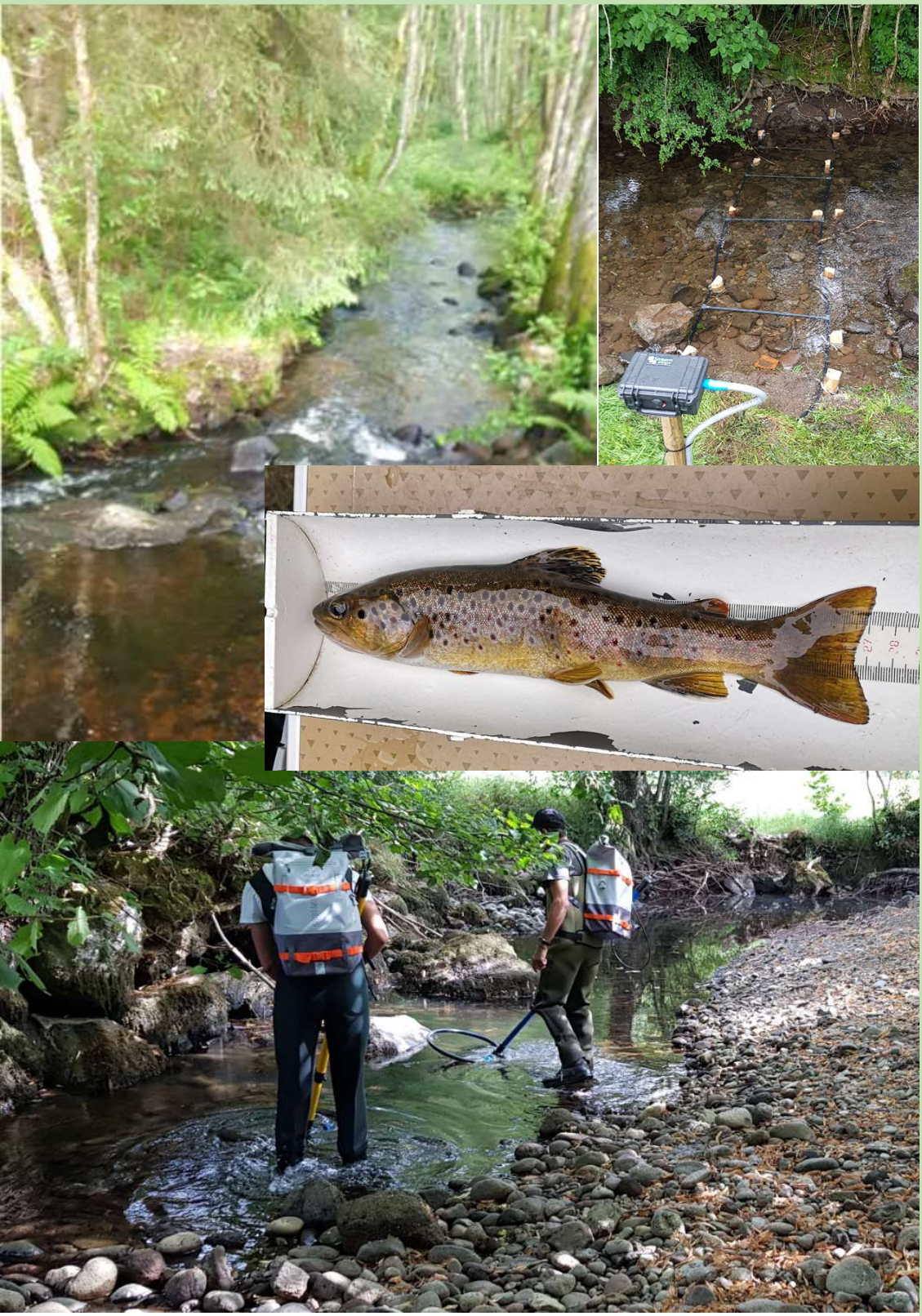
ETUDE DU COMPORTEMENT DE POPULATIONS DE TRUITE COMMUNE (*Salmo trutta*) EN PERIODE DE FORT STRESS HYDRIQUE



La Région Auvergne-Rhône-Alpes

eau GRAND SUD-OUEST AGENCE DE L'EAU ADOUR-GARONNE

EDF

15 FÉDÉRATION DÉPARTEMENTALE PÊCHE

RÉSUMÉ

La récurrence d'étiages sévères depuis le début du 21ème siècle induit de profonds bouleversements dans la dynamique et la répartition des espèces piscicoles. La truite commune, de par ses exigences physiologiques et écologiques, doit faire face à des conditions environnementales de moins en moins favorables induisant une régression de son aire de répartition et de l'état de ses populations y compris dans le Massif Central.

La Fédération du Cantal pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique a mis en œuvre durant l'été 2020 une étude comportementale de deux populations de truite commune via l'utilisation de la technologie RFID. 185 individus ont été équipés de transpondeurs de type Pit-Tag de 12 à 23 mm. Le suivi de leurs déplacements a été réalisé via des stations d'enregistrement fixes, et également via 19 prospections à l'aide d'antennes RFID mobiles. Le suivi des déplacements des individus sur les cours d'eau du Tact et de la Bertrande de juin à septembre, en parallèle du suivi de paramètres abiotiques, ont permis de réaliser diverses observations :

- Les conditions de débit et de température sur la Bertrande ont été limitantes pour la truite commune du 21 juillet au 30 août, avec des situations d'assec et de rupture d'écoulement sur l'amont de la station d'étude.
- Sur le Tact la thermie a été défavorable sur une courte période (1 semaine) fin juin et a atteint au cœur de l'été des températures moyennes journalières proches des 19°C. Les conditions de débit ont été limitantes et structurantes pour les espèces piscicoles du 5 au 28 août. Les conditions de débit et de température sont ici étroitement liées à la gestion du débit réservé du Tact et des fuites de la digue de Lastioulles.
- Pour les deux sites, l'évolution des détections des individus à l'échelle des tronçons a été peu variable dans le temps, du fait d'un faible déplacement des individus d'un tronçon à l'autre au cours de la période d'étiage. **La proportion d'individus redétectés par tronçon est à ce titre similaire à la proportion des individus marqués sur chaque tronçon, et donc de la répartition naturelle initiale de chacune des populations**
- La majorité des individus de chaque population n'exerce pas de déplacement significatifs durant la phase d'étiage et se rapprochent progressivement des zones favorables à leur survie les plus proches de leur habitat pré-étiage.
- Les individus se déplaçant sur de grandes ou faibles distances se regroupent dans certains types de zones : **profonds ombragés présentant des surfaces d'habitats importantes, arrivées de sources d'eau fraîche.**
- Les individus migrant sur la Bertrande sont principalement des 1+, quelques individus de 3/4 ans se déplacent significativement également mais en moindre proportion. Toutes les classes d'âge sont concernées sur le Tact. **Il ne semble pas y avoir de corrélation entre la taille des individus et leur distance de déplacement**.
- Les déplacements ont été effectués principalement fin juillet sur la Bertrande, et début août sur le Tact
- **Des proportions non négligeables de chacune des deux populations de truites communes étudiées (43,5% sur le Tact, 11,3% sur la Bertrande) ont exercées des déplacements vers l'amont et/ou vers l'aval jugés significatifs avec un changement d'habitat au cours de l'étiage**. Les déplacements durant cette période ont été réalisés dans des conditions de très faibles débits et donc des conditions de franchissabilité des radiers et obstacles peu favorables.
- Une **grande proportion d'individus semble se regrouper progressivement dans des zones favorables les plus proches de leur habitat occupé avant l'étiage**.
- Malgré des conditions d'étiage sévères la mortalité paraît contenue.
- Plusieurs hypothèses sur les facteurs de déclenchement des comportements de déplacement significatifs :
    - **Compétition pour les habitats**, provoquant des mouvements principalement des juvéniles,
    - **Température défavorable pour la survie**, provoquant des déplacements de toutes les classes d'âge y compris des individus adultes ayant des besoins physiologiques supérieurs,
    - **Une connaissance du milieu avec des déplacements ciblés** (déplacement vers le faciès profond le plus important du secteur sur le Tact par exemple).

SOMMAIRE

INTRODUCTION 1

1. METHODOLOGIE 2

1.1. LES SITES D'ETUDE 2

1.2. MISE EN ŒUVRE DE L'ETUDE COMPORTEMENTALE 3

1.2.1. PREALABLES REGLEMENTAIRES ET ADMINISTRATIFS 3
1.2.2. CARACTERISATION DES HABITATS 3
1.2.3. SUIVI DE L'EVOLUTION DE PARAMETRES ABIOTIQUES CLES : TEMPERATURE ET DEBIT 5
1.2.4. ENREGISTREMENT EN CONTINU DES DEPLACEMENTS DES INDIVIDUS VIA DES STATIONS RFID FIXES 5
1.2.5. MARQUAGE DES INDIVIDUS 6
1.2.6. REALISATION DE TRACKINGS MOBILES 8
1.2.7. TRAITEMENT ET BANCARISATION DES DONNEES 9
1.2.8. ANALYSE DES DONNEES 9

2. LES RESULTATS 11

2.1. CONDITIONS THERMIQUES ET HYDROLOGIQUES 12

2.2. NOMBRE D'INDIVIDUS DETECTES ET CHRONIQUE 14

2.3. LOCALISATION DES INDIVIDUS AU COURS DU TEMPS 17

2.4. COMPORTEMENTS OBSERVES 22

2.5. COMPORTEMENT, TEMPERATURE ET HABITATS 24

CONCLUSION 26

INTRODUCTION

Le réchauffement climatique actuel induit de nombreuses modifications des paramètres régissant le fonctionnement des hydrosystèmes et de leurs biocénoses : modifications de l'état physicochimique de l'eau, modification des régimes hydrologiques, diminution des habitats disponibles à l'étiage, diminution de l'effet de dilution, modification des aires de répartition des espèces... Les espèces sténothermes d'eau froide telles que les salmonidés sont en première ligne face à ces changements. Dans le rapport « Les poissons d'eau douce à l'heure des changements climatiques : état des lieux et pistes pour l'adaptation » » (ONEMA, 2014), une diminution d'1/3 de l'aire de répartition de la truite commune en France à l'horizon 2070 avec un resserrement vers les têtes de bassin des massifs montagneux est envisagée.

Le saviez-vous ? La truite commune *Salmo trutta* présente des particularités morphologiques propres à chaque bassin versant descendant des Monts du Cantal, résultat de la sélection naturelle depuis la dernière glaciation il y a 10000 ans ! On distingue 4 groupes morphologiques principaux au sein desquels des particularités sont également observées : les truites du bassin du Célé, les truites du bassin de la Truyère, celles du bassin de la Dordogne (avec une tendance morphologique Cère et une tendance Maronne), et celles du bassin de l'Alagnon.

Certains cours d'eau du Cantal, notamment en tête de bassin versant, sont touchés de plus en plus régulièrement par des ruptures d'écoulement ou des assecs depuis le début des années 2000. La truite commune est une espèce naturellement présente sur l'ensemble du réseau hydrographique cantalien, du ruisseau de 50 cm de large au pied du Plomb du Cantal à la rivière de 50 m de large. Les effets cumulés des sécheresses récurrentes induisent depuis une bonne vingtaine d'années des modifications de sa dynamique et de sa répartition. En effet, les cours d'eau descendants des Monts du Cantal sont sensibles aux assecs en lien avec la quasi-absence de stocks d'eau souterraine en dehors des zones humides de surface.

Devant cette problématique grandissante pour les milieux aquatiques, la Fédération du Cantal pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique (FDPPMA) a décidé d'initier en 2020 une étude destinée à observer et mieux comprendre le comportement des truites communes pendant ces épisodes de sécheresse (déplacement des individus, facteurs déclencheurs, survie, croissance, zones refuges), mais aussi suite à ces dernières afin d'observer différents aspects de la dynamique de l'espèce (recolonisation, migration pré et post-sécheresse, reproduction). La truite commune, espèce endémique symbole des cours d'eau cantaliens, est en première ligne de l'effet de ces changements climatiques et un véritable marqueur de la santé des hydrosystèmes. Peu d'études comportementales ayant été menées sur cette phase du cycle hydrologique annuel, et confronté à la multiplication des ruptures d'écoulement et la nécessité de mettre en œuvre des opérations de pêche de sauvetage, il est apparu nécessaire de travailler sur cette problématique. Pour mener à bien cette mission, la Fédération a pris attache du bureau d'étude SCIMABIO Interface, spécialisé dans la mise en œuvre de ce type d'étude et présentant de nombreuses références sur le sujet.

In fine, observer et comprendre les comportements de l'espèce durant cette phase d'étiage a de multiples objectifs : adapter la gestion piscicole, optimiser les opérations de restauration de la fonctionnalité des milieux aquatiques, faire émerger de nouvelles expérimentations complémentaires. De même, cette étude peut constituer un socle pour la sensibilisation des décideurs institutionnels et politiques à une gestion adaptée des milieux aquatiques.

Ce document est une note de synthèse de l'étude comportementale menée de 2020 à 2021 par la FDPPMA15. Il a pour vocation à être diffusé, utilisé, complété par d'autres études et commenté.

Référence à citer :

FDPPMA15, SCIMABIO interface, 2020. « *Etude du comportement de populations de truite commune (Salmo trutta) en période de fort stress hydrique* – note de synthèse »

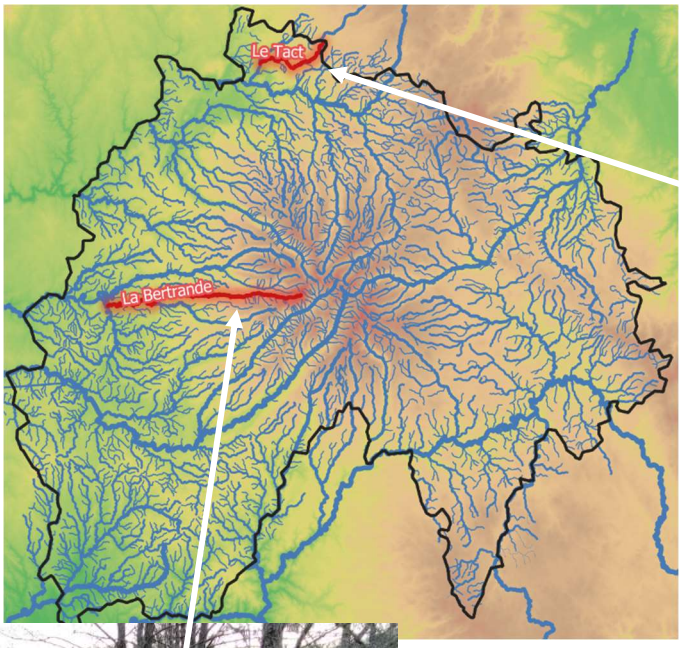
1. METHODOLOGIE

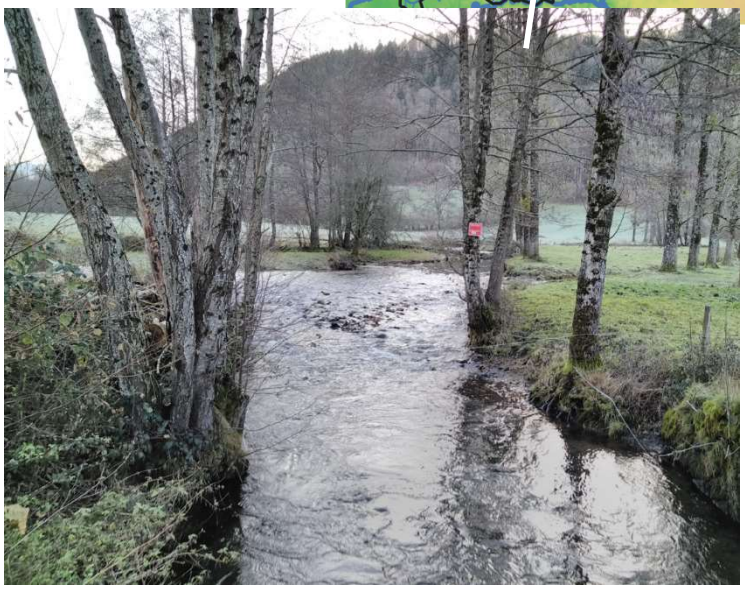
1.1. LES SITES D'ETUDE

Pour mener à bien cette étude, deux sites ont été retenus, chacun présentant des fonctionnements hydrologiques différents, mais tous deux récemment affectés par des débits d'étiage très faibles avec des ruptures d'écoulement ou des assecs totaux ou partiels observés de 2015 à 2020. Ces sites sont jugés représentatifs d'autres sites présentant les mêmes problématiques dans le Cantal.

Site n°1 : La Bertrande, affluent de la Maronne, est un cours d'eau au régime pluvio-nival globalement en bon état, caractérisée par un peuplement piscicole conforme et s'écoulant dans une vallée glaciaire en auge. En partie intermédiaire de son cours, sa pente diminue fortement sur une zone de transition entre des gorges situées en tête de bassin et en aval de son cours, correspondant à la limite du socle volcanique. Le sous-sol de ce secteur est constitué d'accumulation de dépôts glaciaires et alluvionnaires favorisant l'infiltration des eaux de surfaces, et donc des ruptures d'écoulement lorsque la Bertrande présente des débits très faibles. Le site d'étude mesure 1,8 km et est situé sur la commune de Saint-Chamant, débutant au niveau du lieu-dit Cors jusqu'au lieu-dit Lavergne.

Site n°2 : Le Tact, affluent de la Tarentaine, est un cours d'eau au régime naturel initial pluvio-nival, mais aujourd'hui presque entièrement en régime artificialisé du fait de la construction d'un barrage hydroélectrique sur l'amont de son bassin. La restitution d'un débit réservé est appliquée en aval du barrage, avec toutefois des périodes d'impossibilité de restitution du fait d'un niveau d'eau trop faible dans la retenue. Des assecs et ruptures d'écoulement ont été également observés sur la moitié supérieure du cours du Tact entre 2015 et 2020. Ce cours d'eau héberge un peuplement piscicole altéré fortement influencé par l'hydrologie artificialisée. Le site mesure 600 ml et est situé sur la commune de Champs-sur-Tarentaine-Marchal au niveau du lieu-dit Le Jagounet.





1.2. MISE EN ŒUVRE DE L'ETUDE COMPORTEMENTALE

L'étude a été menée de mai à novembre 2020, avec un suivi du déplacement des individus du 11 juin au 30 novembre. L'installation et le marquage ont été réalisés avec l'aide du bureau d'étude SCIMABIO Interface et de l'AAPPMA de Pleaux.

1.2.1. PREALABLES REGLEMENTAIRES ET ADMINISTRATIFS

Le personnel technique de la Fédération a suivi une formation RFID HDX dispensée par SCIMABIO Interface en novembre 2019 (conception, utilisation et exploitation des données via la technologie RFID HDX adaptée aux études piscicoles).

La mise en œuvre de ce type de protocole nécessite une habilitation en expérimentation animale. Une formation « Expérimentation animale – Application de procédures expérimentales – module Poissons » a été suivi par 2 personnes de l'équipe du pôle technique de la Fédération.

En parallèle, le dépôt d'un dossier de demande de projet en expérimentation animale a été rédigé avec l'aide de N. Boidin de l'ARPARA (habilitation « concepteur » en expérimentation animale) et présenté à un Comité d'Ethique en Expérimentation Animale et transmis au Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche. Le Ministère a autorisé en date du 10 avril 2020 la mise en œuvre de ce projet.

1.2.2. CARACTERISATION DES HABITATS

Afin de mieux appréhender les comportements des individus, il est nécessaire de connaître et suivre les habitats présents et l'évolution des facteurs biotiques et abiotiques.

- *Cartographie des faciès d'écoulement* : sur chacune des stations, les faciès d'écoulement ont été déterminés et cartographiés selon le protocole de *Malavoi et Souchon* (2002). Une classification simplifiée a été utilisée en regroupant les faciès en 4 grandes catégories selon la clé d'identification de *Malavoi et Souchon* (2002) et selon les critères de profondeur, courant et pente. En parallèle, les fractions granulométriques dominantes et accessoires ont été relevées (échelle de Wentworth, ONEMA 2013).
- *Etat de la ripisylve et des berges* : La ripisylve, zone de végétation multi strates rivulaire, est une structure essentielle au bon fonctionnement des cours d'eau : filtration des nutriments, diminution de la température d'eau, surfaces de caches via les systèmes racinaires, concoure à l'équilibre hydromorphologique naturel des cours d'eau. La structure de la ripisylve a été relevée et cartographiée. De même, la présence de zones d'érosion marquée (liée à l'absence artificielle de ripisylve, à une ripisylve en mauvais état ou à un piétinement bovin local) a été relevée.
- *Apports en eau* : les diverses arrivées de sources, drains, affluents sont cartographiées. Ces apports continus ou temporaires peuvent en effet jouer un rôle primordial dans la dynamique des espèces piscicoles (limitation des ruptures d'écoulement, limitation de la thermie estivale, zone refuge…).
- *Obstacle à la circulation piscicole* : les obstacles naturels (cascade, embâcle) et artificiels (chaussée d'irrigation, passage à gué…) sont cartographiés complémentairement aux ouvrages connus bancarisés dans la base de données du Référentiel nationale des Obstacles à l'Ecoulement (ROE, OFB).

Ce premier travail réalisé au printemps 2020 permet de scinder chaque station d'étude en tronçon présentant des conditions habitationnelles et hydrologiques homogènes. La carte ci-après représente l'ensemble des éléments relevés et cartographiés sur le site de la Bertrande.

Légende

Antenne fixe

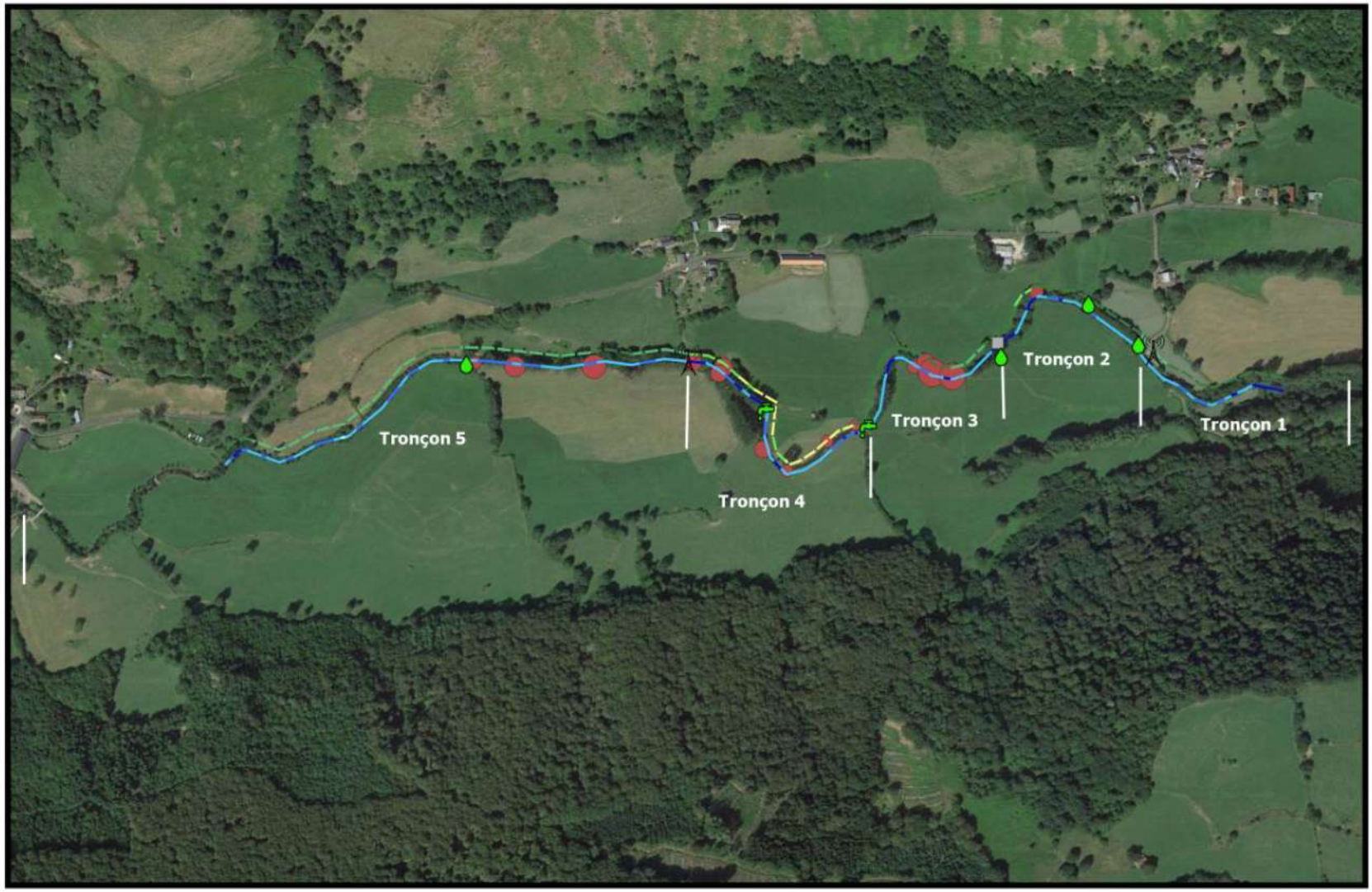
Apport en eau
- source
- ec = oui
- drain
- ec = oui

Obstacles
- seuil
- Tronçons

Ripisylve
- continue 2 berges
- continue 1 berge
- clairsemée
- absente

Habitats
- profond
- plat lentique
- courant
- rapide

Piétinement (linéaire en m)
- 10
- 20
- 30



1.2.3. SUIVI DE L'EVOLUTION DE PARAMETRES ABIOTIQUES CLES : TEMPERATURE ET DEBIT

La température, paramètre jouant un rôle essentiel dans la dynamique des espèces piscicoles, est mesurée en continue à l'aide d'enregistreurs de type HOBO UA-001 et U24. Ces enregistreurs sont programmés à un pas de temps horaire. Plusieurs sondes sont disposées le long de chacun des sites d'étude au niveau des divers tronçons homogènes identifiés (5 sur la Bertrande, 4 sur le Tact). L'exploitation des données est réalisée via le logiciel Hoboware et la macro Excel MacmaSalmo développée par la Fédération de Pêche de Haute-Savoie (Dumoutier et al., 2010). Les principales variables observées sont notamment les températures moyennes journalières, ainsi que les températures maximales instantanées journalières. Les résultats sont confrontés aux exigences de la truite commune.

Les débits sont caractérisés au niveau de chaque tronçon homogène lors des diverses prospections mobiles. Différents états sont utilisés : écoulement significatif, écoulement faible, rupture d'écoulement, assec total.

1.2.4. ENREGISTREMENT EN CONTINU DES DEPLACEMENTS DES INDIVIDUS VIA DES STATIONS RFID FIXES

FOCUS SUR : la technologie RFID au service du suivi des espèces piscicoles

L'emploi de la technologie RFID (Radio Frequency Identification) consiste à marquer les individus via des marques passives de type « Pit-tag » (Passive Integrated Transponder) qui sont détectés à proximité des champs électromagnétiques d'antennes mobiles ou fixes. Les Pit-tag sont des marques de différentes tailles, encapsulées dans du verre et de ce fait conformes au marquage biologique (utilisation pour le marquage interne d'animaux). Un identifiant unique est attribué à chaque transpondeur ce qui permet d'identifier individuellement les spécimens marqués. Ils se chargent de manière passive lorsqu'ils sont dans le champ d'une antenne fixe ou mobile, grâce à une impulsion magnétique. L'impulsion charge le PIT-tag qui émet son numéro d'identification qui est directement enregistré par le boitier lecteur-enregistreur en même temps que la date et l'heure de son émission. Dans le cas de cette étude, elle permet de suivre le déplacement des individus, de les comptabiliser au fil du temps et de connaître leur position exacte (prospections mobiles).

Sur la Bertrande, 2 stations fixes RFID ont été installées à 1 km de distance avec l'équipe de SCIMABIO Interface fin mai 2020. Ce tronçon englobe une portion s'asséchant de manière récurrente ces dernières années en amont, alors que l'aval ne sèche pas malgré des débits très faibles. Ces deux stations fixes, constituée chacune d'un lecteur RFID et de 2 antennes : disposées à plat au fond du lit et fixées sur des pieux ancrés, alimentés pour l'une par des batteries (4 batteries de 130 Ah) et pour l'autre branché sur secteur (grâce à l'aimable coopération d'un riverain local). Ces stations enregistrent en continuent le passage des truites marquées. L'installation de 2 antennes par station permet de définir le sens de passage des individus (montaison/dévalaison), et également d'optimiser leur détection. Sur chacune des stations, différentes configurations d'antenne (forme, section de câble) ont été testées afin d'obtenir une distance de détection (=range) majorée. Sur la station RFID fixe amont, un câble de 4 mm de section et des largeurs d'antennes de 0,6 m ont permis d'obtenir un range de 70 cm. Sur la station aval, un câble de 6 mm a été employé, la largeur optimale des antennes était de 0,8 m, pour un range de 90 cm.

Chaque lecteur est équipé d'une carte SIM M2M permettant la télétransmission des données de détection. Un boitier « Marker-Tag » émet au niveau de chacune des 4 antennes une fois toutes les 30 minutes (soit 48 émissions par jour), permettant ainsi de suivre le bon état de fonctionnement des antennes.

Les données sont télétransmises à un serveur distant (*rfid.stream-innov.com*), et donc accessibles à distance via un compte dédié.

Photographies de l'installation d'une antenne fixe (gauche), une fois installée (milieu) et de la station de suivi RFID fixe de la Bertrande amont (alimentée par batteries)

1.2.5. MARQUAGE DES INDIVIDUS

A l'issue de l'installation, le marquage des individus a été mis en œuvre les 9 et 10 juin 2020 avec l'aide des bénévoles des AAPPMA de Pleaux et de Champs-sur-Tarentaine, de l'ARPARA, toujours en lien avec SCIMABIO INTERFACE qui a également formé le personnel de la Fédération à ce type de manipulation. Le marquage a été réalisé en plusieurs étapes :

- Capture des individus par pêche à l'électricité (appareil EFKO FEG 8000 et Dream Electronique Martin-Pêcheur) en prospectant les zones les plus favorables des tronçons d'étude,

- Stabulation des individus dans des bacs perforés placés dans le cours d'eau,

- Anesthésie des individus au fur-et-à-mesure de l'avancée du marquage (Eugénol dilué à 10% dans de l'alcool),

- Mesure de l'individu et insertion d'un pit-tag (23, 13 ou 12 mm selon la taille de chaque individu, le poids du pit-tag ne devant pas dépasser 2% du poids de l'individu) dans l'abdomen à la pointe des nageoires pectorales, après incision de 2 à 3 mm et désinfection à la bétadine dermique 10%. Après désinfection à l'alcool à 90°, le pit-tag est d'abord enfoncé verticalement avant d'être glissé en position horizontale vers l'arrière. Chaque individu dispose alors d'un numéro d'identification qui lui est propre. Chaque individu est enregistré (n° de pit-tag, espèce, taille, tronçon de capture) via l'application Stream-Innov sur Tablette tactile reliée en Bluetooth à un lecteur RFID de marque Stream-Innov.

- Les individus marqués sont placés dans un bas de réveil dans lequel la température est contrôlée en continue.

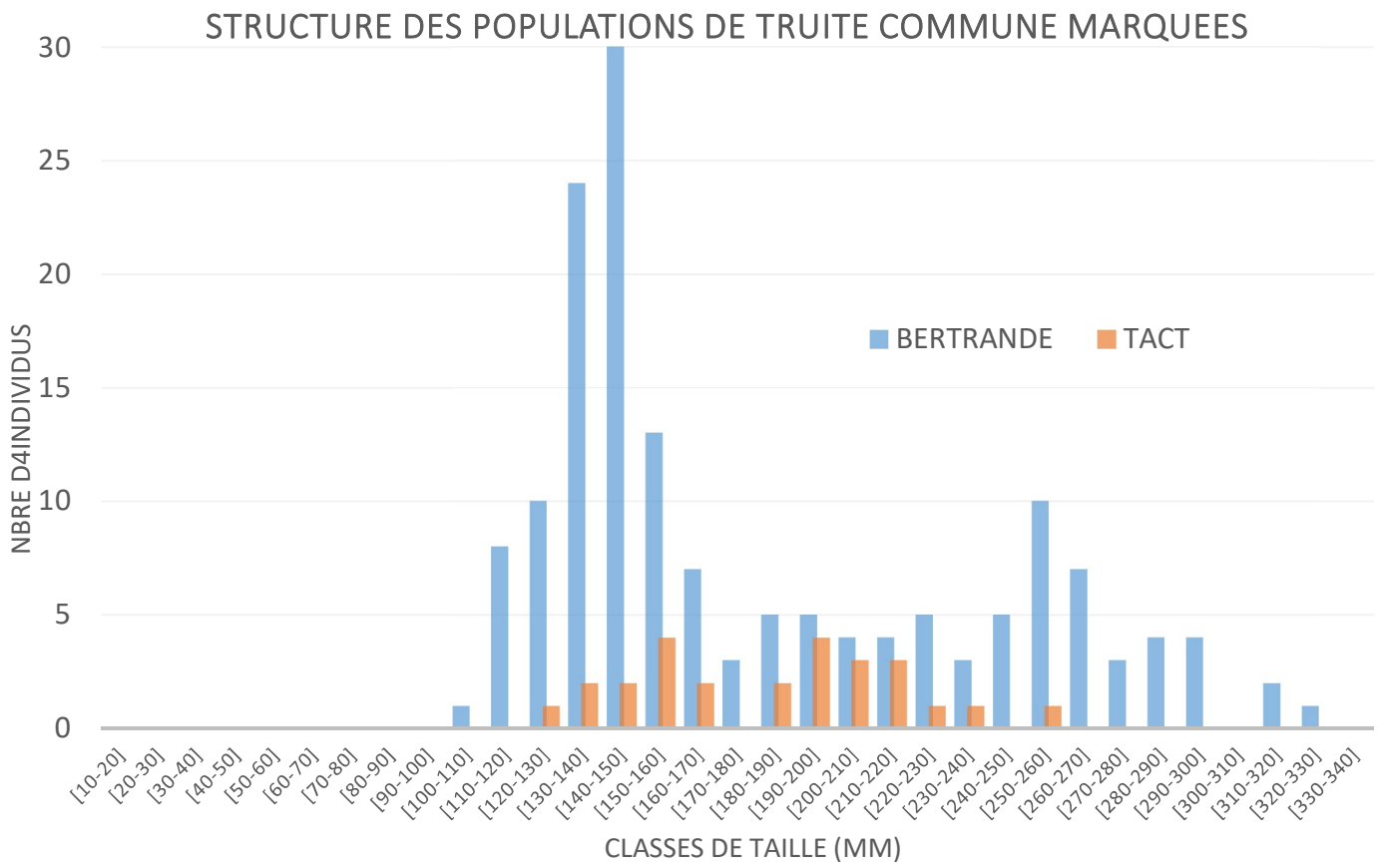
- Après récupération totale de l'anesthésie (position droite et équilibrée, battement normal des opercules, réaction aux stimuli), les individus sont placés dans un bac perforés placé dans le cours d'eau, avant d'être relâchés sur leur zone de capture après environ 30 minutes.

Capture par pêche électrique, Pit-Tag utilisés pour le marquage et table de biométrie/marquage

Au total, ce sont 185 truites communes, ayant un âge estimé de 1 à 5 ans (évaluation à partir de la répartition en classes de taille de la population et des croissances locales connues sur la Bertrande (*Etude de croissance de la truite fario par scalimétrie sur le bassin de la Bertrande*, FDPPMA15 2013) et mesurant de 11 à 32 cm, qui ont été marquées sur les deux sites.

Truites du Tact (haut) et de la Bertrande (bas)

Les structures en classes de taille des deux populations de truites communes sont présentées dans le graphique ci-après.



1.2.6. REALISATION DE TRACKINGS MOBILES

Les prospection RFID mobiles ont pour objectifs de localiser précisément un maximum d'individus et de les suivre dans le temps. Pour cela, 2 dispositifs RFID mobiles, de marque STREAM-INNOV, sont employés. Chaque dispositif est constitué d'un lecteur alimenté par une batterie lithium placée dans un sac à dos étanche. Le lecteur est synchronisé avec un GPS, au préalable de chaque prospection. Le lecteur est relié à l'antenne (câble placé dans un manche et un embout circulaire) via un tuner placé dans le manche. L'antenne, ainsi configurée, permet de prospecter aisément le lit du cours d'eau. Les deux antennes présentaient des Range de 70 à 90 cm, variable selon l'orientation des antennes (distance maximal de détection dans l'axe de l'anneau terminal). Au début de chaque prospection mobile, il est nécessaire de synchroniser en mode « None/Wireless » les deux dispositifs. Le paramétrage des antennes et de chaque GPS se réalise à l'aide de l'application « Configurateur RFID » développée par le bureau d'étude Hizkia.

En parallèle, un GPS (Garmin etrex 20x) est paramétré en « mode trace » avec un intervalle d'1 seconde (enregistrement de la position toutes les secondes). De ce fait, en ayant synchronisé le lecteur RFID et le GPS, il est possible d'établir par la suite un lien entre la détection d'un individu par le boitier RFID et le point GPS coïncidant avec l'heure de détection.

Un balayage du lit du cours d'eau et des caches en sous-berges est mis en œuvre, de l'aval vers l'amont du corus d'eau, soit par 2 opérateurs en simultanée sur la même section de cours d'eau (si largeur > 5/6 m), soit sur des tronçons différents. Chaque détection est signalée par un bip sonore via un buzzer relié au lecteur. A chaque détection, il est nécessaire de s'assurer de l'état vivant/mort de l'individu. Pour cela il est tenté d'induire un déplacement de l'individu (passage pied ou main sous les blocs ou les racines).

1.2.7. TRAITEMENT ET BANCARISATION DES DONNEES

Les données des antennes fixes sont transmises en temps réel via le site internet « https://rfid.stream-innov.com/ », une fois par semaine, elles sont extraites et bancarisées.

Les données des trackings mobiles sont extraites après chaque opération. Les données du ou des deux lecteurs sont regroupées en un seul fichier. Un dossier est créé pour chaque tracking, dans lequel figure les données brutes (les données GPS sous forme de fichier GPX, les données de PIT-tag sous forme de tableau CSV, les données des marker-tag sous forme de tableau CSV).

Le tableau des données de détection est épuré : une seule ligne par individu détecté n'est conservée, correspondant à la 1ère détection (il arrive qu'un individu reste dans le champs d'une antenne ou qu'il soit détecté par les deux antennes si celui-ci se déplace vers l'amont).

Les données du GPS et de détection sont ensuite jointes via le logiciel de cartographie QGis. A l'issue de la jointure, la position de chaque individu dans l'espèce est ainsi cartographiée. Une autre jointure est réalisée afin d'attribuer une valeur de « pk » (point kilométrique, à partir de 0 en aval de la station d'étude et augmentant de 1 tous les mètres) à chaque détection de chaque individu, et ce afin de réaliser ultérieurement des calculs sur les déplacements. La couche finale est ensuite enregistrée et ajoutée au projet QGis global.

Un fichier Excel global combinant toutes les données de détection est créé et complété au fur et à mesure des extractions de données. Une ligne correspond à une donnée de détection d'1 individu. Les détections sont donc classées par ordre chronologique pour chaque individu.

Il se compose de 22 colonnes regroupées en 4 catégories :

- Données de PIT-tag (numéro, type de détection, chronique de détection)
- Données de marquage (longueur, date, tronçon de relâché, pk de relâché, X, Y)
- Données de recapture si pêche de sauvetage (longueur, date, tronçon de relâché, pk de relâché, X, Y)
- Données de détection (antenne amont/aval, n° de tracking, pk de détection, date min/max de détection si détection régulière via les antennes fixes - une ligne de détection conservée par semaine si détection régulière -, état vivant/mort, tronçon de détection)

1.2.8. ANALYSE DES DONNEES

Afin d'analyser les données récoltées, d'autres colonnes sont ajoutées au tableau d'analyse, pour les variables de température (mesurées en continue sur chaque tronçon) et de débit (caractérisé par tronçon) :

- Température moyenne journalière du jour de détection, température moyenne des 7 jours précédents la détection, écart-type,
- Débit moyen du jour de détection, débit moyen des 7 jours précédents la détection, écart-type, statut du débit du tronçon (assec, rupture, écoulement faible ou normal)

Après une première analyse par individu (en fonction des déplacements constatés, observation des variations de secteur de localisation (faciès, habitats…)) des groupes de comportements sont définis afin de caractériser par groupes les déplacements observés. Une colonne « comportement » est ainsi rajoutée. Les groupes de comportement définis sont les suivants :

- Déplacement significatif : individu ayant changé d'habitat et de séquence de faciès radier/mouille/plat/radier, à la montaison ou à la dévalaison.
- Faible distance de déplacement : individu s'étant déplacé généralement de moins de 20 ml sur le Tact et de moins de 30 ml sur la Bertrande n'ayant pas changé de séquence de faciès.
- Indéterminé : manque de donnée (1 seul redétection par exemple), comportement inexpliqué.
- Recapture : individus recapturé par un pêcheur à la ligne ou lors d'une opération de sauvetage.
- Mort : individu dont la mort est prouvée (récupération pit-tag, absence de mouvement après détection).

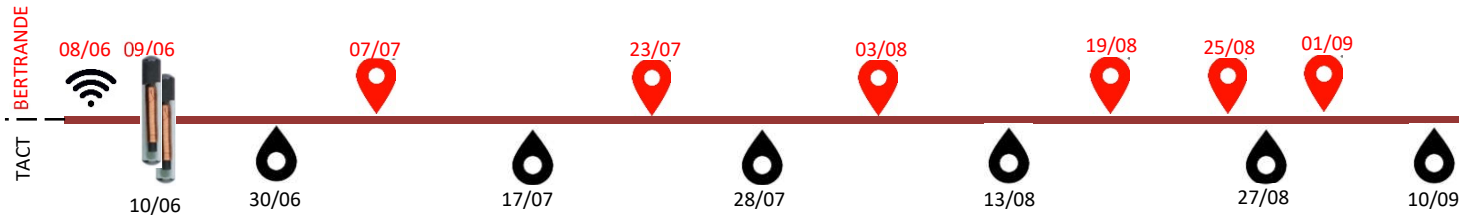
Chaque individu ayant ainsi réalisé un déplacement considéré comme significatif (changement de séquence de faciès radier/mouille, soit généralement 20 ml sur le Tact et 30 ml sur la Bertrande) se voit ainsi attribué un groupe de comportement.

2. LES RESULTATS

11 trackings mobiles ont été mis en œuvre sur la Bertrande du 24 juin au 24 novembre, dont 6 durant la période d'étiage sévère (du 7 juillet au 1er septembre 2020). En parallèle les stations RFID fixes ont été actives du 8 juin 2020 au 8 janvier 2021.

8 trackings mobiles ont été effectués sur le Tact du 15 juin au 25 novembre 2020, dont 6 durant la période d'étiage du 30 juin au 10 septembre 2020.

Les conditions hydrologiques ont été extrêmes durant l'été 2020 avec des déficits de pluviométrie allant de 85 à 90% sur les secteurs concernés. Le mois d'août a été marqué par des ruptures d'écoulement, des assecs et des débits très faibles sur de nombreux cours d'eau cantaliens. Des pêches électriques de sauvetage destinées à sauver le maximum d'individus piégés sur certains secteurs ont été mises en œuvre, notamment sur la station de la Bertrande sur les tronçons 1 à 3 le 3 août.

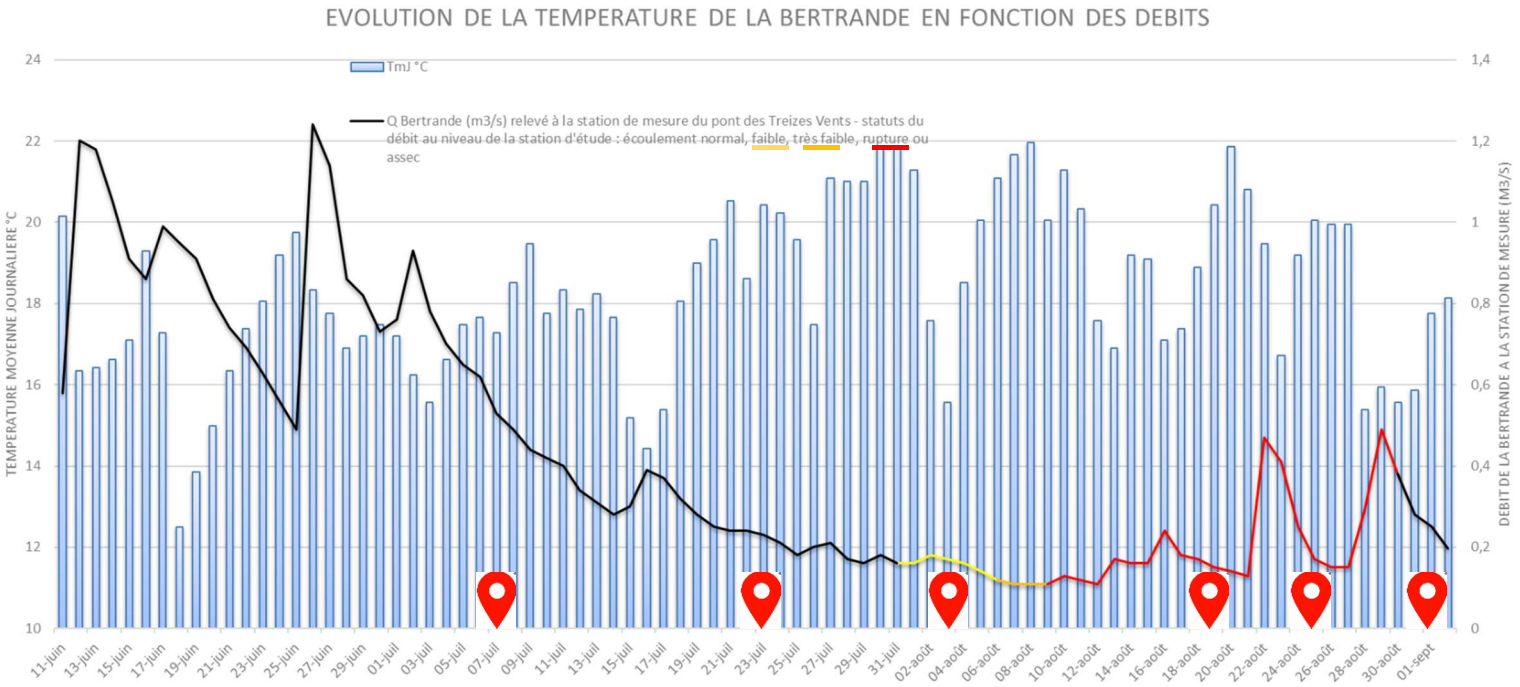


2.1. CONDITIONS THERMIQUES ET HYDROLOGIQUES

BERTRANDE

La température instantanée maximale relevée sur la Bertrande a été de 21,95 °C le 8 août. La température moyenne journalière maximale observée était de 17,48°C le 22 août. La température moyenne des 30 jours consécutifs les plus chauds a été de 16,09°C. Les températures moyennes journalières ont régulièrement dépassé les 20°C du 21 juillet au 24 août (20 jours sur 39). Ces valeurs sont considérées comme étant limitante pour la truite commune, avec un seuil de stress communément établi à 19°C.

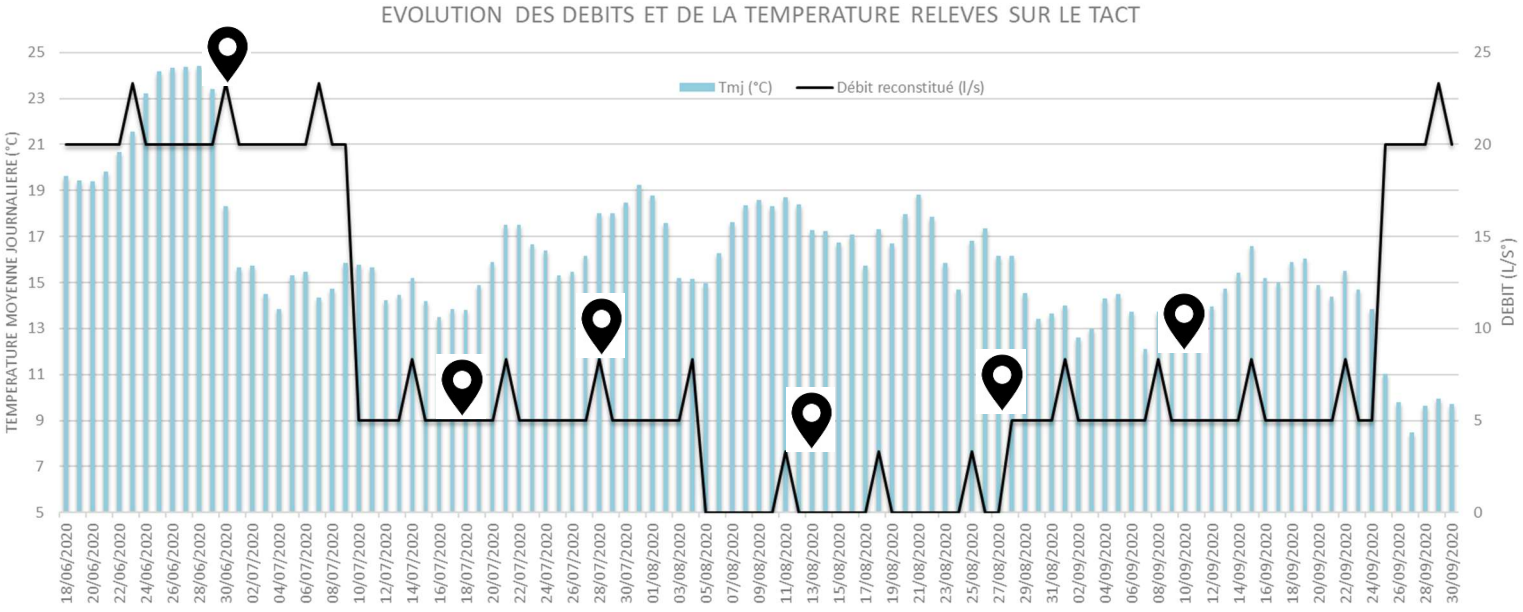
Le débit de la Bertrande a graduellement évolué à la baisse à partir de début juillet. Sur la station les conditions hydrologiques ont été fortement limitantes pour la truite commune du 31 juillet au 1er septembre. La Bertrande présentait des ruptures d'écoulement sur les tronçons 1,2 et 3 à partir du 2 août, évoluant en assec total dans les jours suivants. Le tronçon 4 n'a pas présenté de rupture d'écoulement du fait de l'apport d'une source (5 l/s en moyenne) mais présentait un écoulement très faible. L'écoulement était plus significatif sur le tronçon 5 (apport de petites sources et résurgence de nappe).



TACT

La température instantanée maximale relevée sur la Bertrande a été de 24,8 °C le 28 juin. La température moyenne journalière maximale observée était de 24,4°C le 28 juin. La température moyenne des 30 jours consécutifs les plus chauds a été de 17,83°C. Les températures moyennes journalières ont régulièrement dépassé les 20°C du 22 au 29 juin. Cette température d'eau importante peut être reliée au maintien du débit réservé à l'aval du barrage du Tact à 20 l/s jusqu'au 1er juillet, induisant une restitution d'eau de surface réchauffée au sein de la retenue (restitution accrue de l'eau de surface au fur et à mesure de l'abaissement du niveau de la retenue. Ces valeurs sont considérées comme étant limitante pour la truite commune. Au cœur de l'étiage la température de l'eau semble avoir été plutôt favorable avec 1 seul jour durant lequel la température moyenne a dépassé les 19°C (1er août).

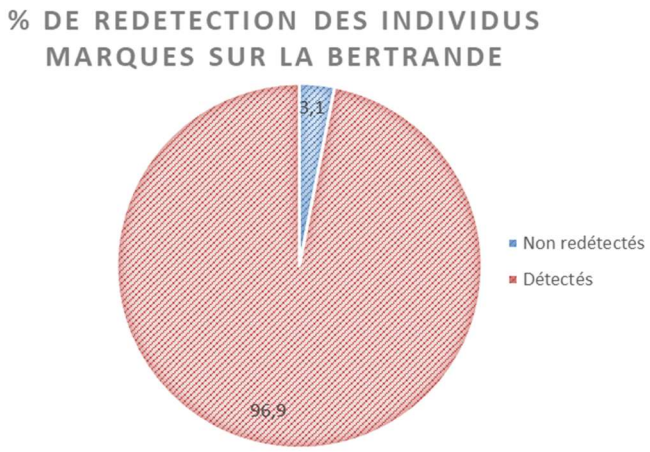
Les conditions hydrologiques sont ici particulières et totalement artificialisées en période d'étiage avec une alimentation principale via la restitution du débit réservé au niveau du barrage du tact et certains jours des fuites d'une digue du lac de barrage de Lastioulles qui ne sont pas pompées par l'exploitant. Il est d'ailleurs intéressant de constater que chaque jour d'absence de pompage des eaux de fuites de Lastioulles (40 l/s pendant 2 h en moyenne) une hausse de la température moyenne journalière est constatée (eau de

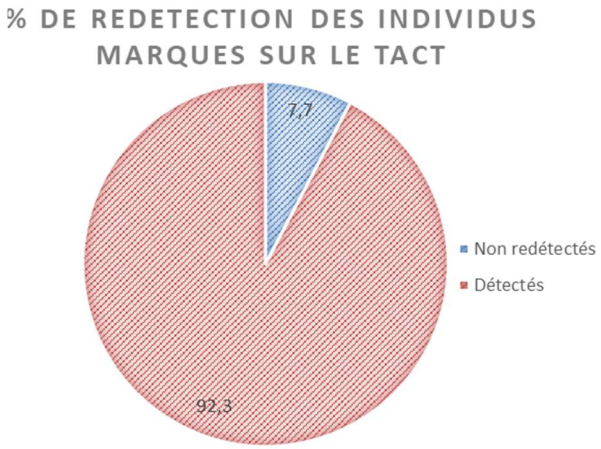


- ✓ Les conditions de débit et de température sur la Bertrande ont été limitantes pour la truite commune du 21 juillet au 30 août, avec des situations d'assec et de rupture d'écoulement sur l'amont de la station d'étude.
- ✓ Sur le Tact la thermie a été défavorable sur une courte période (1 semaine) fin juin et a atteint au cœur de l'été des températures moyennes journalières proches des 19°C. Les conditions de débit ont été limitantes et structurantes pour les espèces piscicoles du 5 au 28 août. Les conditions de débit et de température sont ici étroitement liées à la gestion du débit réservé du Tact et des fuites de la digue de Lastioulles

2.2. NOMBRE D'INDIVIDUS DETECTES ET CHRONIQUE

Une proportion significative d'individus a été redétectée durant les trackings mobiles ou via les suivis fixes : 96,9% sur la Bertrande et 92,3% sur le Tact. Ainsi, 1084 données de détections ont été collectées et conservées pour l'analyse après épuration sur la Bertrande et 97 données sur le Tact (uniquement tracking mobile).



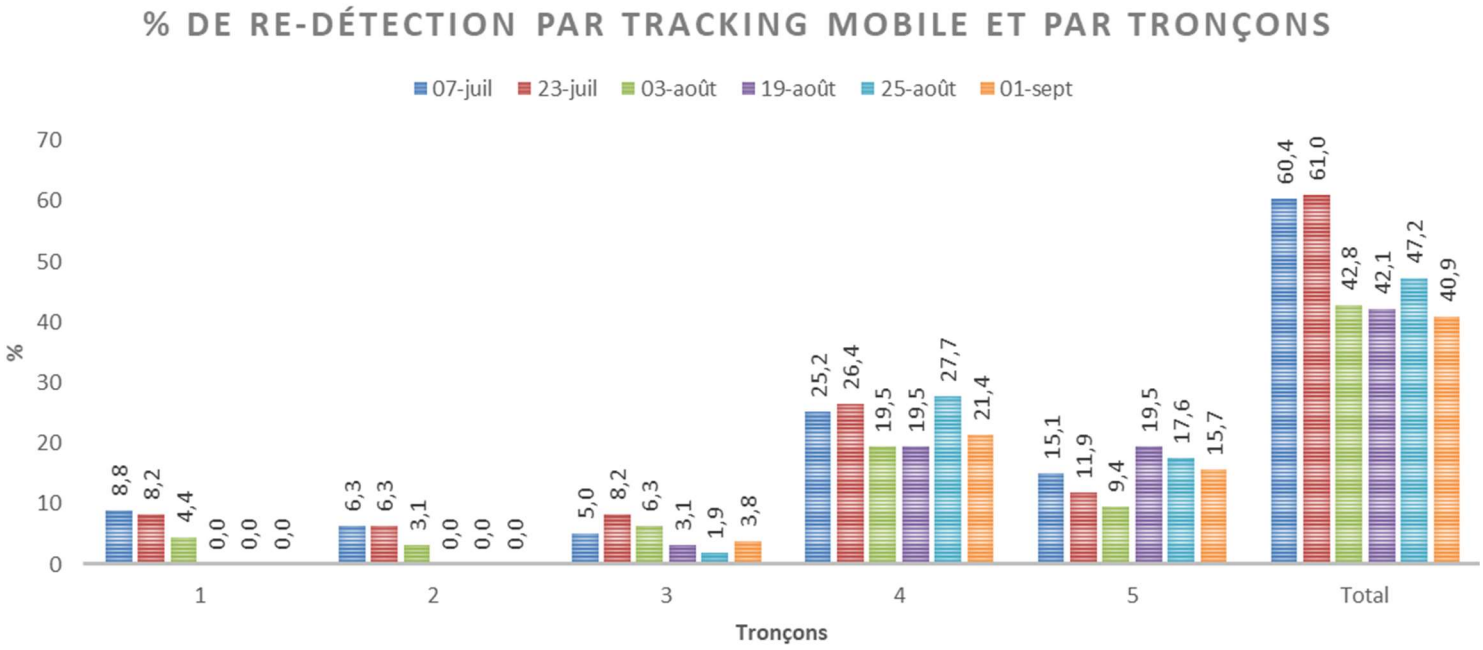


BERTRANDE

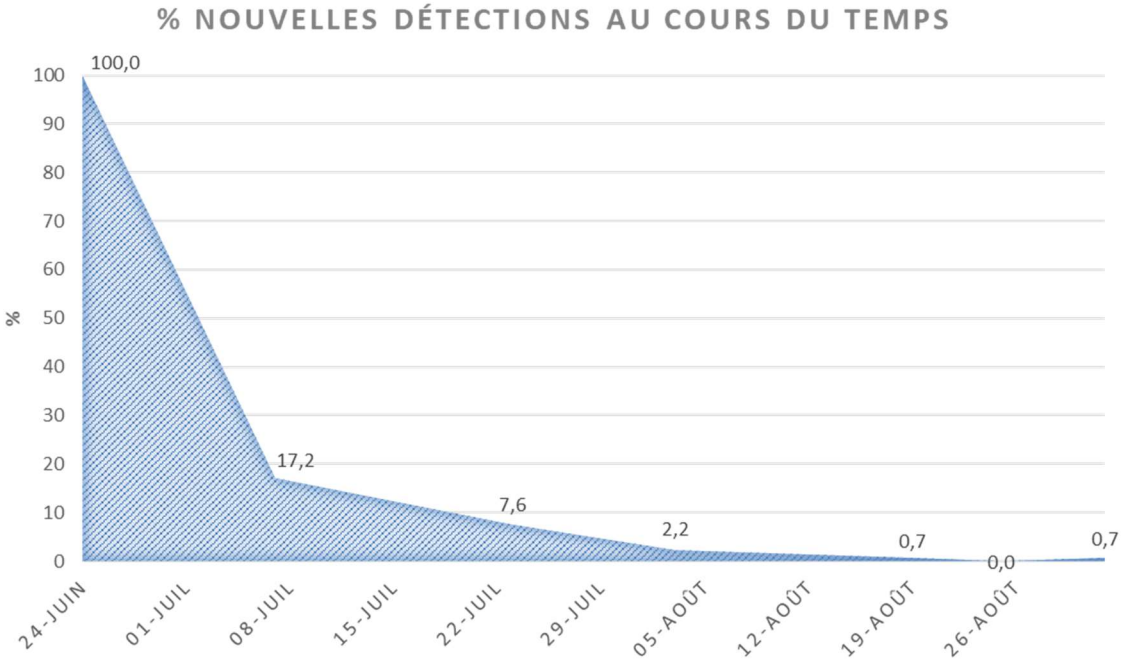
Le taux de détection a été le plus important lors des deux premiers trackings (60,4% et 61% en juillet), avant de constater une chute et une stabilisation de ce taux entre 40,9 et 47,2% pour la période du 3 août au 1er septembre, correspondant à la période d'étiage sévère et d'assec sur certains secteurs.

Les taux de détection semblent être corrélés à la situation hydrologique : des conditions hydrologiques normales ou sensiblement dégradées (débit faible sans rupture d'écoulement) semblent permettre une meilleure répartition des individus dans l'espace selon les habitats disponibles. La réduction des surfaces d'habitats, ainsi que le bouleversement d'autres facteurs durant les phases de rupture d'écoulement, induisent une concentration des individus sur des tronçons particuliers (zones de profonds avec des caches en sous-berges en particulier sur les tronçons 4 et 5) où ils sont plus difficilement détectables. De même, une mortalité est survenue début août (à partir du 2 août) en lien avec la rupture d'écoulement soudaine et l'assec constaté sur les tronçons 1, 2 et 3. 7 individus marqués ont été retrouvés morts le 3 août, 24 individus vivants ont pu être sauvés (pêche électrique de sauvetage) et relachés en aval du tronçon n°5). Les taux de redétection ont donc été par la suite très réduits sur les tronçons 1 à 3.

Sur le tronçon 4, les taux de redétections ont été également variables (19,5% au moment de l'étiage sévère à 27,67% fin août après les premières pluies). Il en est de même pour le tronçon 5 le plus aval (9,43% à 19,5%). L'accroissement des taux de détection à partir du 19 août correspond à la présence des individus capturés sur les stations amont lors de la pêche de sauvetage du 3 août et ayant été redéversés tout en aval de la zone d'étude.



L'évolution des pourcentages de nouvelles détections (nouveaux individus détectés) lors de chacun des trackings mobiles est présentée dans le graphique ci-dessous. On constate une diminution rapide des nouvelles détections notamment à partir de début août, correspondant à la période durant laquelle le taux de détection globale a connu une chute durable. 82% des individus marqués ont ainsi été redétectés avant le 23 juillet, ce chiffre passe seulement à 86% au 1er septembre.

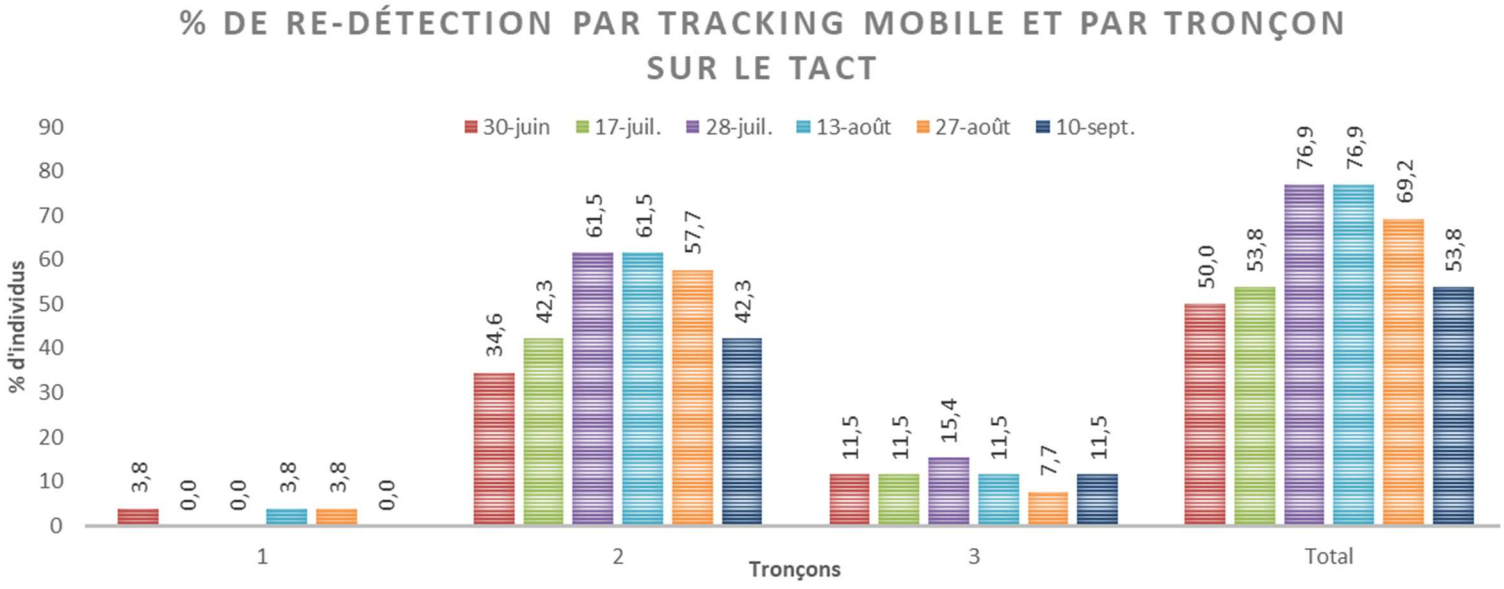


TACT

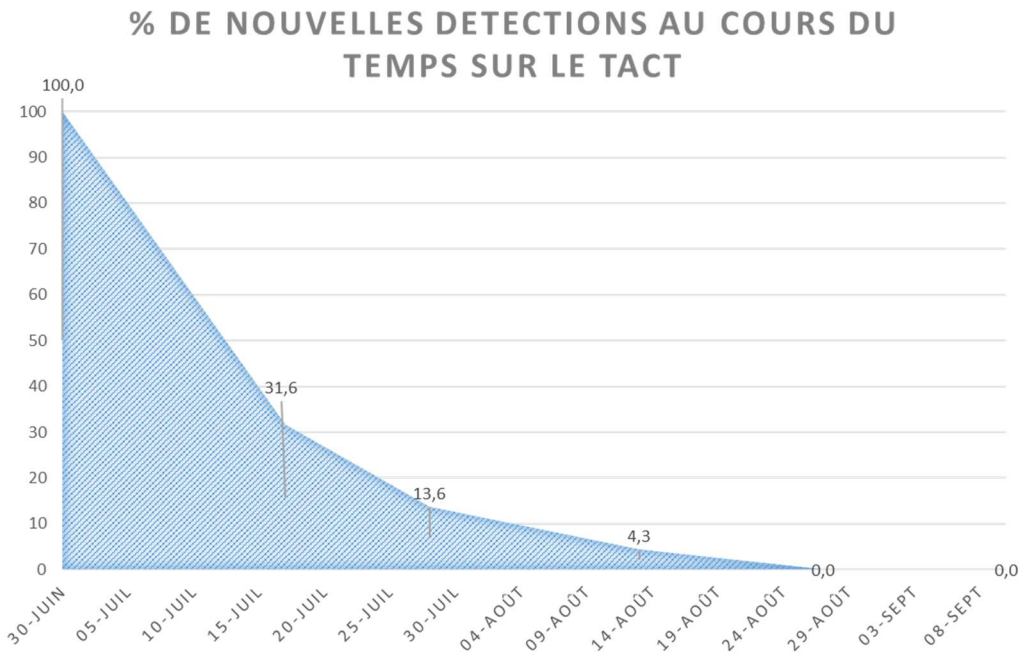
Les taux de détection ont été maximaux au cœur de l'étiage entre le 28 juillet et le 27 août (69,2 à 76,9 %), avec un minimum observé les 30 juin (50 %), 17 juillet (53,8 %) et 10 septembre (53,8 %).

La majorité des individus marqués ont été cantonnés à la station 2 (comprenant notamment une importante fosse « refuge »). La station 1 amont n'a été que peu fréquentée (assec total début août). Peu

de variations ont été observées sur la station 3 aval, bénéficiant d'habitats diversifiés et d'un ombrage maximum, mais sans toutefois présenter de zones de profond significatives.



L'évolution des pourcentages de nouvelles détections (nouveaux individus détectés) lors de chacun des trackings mobiles est présentée dans le graphique ci-dessous. On constate une diminution constante des taux de détection des nouveaux individus, devenant nul après le 13 août (aucun nouvel individu détecté dès lors).



- ✓ Pour les deux sites, l'évolution des détections des individus à l'échelle des tronçons a été peu variable dans le temps, du fait d'un faible déplacement des individus d'un tronçon à l'autre au cours de la période d'étiage. La proportion d'individus redétectés par tronçon est à ce titre similaire à la proportion des individus marqués sur chaque tronçon, et donc de la répartition naturelle initiale de chacune des populations

2.3. LOCALISATION DES INDIVIDUS AU COURS DU TEMPS

BERTRANDE

Une partie des individus ont présenté un comportement de migration considéré comme significatif ; les déplacements enregistrés s'échelonnent de -843 à 670 ml de part et d'autres du point de relâché durant la période considérée.

On observe une **concentration progressive des individus sur certaines zones au fur-et-à-mesure de la diminution des débits**. Ces zones correspondent à des faciès de type profond présentant des surfaces de caches importantes et une ripisylve bien présente. De même, des individus situés initialement en partie aval du tronçon 3 et amont du tronçon 4 se sont regroupés au niveau de l'arrivée d'une source qui présentait un débit constant (environ 5 l/s à 15°C) (photo A ci-dessous).

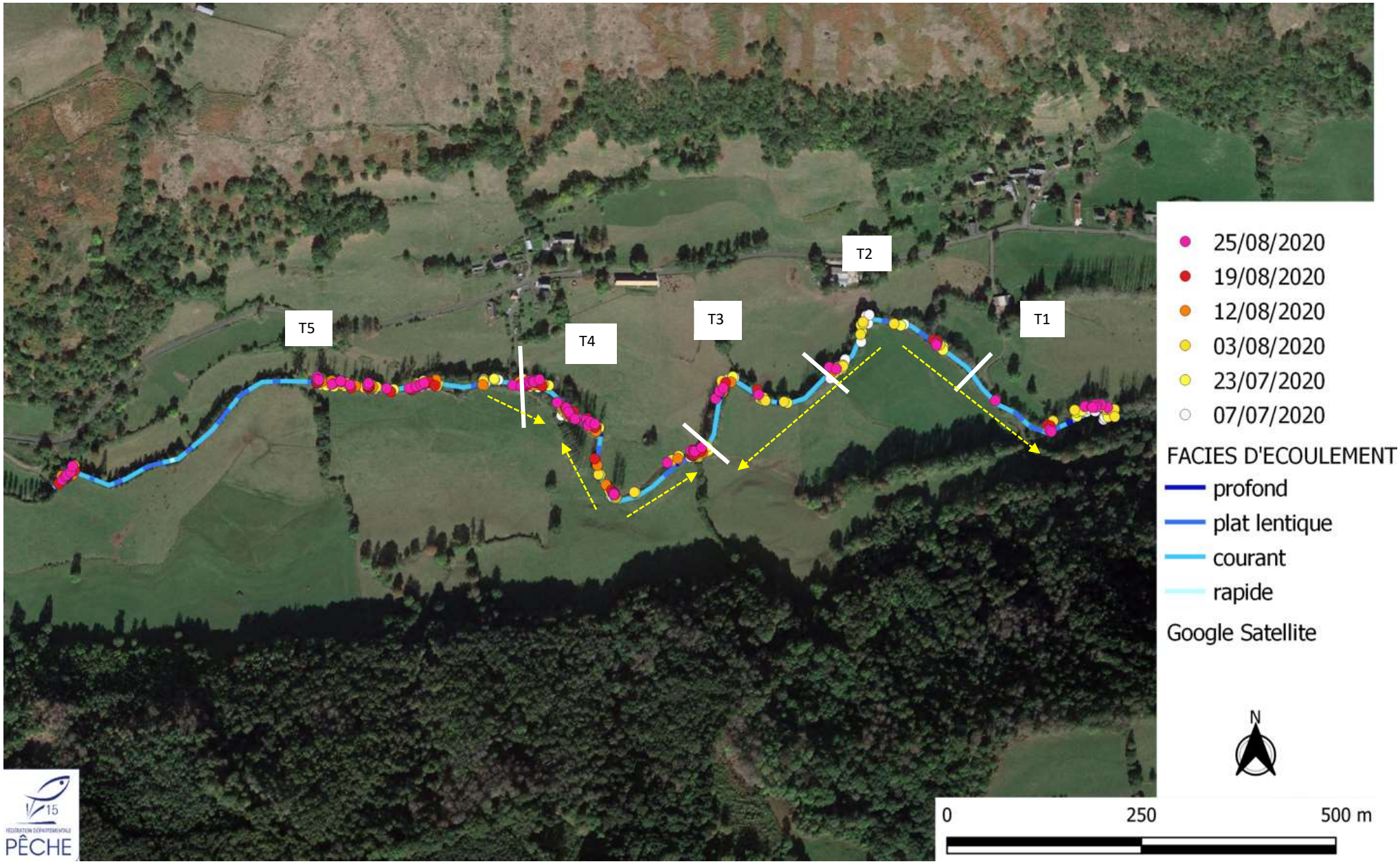
Les plus fortes concentrations sont observées au niveau des fosses des tronçons 4 et 5 n'ayant pas présenté de rupture totale d'écoulement (photo B ci-dessous), contrairement aux autres tronçons. Sur les tronçons 1 à 3, les individus se sont regroupés dans les fosses du secteur (photo C ci-dessous), mais ont soit péri suite à l'assec de début août, soit été capturés par pêche électrique (sauvetage) et redéversés tout en aval du tronçon 5 (individus détectés à partir du 12 août).

La carte ci-dessous présente l'évolution de la localisation des individus sur le site d'étude au cours du temps, ainsi que les principaux types de déplacements observés durant cette période :

Photo A : source en amont du tronçon 4 au mois

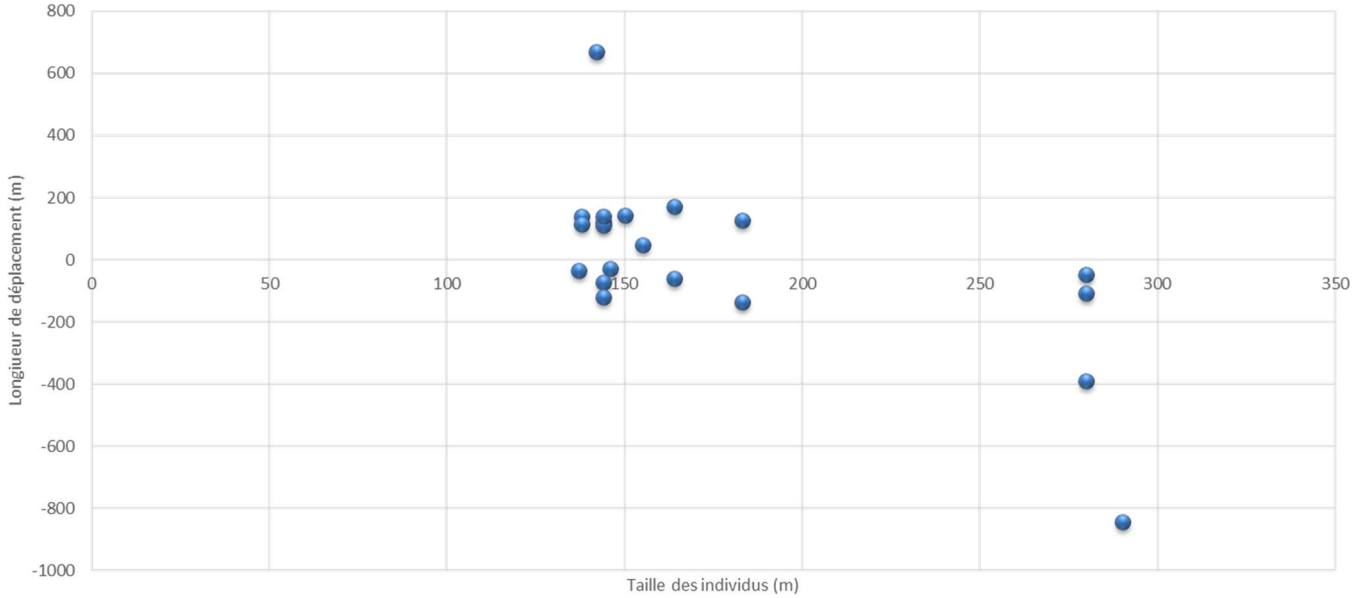
Photo B : fosse >2 m du tronçon 4 concentrant de nombreux individus durant l'étiage

Photo C : rupture d'écoulement sur le tronçon 2 début août


T5
T4
T3
T2
T1
25/08/2020
19/08/2020
12/08/2020
03/08/2020
23/07/2020
07/07/2020
FACIES D'ECOULEMENT
profond
plat lentique
courant
rapide
Google Satellite
N
0
250
500 m
15
PÊCHE

La majorité des individus ayant exercé un déplacement jugé significatif se sont déplacés de moins de 200 m vers l'amont ou vers l'aval. Ce sont majoritairement **des individus de 1 et de 3/4 ans** qui se sont le plus déplacés. Les déplacements ont été effectués principalement **fin juillet.** Durant cette période, le franchissement des radiers devait encore être possible pour les individus. Cette possibilité de migration est devenue nulle à partir du 1er août pour les individus des tronçons 1 et 2, alors qu'elle est devenue difficile (surtout sur l'aval du tronçon 3), mais possible sur les autres tronçons.

Le graphique ci-dessous présente les distances de déplacement des individus en fonction de leur taille :



TACT

Les truites marquées de la station du Tact ont **réalisé des déplacements allant de -172 à 374 ml**. On observe également une concentration progressive sur 3 zones, et en particulier une : la **majorité des individus s'est regroupée dans une fosse profonde (>2m) d'une superficie d'environ 40 m²** (zone entourée en blanc sur la carte ci-après). La plus grande migration observée (374 ml) a été effectuée par un individu de 208 mm, notamment pour accéder à ce site et s'y cantonner durant tout l'étiage (avant de revenir sur son habitat initial après l'amélioration des conditions hydrologiques).

Aucun individu n'a semble-t-il migré vers l'amont de la zone d'étude. Cette zone amont s'est asséchée régulièrement durant les mois de juillet et août au gré de la restitution du débit réservé au niveau du barrage du Tact.

La carte ci-après présente l'évolution de la localisation des individus sur le site d'étude au cours du temps, ainsi que les principaux types de déplacements observés durant cette période :

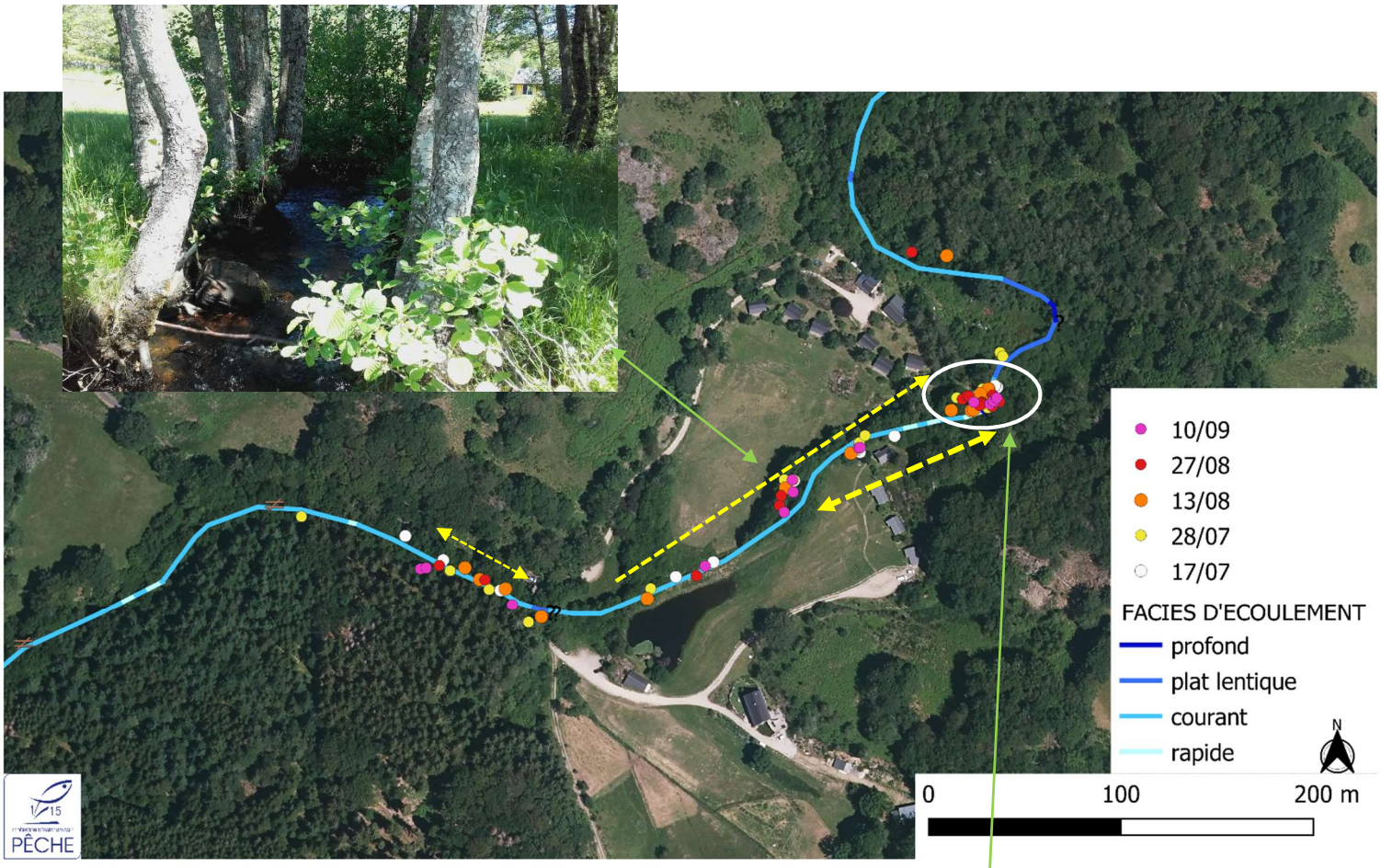
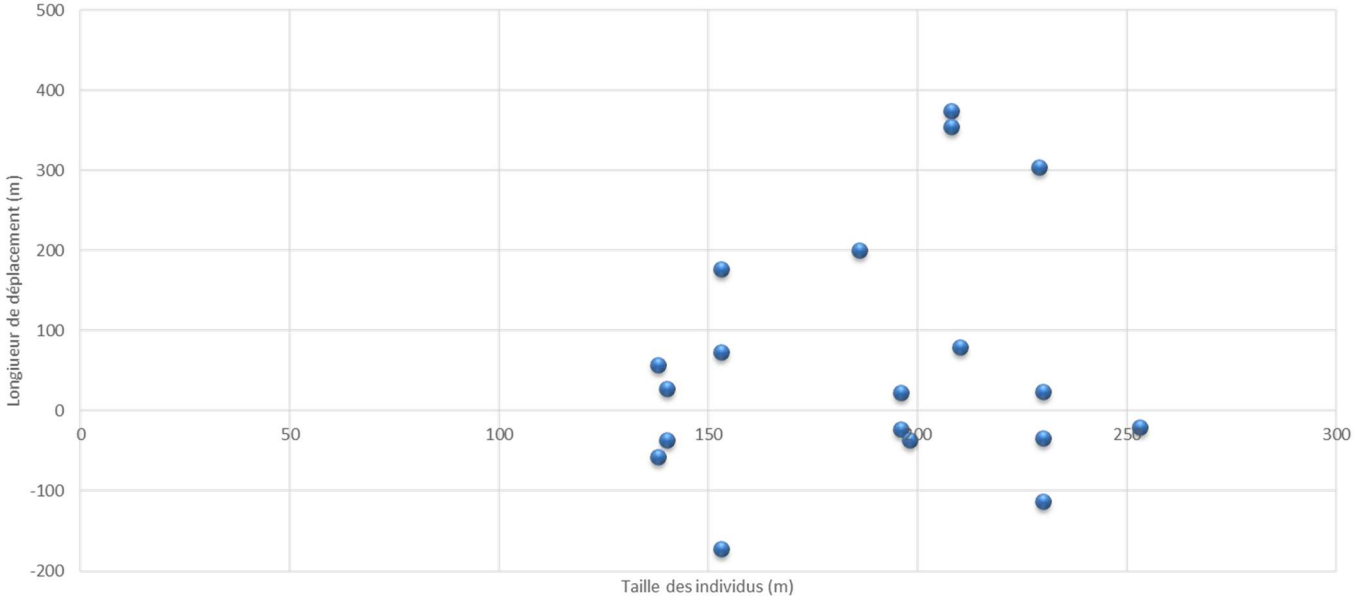

10/09
27/08
13/08
28/07
17/07
FACIES D'ECOULEMENT
profond
plat lentique
courant
rapide
N
0
100
200 m
PÊCHE

Photo de la fosse majeure du tronçon dans laquelle s'est regroupée une partie des individus

Le graphique ci-dessous présente les distances de déplacement des individus en fonction de leur taille :



Les déplacements observés sont **plutôt des déplacements de montaison** à l'échelle de la population suivie. La majorité des individus marqués étant initialement située sur les 500 m en aval de la fosse principale, cela peut expliquer cette tendance.

Des **individus de toutes classes d'âge (1 à 3 ans) ont réalisé des déplacements**.

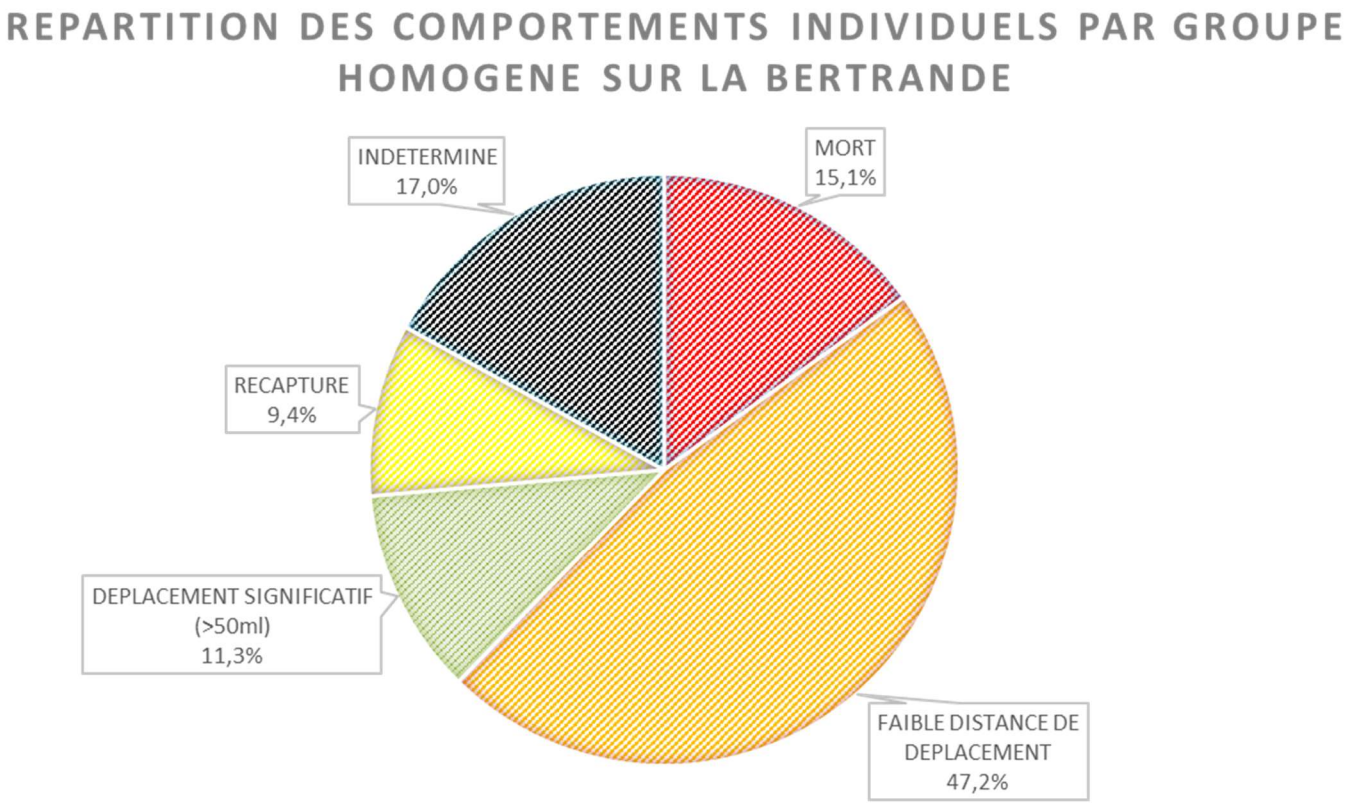
- ✓ La majorité des individus de chaque population n'exerce pas de déplacement significatifs durant la phase d'étiage et se rapprochent progressivement des zones favorables à leur survie les plus proches de leur habitat pré-étiage.
- ✓ Les individus se déplaçant sur de grandes ou faibles distances se regroupent dans certains types de zones : profonds ombragés présentant des surfaces d'habitats importantes, arrivées de sources d'eau fraîche.
- ✓ L'ensemble des classes d'âge semblent exercer ces comportements sur le Tact.
- ✓ Les individus migrant sur la Bertrande sont principalement des 1+, quelques individus de 3/4 ans se déplacent significativement également mais en moindre proportion. Toutes les classes d'âge sont concernées sur le Tact. Il ne semble pas y avoir de corrélation entre la taille des individus et leur distance de déplacement.
- ✓ Les déplacements ont été effectués principalement fin juillet sur la Bertrande, et début août sur le Tact

2.4. COMPORTEMENTS OBSERVES

Afin de faciliter l'analyse des comportements majeurs observés entre fin juin et fin août, les individus ont été rangés dans 5 catégories :

- Déplacement significatif : individu ayant changé d'habitat et de séquence de faciès radier/mouille/plat/radier, à la montaison ou à la dévalaison.
- Faible distance de déplacement : individu s'étant déplacé généralement de moins de 20 ml sur le Tact et de moins de 30 ml sur la Bertrande n'ayant pas changé de séquence de faciès.
- Indéterminé : manque de donnée (1 seul redétection par exemple), comportement inexpliqué.
- Recapture : individus recapturé par un pêcheur à la ligne ou lors d'une opération de sauvetage.
- Mort : individu dont la mort est prouvée (récupération pit-tag, absence de mouvement après détection).

BERTRANDE

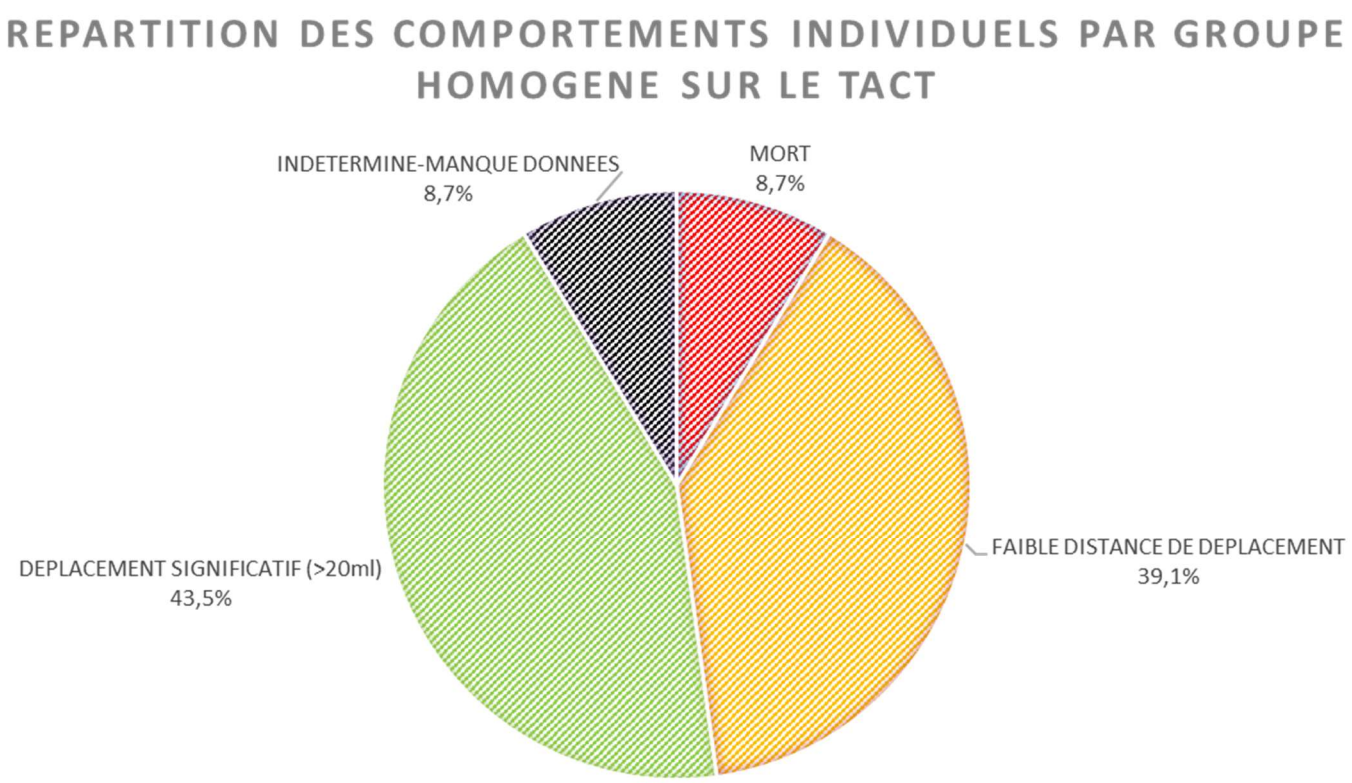


11,3% des individus ont changé d'habitats durant l'étiage et notamment fin juillet avant les ruptures d'écoulement, avec des déplacements majoritairement inférieurs à 200 ml.

La majorité des individus (47,2%) se sont rapprochés progressivement d'un habitat probablement plus favorable à bas débit (fosse, arrivée de source) sans anticiper le risque d'une rupture d'écoulement (cas des tronçons 1, 2 et 3.

15,1% des individus ont péri principalement sur les tronçons amont en lien avec l'assec de début août la veille de la réalisation d'une pêche de sauvetage.

Les individus capturés par pêche électrique le 3 août et remis en aval du tronçon 5 représentent 9,4% des individus marqués initialement.



43,5 % des individus ont changé d'habitats durant l'étiage avec des déplacements majoritairement inférieurs à 100 ml.

39,1% des individus se sont rapprochés progressivement d'un habitat probablement plus favorable à bas débit (fosse, arrivée de source, systèmes racinaires au niveau de faciès présentant de sensibles sur-profondeurs).

8,7% des individus ont péri (mortalité naturelle, liée au marquage ?).

Le comportement de 8,7% des individus est également difficilement appréhendable.

- ✓ Des proportions non négligeables de chacune des deux populations de truites communes étudiées (43,5% sur le Tact, 11,3% sur la Bertrande) ont exercées des déplacements vers l'amont et/ou vers l'aval jugés significatifs avec un changement d'habitat au cours de l'étiage. Les déplacements durant cette période ont été réalisés dans des conditions de faibles débits et donc des conditions de franchissabilité des radiers et obstacles altérée.
- ✓ Une grande proportion d'individus semble se regrouper progressivement dans des zones favorables les plus proches de leur habitat occupé avant l'étiage.
- ✓ Malgré des conditions d'étiage sévère la mortalité paraît contenue.

2.5. INFLUENCE DE L'ENVIRONNEMENT SUR LES COMPORTEMENTS OBSERVES

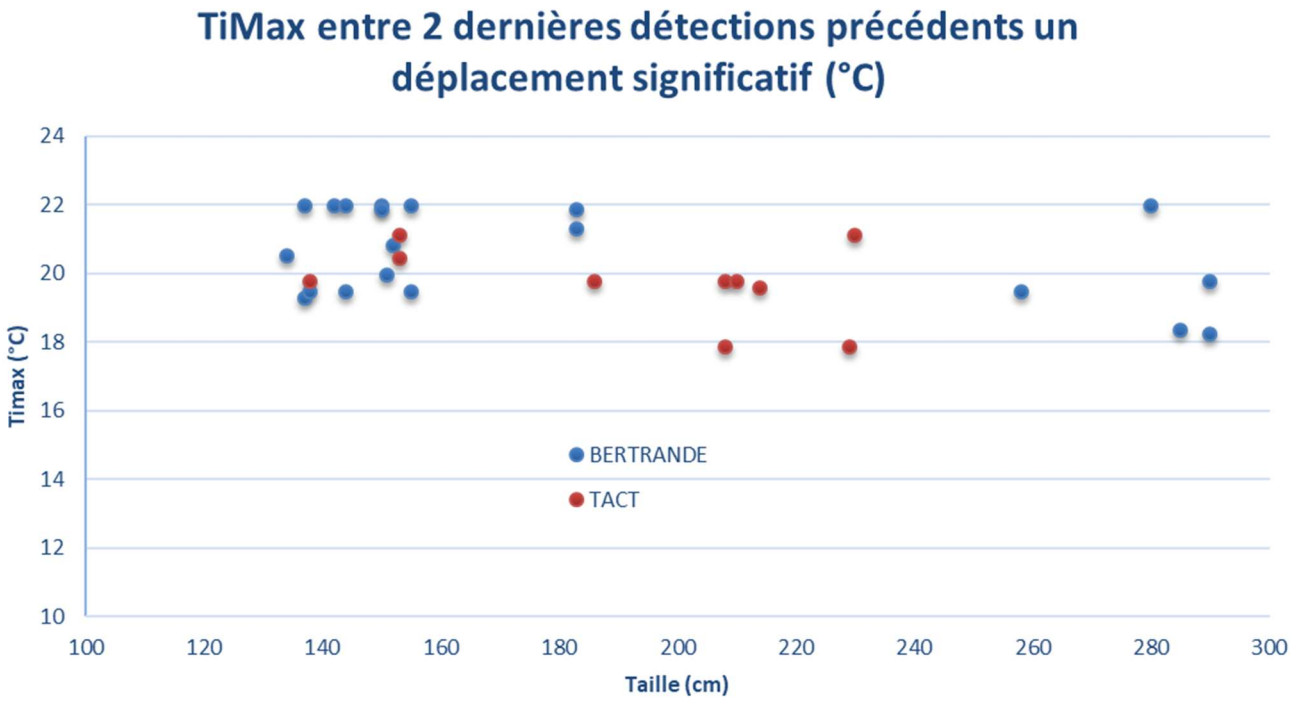
Sur la Bertrande, les migrations constatées concernent majoritairement des individus juvéniles (1 an) notamment durant la période où le débit diminue drastiquement et la compétition pour les habitats est maximale. L'accroissement de la compétition pour les habitats est peut-être un des facteurs déclencheurs de ces mouvements, la truite commune étant une espèce très territoriale possédant un territoire de surface proportionnelle à sa taille. Nous pouvons émettre comme hypothèse que **les individus de faible taille se rapprochant des zones d'habitats préférentiels pour les adultes (fosses, sous-berges profondes…) entrent progressivement en compétition avec ces individus adultes, leur imposant probablement des déplacements à la recherche d'habitats disponibles.**

Sur le Tact l'ensemble des individus de toutes classes d'âge se déplacent.

La compétition pour l'habitat peut donc être un élément essentiel expliquant le mouvement d'une partie des individus.

Un autre facteur pouvant déclencher un comportement de migration semble être la thermie. Le tableau et le graphique ci-dessous présentent les températures instantanées maximales (TiMax) relevées durant les 7 jours précédents chaque détection, ainsi que les température moyennes journalières aux dates de détections, pour chacun des individus ayant exercé un comportement jugé significatif durant l'étiage.

BERTRANDE			TACT		
TAILLE (cm)	TiMax des 7 derniers jours	Tmoy7j	TAILLE (cm)	TiMax des 7 derniers jours	Tmoy7j
124	21,9	14,2	138	19,6	16,4
134	20,5	15,6	140	20,4	17,1
137	17,2	15,6	153	20,4	17,1
138	21,9	16,2	153	20,7	18,0
138	19,5	15,2	186	19,6	16,4
144	20,5	15,6	196	19,6	16,4
144	21,9	16,2	198	19,6	16,4
144	19,5	15,7	208	19,6	16,4
144	20,4	15,6	208	17,6	14,7
150	21,9	15,4	210	19,6	16,4
151	18,2	14,8	229	17,6	18,0
155	19,5	15,1	230	20,4	13,6
155	21,9	16,2	253	20,7	17,1
164	22,0	14,3			
183	21,7	15,7			
183	21,9	16,2			
200	19,2	13,3			
258	19,5	15,7			
280	22,0	15,6			
285	20,6	15,1			
290	18,2	14,8			
290	19,8	14,7			
Moyenne	20,4	15,3	Moyenne	19,6	16,5
Médiane	20,5	15,6	Médiane	19,6	16,4
Ecart-type	1,5	0,7	Ecart-type	1,0	1,2



La TiMax relevée en moyenne sur la Bertrande durant les 7 jours précédents un déplacement est de 20,4°C (Min=18,2°C, Max=22°C, Ecart-type=1,5°C).

La TiMax relevée en moyenne sur le Tact durant les 7 jours précédents un déplacement est de 19,6°C (Min=17,6°C, Max=20,7°C, Ecart-Type=1,0°C).

De manière globale, les individus se déplacent donc majoritairement dans une fenêtre de température comprise entre 17,6°C et 22°C. Le seuil de 19°C est reconnue comme induisant des effets directs (stress physiologique) et indirects (modifications de la physico-chimie de l'eau et notamment la concentration en oxygène dissous). La plage thermique de survie de la truite commune s'étend de 0 °C à 25°C en milieu naturel (Elliott, 1994). La température de l'eau est également importante pour la croissance des truites, leur migration ou la maturation des gonades (Elliot et al., 2000).

Le déplacement des individus les plus âgés et donc les plus compétitifs pour la défense de leur territoire, peut donc trouver une origine dans l'atteinte de seuil de qualité d'eau (température, oxygène) devenant défavorables (dépenses énergétiques pour la survie trop importantes induisant un comportement de recherche d'un nouvel habitat avec des conditions biotiques et abiotiques plus favorable et moins énergivores ?).

Une autre hypothèse vu les observations faites est que **la connaissance du milieu** peut également être un facteur important dans les choix de déplacement des individus. En effet, le comportement d'une majorité des individus s'étant déplacé sur le Tact a pour effet une convergence vers une fosse profonde particulière (habitat le plus profond du secteur sur des km). Ce déplacement vers un point donné peut suggérer l'acquisition d'une connaissance du milieu induisant des réactions de comportement de survie.

✓ Plusieurs hypothèses sur les facteurs de déclenchement des comportements de déplacement :

1- **Compétition pour les habitats**, provoquant des mouvements principalement des juvéniles,
2- **Température défavorable pour la survie**, provoquant des déplacements de toutes les classes d'âge y compris des individus adultes ayant des besoins physiologiques supérieurs,
3- Une **connaissance du milieu** avec des déplacements ciblés.

CONCLUSION

Les conditions hydrologiques de l'été 2020 ont permis la mise en place de l'expérimentation dans des conditions d'étiage sévère sur les deux sites d'étude. Les déplacements et les zones de regroupements constatés sont de nature à encourager la poursuite des actions de restauration des habitats mis en œuvre depuis de nombreuses années par les structures du monde de la Pêche et des collectivités dans le cadre de l'application de la compétence GEMAPI. A l'heure de bouleversements significatifs du cycle de l'Eau, les leviers d'adaptation d'espèces bio-indicatrices comme la truite commune semblent très réduits. Peu d'individus d'une même population semble se déplacer sur de grandes distances afin de trouver des zones de survie durables en cas d'évènement extrêmes et de longue durée. Les déplacements majeurs observés sont en effet de l'ordre de quelques dizaines de mètres, voir quelques centaines, vers des zones temporairement semblant un peu plus favorables (fosses profondes avec des habitats disponibles, arrivées de sources d'eau froide).

Trois points semblent donc essentiels afin de tenter de limiter l'impact de chaque crise hydrologique estivale pour l'espèce. D'abord le maintien, la préservation et la recréation d'une mosaïque de faciès et d'habitats la plus diversifiée possible. Les habitats profonds jouant toutefois un rôle visiblement important pour la survie des individus, de même qu'un ombrage et donc une ripisylve en bon état fonctionnel. Ensuite la sécurisation des sources et petits affluents revêt un enjeu majeur, tant dans le maintien d'un écoulement suffisant que d'une thermie favorable. Ce point est d'ailleurs de plus en plus problématique localement avec le développement du pâturage tournant, induisant le besoin de point d'eau pour l'abreuvement du bétail sur chaque parcelle, entraînant une multiplication de nouveaux captages de sources. Pour finir, le maintien d'une connectivité longitudinale est de facto primordial pour permettre aux individus « migrants » d'atteindre des sites de survie. Les actions de restauration de la continuité écologique (hors effacement total) devraient donc prendre en considération les conditions de franchissabilité en période de basses eaux estivales des ouvrages à équiper.

Cette 1ère étude soulève de nombreuses interrogations qui demandent à être complétées par de nouvelles expérimentations complémentaires.