soient pas une gestion adaptée au maintien des populations piscicoles, il semble que celles-ci ne soient pas un problème pour le franchissement du seuil du Vinon, par les truites du Bas Verdon.
- Enfin, nous constatons que le franchissement du seuil est réalisé un peu **toute l'année, sans distinguer de réelles périodes de pics de passage**. Ceci semble corroborer le fait que les truites exploitent localement les habitats piscicoles disponibles, de part et d'autre du seuil, sans que ce dernier n'entrave clairement les comportements individuels.

5. LIMITES DE L'ÉTUDE

5.1 Contraintes d'analyses liées au design télémétrique

La mise en place du dispositif d'étude sur le Bas Verdon a constitué un important design technique, avec des contraintes locales telles que **l'absence d'alimentation électrique** et la forte exposition au **risque de vandalisme**.

En parallèle, il a fallu concilier l'utilisation **d'émetteur de petite taille** (vis-à-vis des tailles des truites à marquer) sur **une rivière de grand gabarit**, qui nécessitait donc des distances de détectabilité importantes.

L'intégration de ces différentes contraintes a conduit à poser **2 limites de l'étude**, dès le design initial :

- L'impossibilité de marquer les cohortes inférieures à 2+ ;
- L'impossibilité de disposer d'une description sans faille des voies de passage, sans risque de confusion malgré la grande proximité de la rivière à canoës et du seuil.

La première limite n'était pas levable car le marquage des 0+ et 1+ aurait impliqué la nécessité de **travailler avec la technologie RFID** et il n'était techniquement pas envisageable de poser des antennes capables de détecter les truites sur **des distances aussi importantes**.

La seconde limite aurait nécessité de multiplier le déploiement de récepteurs sur site, avec par exemple **la mise en place d'antennes immergées en pied de seuil**. Le budget alloué à la présente étude est déjà conséquent, à la fois pour le maître d'ouvrage mais aussi par rapport aux enjeux posés. Il n'aurait donc pas été opportun d'augmenter encore significativement ce budget pour apporter cette réponse qui a été jugée d'intérêt secondaire ; l'essentiel ayant été de **pouvoir décrire la franchissabilité globale de cet ouvrage**.

Par ailleurs, il a également été souligné dans les analyses certaines difficultés inhérentes aux fausses détections enregistrées sur les récepteurs reliés à une antenne aérienne (station « Boules » en particulier). Ces difficultés témoignent des **limites technologiques** de l'outil face, à nouveau, aux nombreuses **contraintes environnementales et techniques**. Le choix de la fréquence d'émission (30 ppm) semble en bonne partie expliquer le problème des fausses détections. Mais ce choix a été motivé car il permettait d'**augmenter significativement la durée de vie de la batterie interne**, et donc la durée du suivi des truites marquées (pour couvrir 2 périodes de mobilité pré-reproduction). Aussi, pour réduire ce risque, il aurait fallu la configuration suivante, avec **son lot de propres limites** :

- Utiliser des émetteurs en **40 ppm** (moins sensible au bruit mais autonomie réduite !)
- Augmenter la **durée de scan** pour fiabiliser les détections (augmentation du risque de louper des poissons !)
- Réduire le nombre de **fréquences scannées par poste** -> donc marquer moins de poissons (impact sur la robustesse statistique du jeu de données) ou équiper 3 récepteurs par station fixe (impact sur le budget).

Enfin, le design mis en place **n'a pas permis d'établir un diagnostic robuste du devenir des 29 truites n'ayant pas été détectées en amont du seuil**. Un tel diagnostic aurait une fois encore impliqué une augmentation du budget du projet qui n'était pas souhaitable. C'est ainsi que nous avons privilégié **d'axer notre expertise sur les franchissantes**, ce qui reste une approche « classique » dans le cadre d'étude de franchissabilité d'ouvrages sur des espèces holobiotiques comme la truite de rivière. Par ailleurs, **les non-franchissantes ne se distinguent en rien des franchissantes** (taille, poids, origine, qualité du marquage), ce qui permet de minimiser encore davantage cette limite de l'étude.

5.2 Absence d'évaluation de l'effet de la thermie de l'eau

L'intégration de ce paramètre **ne constituait pas une priorité du cahier des charges initial** de l'étude. L'implantation des sondes enregistreuses a donc suivi le schéma classique que ce soit en termes de matériel utilisé ou de choix du nombre de stations et de leur emplacement spatial.

A posteriori, nous devons faire le constat que des différences significatives ont été observées entre les sondes placées en aval de la restitution EDF et celles placées en amont. Ce constat traduit un **contraste entre la thermie en régime de débit réservé et la thermie pour laquelle vient s'ajouter des restitutions**. Le pas de temps auquel se joue ces modifications est infrajournalier. Et l'échelle spatiale à laquelle se caractérise ces modifications ne peut être caractérisée **compte-tenu des choix techniques pour suivre ce paramètre**.

Dans les grandes lignes, nous avons vu que le paramètre « thermie », **au sens des grandes valeurs théoriques du métabolisme de la truite de rivière**, ne semble pas aujourd'hui constituer **un paramètre structurant des populations de truites du Bas Verdon, en aval des restitutions EDF**. Mais au vu des modifications infrajournalières sus évoquées, il est en revanche certain que cela a des implications sur le comportement des truites, et plus globalement sur le fonctionnement de l'hydrosystème Bas Verdon. Cet effet sur le comportement **ne peut être analysé et décrit à partir des données produites par la présente étude**.

Nous considérons néanmoins qu'il s'agit là d'une **caractéristique singulière du fonctionnement de cet hydrosystème** et qu'**une étude dédiée**, permettant de décrire les effets sur la population de truites en place, **aurait tout son intérêt**.

6. CONCLUSION

A l'issue de ces 15 mois d'étude télémétrique sur un échantillon de 49 truites de rivières du Bas Verdon, il a pu être démontré que **la rivière à canoës du seuil de Vinon-sur-Verdon s'apparente à un dispositif franchissable par conception, et ce quel que soit le régime hydrologique rencontrée durant l'étude** (hors crue naturelle).

Ainsi, **41% des truites marquées ont franchi le seuil** au moins une fois durant le suivi, la majorité des franchissements ayant lieu **à l'automne (80%) et en empruntant la rivière à canoës (74%)**.

Ni l'origine des truites (ava/amont), **ni leur taille** ne semble jouer sur les résultats de franchissements. De la même façon aucune différence n'est observée entre le lot de truites ayant franchi le seuil **et celui ne l'ayant pas franchi**.

Aussi, en l'état actuel du seuil de Vinon-sur-Verdon et de sa rivière à canoës, il peut être considéré que ce dernier permet de contribuer fortement à son franchissement par la population de truites en place (sub-adultes et adultes), **espèce cible sur le Bas Verdon**. Cette conclusion est renforcée par les résultats en parallèle des analyses génétiques qui ne révèlent **aucune structuration entre les populations de truites échantillonnées en aval et amont de l'ouvrage** ; témoignant ainsi de flux de gènes effectifs et donc de **contacts réguliers, en montaison comme en dévalaison** entre ces populations.

La rivière à canoës présente toutefois **des signes d'instabilité** qui conduiront vraisemblablement à la **réalisation de travaux** dans un avenir plus ou moins proche. Il conviendra alors *a minima* de **ne pas dégrader les conditions actuelles de franchissabilité** et, en fonction des ambitions locales, d'intégrer des enjeux écologiques complémentaires comme **la présence des cyprinidés rhéophiles** (barbeau fluviatile, blageon), **du chabot et potentiellement de l'apron du Rhône**. Se posera alors la question de **la faisabilité technique de la bonne intégration de ces enjeux**, la faisabilité technique n'étant *a priori* pas démontrée à ce jour.

Parallèlement, d'autres enjeux méritent d'être également approfondis sur le secteur d'étude, et prioritairement, une meilleure appréciation des **effets des éclusées infrajournalières sur le fonctionnement de l'hydrosystème** (thermie en priorité) et **les populations de truites** en place (réussite de la reproduction, survie/croissance des jeunes stades, ...).

7. ANNEXES

7.1 Autorisations de marquage



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR,
DE LA RECHERCHE ET DE L'INNOVATION

Paris, le 3 mars 2020

Objet : Notification de décision relative à l'autorisation de projet utilisant des animaux à des fins scientifiques

**Direction générale de la
recherche et de l'innovation**

Service de la performance,
du financement et de la
contractualisation avec les
organismes de recherche

Département des pratiques de
recherche réglementées

Cellule Animaux utilisés à des
Fins Scientifiques - AFIS -

Affaire suivie par
Véronique Delassault
Responsable administrative
de la cellule AFIS

Tél : 01 55 55 97 27
veronique.delassault
@recherche.gouv.fr

autorisation-projet
@recherche.gouv.fr

1 rue Descartes
75231 Paris Cedex 05

En application des dispositions du code rural et de la pêche maritime, notamment ses articles R.214-87 à R.214-126, le projet :

- référencé sous le numéro APAFIS#24179-2020012616478141 v3
- ayant pour titre : Evaluation de la continuité piscicole pour la truite commune dans un grand cours d'eau méridional et ses principaux affluents
- déposé par l'établissement utilisateur : SCIMABIO Interface, numéro d'agrément B741589, dont le responsable est Monsieur Arnaud CAUDRON,
- et dont la responsabilité de la mise en œuvre générale du projet et de sa conformité à l'autorisation est assurée par : Monsieur Arnaud CAUDRON, Monsieur Alexandre RICHARD,

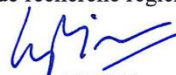
est autorisé.

L'autorisation de projet est accordée, sous réserve de la validité de l'agrément de l'établissement utilisateur, pour une durée de 5 ans à compter de la présente notification.

Le projet précité a été évalué sur le plan éthique par le comité d'éthique en expérimentation animale n°015 et a reçu un avis favorable.

Ce projet n'est pas soumis à l'obligation d'une appréciation rétrospective à l'issue de sa réalisation.

Pour la ministre et par délégation
le chef du département
des pratiques de recherche réglementées



Laurent PINON

Monsieur Arnaud CAUDRON
SCIMABIO Interface

AVIS DU COMITÉ D'ÉTHIQUE

(à transmettre au secrétariat autorisation de projet :
autorisation-projet@recherche.gouv.fr)

Date 27/02/2020

Référence du dossier :# 24179-2020012616478141-V3

Titre du Projet : Evaluation de la continuité piscicole pour la truite commune dans un grand cours d'eau méridional et ses principaux affluents

1- Avis éthique sur le projet : ☒ Favorable
☐ Défavorable

Motif(s) en cas d'avis défavorable :

2- Proposition de reclassement des procédures expérimentales selon le degré de gravité indiqué par le responsable de projet : ☐ oui ☒ non

Procédure(s) reclassée(s) et proposition de reclassement :

- o procédure n° :
- reclassement :

(le bloc Procédure(s) reclassée(s) et proposition de reclassement est à reproduire le cas échéant)

3- En application de l'article R.214-120 du décret n°2013-118 du 1^{er} février 2013, le projet devra t'il bénéficier d'une appréciation rétrospective à l'issue de sa réalisation : ☐ oui ☒ non

4- Le cas échéant (cf point 4.3 du dossier), avis sur la réutilisation d'un animal pour autant que l'animal n'ait pas été utilisé, préalablement à ce projet, plus d'une fois dans une procédure expérimentale entraînant une douleur intense, de l'angoisse ou une souffrance équivalente (article R.214-113 du décret n°2013-118 du 1^{er} février 2013) :

☐ Favorable ☐ Défavorable

Motif(s) en cas d'avis défavorable :

CECCAPP N°CEO15, M. Bernard
VERRIER, Président du Comité

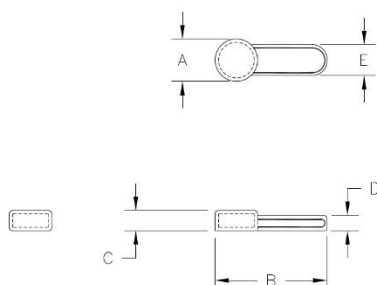


7.2 Spécifications des émetteurs utilisés



FISH BODY IMPLANT

Series F1100



Technical Specifications

Transmitter type:	Crystal controlled 2-stage
Calibration tolerance:	±2.5kHz
Frequency stability:	±2.5kHz, -20°C to 40°C
Pulse rate and width:	Typical on time 20ms, off time 1100ma (controlled by astable circuit)
Pulse rate variation:	5%/volt, ± 20% for temperatures -20°C to +40°C
Battery:	Silver Oxide
Activation:	By removing magnet
Encapsulation:	Electrical resin, water-proof, specific gravity: 1.12

MODEL	BATTERY	BATTERY CAPACITY (days)			DIMENSIONS (mm)					WEIGHT (grams)	PRICE GROUP
		30 ppm*	40 ppm	55 ppm	A	B [◇]	C	D	E		
F1150	389	198	116	85	14	24	5	5	12	3.1	B
F1170	357	441 ⁺	258	189	14	24	7	7	12	4.0	B

* 15 ms pulse width.

[◇] For low frequency models, dimension B is 34mm.

⁺ Factors other than battery capacity may reduce life.

Warranty life is 50% of battery capacity.

470 First Ave. NW • Isanti, MN 55040
 763.444.9267 • fax: 763.444.9384 • sales@atstrack.com • www.atstrack.com

04/04/17