
Rapport de stage individuel

5^{ème} année

Suivi de dévalaison dans la Vesdre et
mesure du fonctionnement des
ouvrages pour la faune piscicole

Profish Technology
18 Rue des scabieuses
5100 Nannine, Belgique



Tuteur entreprise :
Damien Sonny

Amaury Rabouan
IMA

Tuteur académique :
Catherine Boisneau

2019-2020

SOMMAIRE

1.	Présentation de l'organisme.....	6
2.	Introduction	7
2.1.	Objectifs du projet.....	7
2.2.	Localisation des ouvrages étudiés.....	8
2.3.	Durée de l'étude.....	8
3.	Description technique du matériel de télémétrie	9
3.1.	Antennes et récepteurs radio	9
3.2.	Emetteurs radio.....	9
3.3.	Alimentation électrique des appareils.....	10
3.4.	Téléchargement des données et maintenance du système	10
4.	Description technique des points de contrôle.....	11
4.1.	Secteur Nessonvaux	11
4.2.	Secteur Fraipont	12
4.3.	Secteur Trooz	13
4.4.	Secteur Chaudfontaine	14
4.5.	Secteur Liège	15
5.	Protocole de capture et marquage	16
5.1.	Généralités.....	16
5.2.	Première campagne de marquage – 31/03/2020	17
5.3.	Deuxième campagne de marquage – 07/04/2020.....	18
5.4.	Troisième campagne de marquage – 15/04/2020	18
5.5.	Quatrième campagne de marquage – 20/04/2020.....	18
6.	Résultats – Approche par site	19
6.1.	Introduction	19
6.2.	Définitions et méthodes de calcul.....	19
6.2.1.	Taux de détection	19
6.2.2.	Taux de franchissement	19
6.2.3.	Délai de franchissement.....	19
6.2.4.	Taux d'utilisation de voie de passage	20
6.2.5.	Limites de la méthode.....	20

6.3.	Nombre de poissons détectés par le système	20
6.4.	Résultats pour le secteur Nessonvaux.....	21
6.4.1.	Récapitulatif des poissons déversés à l'amont.....	21
6.4.2.	Estimation du taux et du délai de franchissement	21
6.5.	Résultats pour le secteur Fraipont	22
6.5.1.	Récapitulatif des poissons déversés à l'amont.....	22
6.5.2.	Estimation du taux et du délai de franchissement	22
6.6.	Résultats pour le secteur Trooz.....	22
6.6.1.	Récapitulatif des poissons déversés à l'amont.....	22
6.6.2.	Estimation du taux et du délai de franchissement	23
6.6.3.	Taux d'utilisation de voie de passage	23
6.7.	Résultats pour le secteur Chaudfontaine	23
6.7.1.	Récapitulatif des poissons déversés à l'amont.....	23
6.7.2.	Estimation du taux et du délai de franchissement	23
6.7.3.	Taux d'utilisation de voie de passage	24
6.8.	Résultats pour le secteur Liège	24
6.8.1.	Récapitulatif des poissons détectés.....	24
6.8.2.	Délai d'arrivée	24
7.	Résultats – Approche globale	25
8.	Discussion	28
8.1.	Validité de la méthode.....	28
8.2.	Franchissements des ouvrages	28
8.3.	Impact des conditions hydrauliques et de température	29
8.4.	Variabilité des comportements.....	29
8.5.	Impact d'un ouvrage intermédiaire.....	30
9.	Conclusion	31
10.	Bibliographie.....	32
11.	Annexes	33

TABLE DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure 1 : Localisation des 5 secteurs étudiés sur la Vesdre et l'Ourthe	8
Figure 2 : Récepteur radio "Orion"	9
Figure 3 : Antennes radio, subaquatique (à gauche) et aérienne de type Yagi (à droite)	9
Figure 4 : Emetteur radio, comparé à une pièce de 2€.....	9
Figure 5 : Armoire pour le matériel, sur le site de Trooz	10
Figure 6 : Vue générale des antennes sur le secteur Nessonvaux.....	11
Figure 7 : Vue générale des antennes sur le secteur Fraipont	12
Figure 8 : Vue générale des antennes sur le secteur Trooz	13
Figure 9 : Vue générale des antennes sur le secteur Chaudfontaine	14
Figure 10 : Vue générale de l'antenne sur le secteur Liège	15
Figure 11 : Marquage d'un smolt.....	16
Figure 12 : Localisation des 4 lieux de déversement	17
Figure 13 : Graphique de dévalaison des smolts sur la Vesdre en fonction du débit.....	26
Figure 14 : Graphique de dévalaison des smolts sur la Vesdre en fonction de la température	27
Tableau 1 : Interprétation des détections aux différentes antennes sur le secteur Nessonvaux	11
Tableau 2 : Interprétation des détections aux différentes antennes sur le secteur Fraipont	12
Tableau 3 : Interprétation des détections aux différentes antennes sur le secteur Trooz.....	13
Tableau 4 : Interprétation des détections aux différentes antennes sur le secteur Chaudfontaine.....	15
Tableau 5 : Adresse et coordonnées des lieux de déversement de chaque lot	16
Tableau 6 : Conditions environnementales des 4 campagnes de marquage et déversement des smolts dans la Vesdre	17
Tableau 7 : Taux de détection des smolts par lâcher et par lot	21
Tableau 8 : Délai d'arrivée des smolts au barrage de Grosses Battes (Secteur Liège) par lâcher et par lot	24
Tableau 9 : Récapitulatif des taux de détection des smolts par lâcher	28
Tableau 10 : Récapitulatif des taux et délais de franchissement des smolts par site	28
Tableau 11 : Différence des délais de franchissement et des vitesses de dévalaison des smolts #100 et #189	29

REMERCIEMENTS

Je remercie chaleureusement toute l'équipe de Profish Technology pour son accueil. Tout d'abord, Marc pour avoir été mon allié français contre le reste du bureau. Dylan, pour sa bonne humeur et nos échanges autour de la pêche. Delphine, pour son expertise et tous ses bons conseils. Justine, pour avoir été une partenaire de choc lors de nos expériences, parfois plus ou moins réussies. Jérémy, pour son aide et son agilité en traitement des données. Enfin, merci Damien de m'avoir accordé ton temps et tes conseils dans la réalisation de ce projet.

Encore une fois, un grand MERCI. J'espère que nos chemins se recroiseront un jour.

1. Présentation de l'organisme

Profish Technology est une structure spécialisée dans l'étude appliquée en écologie des poissons et utilise des technologies de monitoring très pointues notamment télémétriques (radio, acoustique, RFID). De par son implantation en Belgique (siège social), en France et en Allemagne, l'entreprise composée d'une équipe de passionnés des poissons et des milieux aquatiques rayonnent sur de nombreux projets en Europe. Ses activités d'expertise sont les suivantes :

- Efficacité et suivi des passes à poissons
- Impacts des centrales hydroélectriques et des prises d'eau industrielles
- Observation et suivi des comportements de migration
- Succès de repeuplements piscicoles
- Techniques génétiques
- Suivis écologiques divers
- Utilisation d'habitat des poissons et mammifères marins

J'ai effectué mon stage de fin d'études dans l'antenne belge de Profish Technology de février à août 2020. Le gérant et docteur en biologie, Damien Sonny, m'a accueilli et accompagné tout au long de la réalisation. Ce dernier encadre une équipe de trois personnes, constituée de Delphine Goffaux, également docteur en biologie et experte en télémétrie, Marc Lerquet se consacrant essentiellement au projet LIFE4FISH, et Dylan Colson, biologiste polyvalent destiné à renforcer l'équipe. J'ai également parfois fait équipe avec Justine Sabbe, une autre stagiaire bachelière en environnement, qui a étudié la portée des antennes radios durant son stage.

Profish Technology a été mandaté fin 2019 par la Direction des Cours d'Eau Non Navigables du Service Public de Wallonie (SPW), en partenariat avec l'Université de Liège (ULg), pour réaliser le suivi de dévalaison dans la Vesdre et la mesure du fonctionnement des ouvrages pour la faune piscicole au printemps de 2020.

L'objectif de ce stage est d'accompagner la réalisation de cette étude. La proposition du protocole, sa mise en œuvre, son suivi, l'acquisition des données et l'analyse des résultats en sont les étapes clés qui sont détaillées par la suite.

Durant la période du stage j'ai pu également participer à d'autres études comme des expérimentations sur la portée des antennes radio. Dans le cadre du programme Life4Fish, j'ai pu assister au relevé d'hydrophones destinées à suivre la progression d'anguilles sur la Meuse.

2. Introduction

2.1. Objectifs du projet

Le rétablissement de la libre circulation des poissons migrateurs dans les fleuves et les rivières est un enjeu majeur de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE). C'est pourquoi la Wallonie procède à un inventaire détaillé des obstacles et à une priorisation pour la construction d'ouvrages de franchissement (Philippart et Sonny 2003). Des aménagements réalisés par la Direction des Cours d'Eau Non Navigables du Service Public de Wallonie (SPW) sont déjà en cours pour permettre notamment la remontée des saumons adultes dans la Meuse et ses affluents et sous-affluents (Philippart et al. 2014).

Il s'agit aujourd'hui également d'appréhender les impacts des barrages sur les migrations vers l'aval des espèces. Comme spécifié dans le cahier spécial des charges (CSC), cette étude a pour objectif de déterminer les capacités de dévalaison des poissons sur les cours d'eau de première catégorie face aux barrages et centrales hydroélectriques. Elle vise à déterminer les voies de passages et le timing face à un complexe hydroélectrique. La Vesdre est le cours d'eau choisi par la Direction pour débiter cette étude de franchissabilité. Une attention particulière sera accordée au passage des poissons par les vis d'Archimède, turbines considérée comme « fish-friendly », et aux dispositifs de franchissement pour la faune piscicole.

La méthode utilisée a consisté à suivre plus de 200 smolts, issus de pisciculture et marqués au moyen d'émetteurs radio avant d'être déversés dans la Vesdre. Des antennes radios installées à proximité des ouvrages étudiés ont permis de suivre leur migration et de connaître leurs voies de passage. Cela permettra de confirmer ou non les hypothèses suivantes :

- Les ouvrages hydrauliques ralentissent la dévalaison des smolts
- Les vis d'Archimède ont peu d'impact sur la survie des poissons
- Les conditions environnementales (débits et températures) influencent leur migration

Les données générées ont permis d'analyser le comportement des smolts face aux différents barrages, et d'obtenir des métriques comportementales telles que les taux et délais de franchissement. Ces données ont également été mises en relation avec les conditions environnementales.

Après la présentation des sites d'études, du matériel utilisé et des moyens mis en œuvre, les résultats seront présentés via une approche par site puis par une approche globale à l'aide de graphiques. Ces derniers seront ensuite discutés pour valider la méthode utilisée et les hypothèses de départ.

2.2. Localisation des ouvrages étudiés

L'étude est réalisée sur la Vesdre, longue de 71 km. Il s'agit d'un affluent de l'Ourthe, lui-même affluent de la Meuse. Les ouvrages étudiés sont situés entre Chaudfontaine et Nessonvaux (*Figure 1*). L'étude se focalise sur le délai de franchissements des 4 ouvrages suivants, de l'amont vers l'aval :

- A. Secteur Nessonvaux : Barrage de Nessonvaux
- B. Secteur Fraipont : Barrage de Fraipont
- C. Secteur Trooz : Centrale hydroélectrique La Fenderie équipée d'une vis d'Archimède
- D. Secteur Chaudfontaine : Barrage Bacquelaine équipé d'une microcentrale à vis d'Archimède et d'une passe à poissons

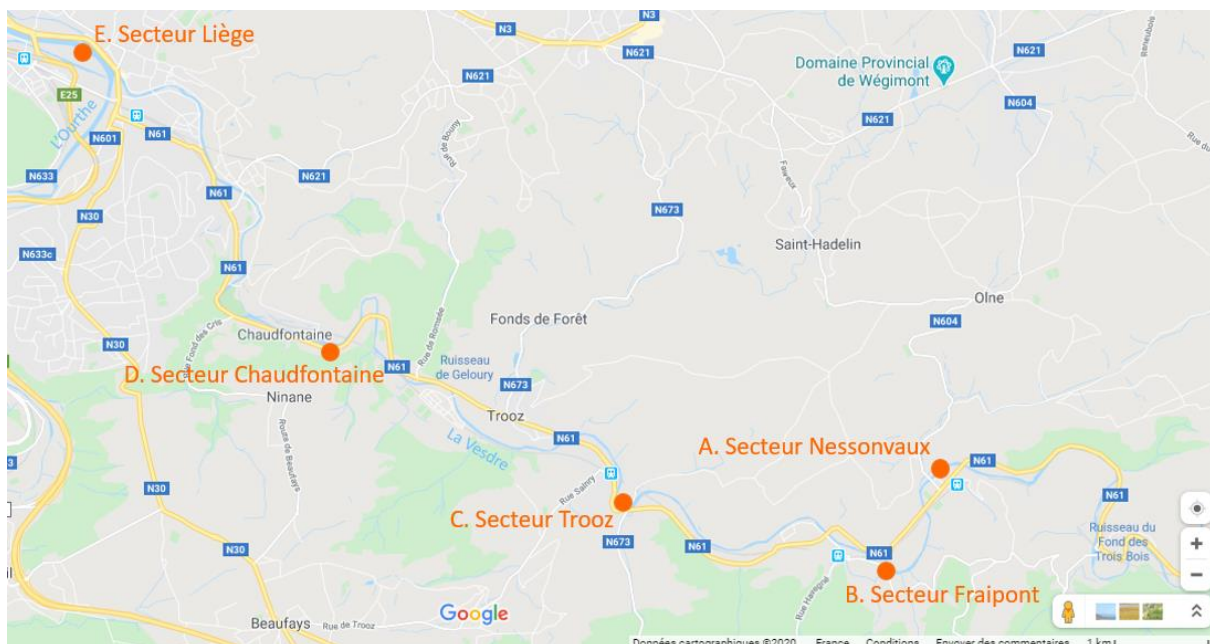


Figure 1 : Localisation des 5 secteurs étudiés sur la Vesdre et l'Ourthe

Le barrage sur l'Ourthe, situé à Liège, au lieu-dit « Les Grosses Battes » a également été équipé d'une antenne afin de contrôler l'arrivée ou non des smolts dans l'Ourthe.

2.3. Durée de l'étude

L'installation des antennes et l'activation des récepteurs sur les différents secteurs se sont déroulées du 20 février 2020 au 27 mars 2020.

Le suivi des saumons a débuté avec le marquage d'un premier lot le 31 mars 2020 et s'est étendu jusqu'au 11 mai 2020 (dernier relevé des données), pour correspondre à la saison de dévalaison des smolts de la Vesdre.

3. Description technique du matériel de télémétrie

3.1. Antennes et récepteurs radio

Le matériel utilisé pour localiser les émetteurs radios implantés dans les poissons provient de la firme canadienne Sigma Eight. Il s'agit de récepteurs radios de type « Orion » (Figure 2), pouvant enregistrer les signaux radios perçu par une antenne connectée, sur une fréquence très spécifique (dans une gamme de fréquence autour de 150 MHz), ainsi que la force du signal et le code de celui-ci, pour permettre de distinguer plusieurs émetteurs utilisant la même fréquence.



Figure 2 : Récepteur radio "Orion"

Les signaux radio se propagent très bien dans l'air, mais nettement moins dans l'eau où ils sont rapidement atténués. Pour cette raison, ils sont préalablement amplifiés au niveau de l'antenne pour maximiser la probabilité de détecter les émetteurs, avant d'être atténués au niveau du récepteur afin de faciliter le processus de filtrage et de les distinguer des bruits électromagnétiques ambiants.

Dans le cadre de ce suivi, nous avons utilisé deux types d'antennes :

- Des antennes aériennes (Figure 3), aussi connues sous le nom d'antennes Yagi. Celles-ci sont placées sur la berge et couvrent une large zone de détection autour de l'antenne, pouvant s'étendre à plusieurs centaines de mètres dans certains cas. L'avantage de ces antennes étant la facilité d'installation. Néanmoins, leur portée importante ne permet pas une grande précision.
- Des antennes subaquatiques (Figure 3), conçues en atelier par Profish.



Figure 3 : Antennes radio, subaquatique (à gauche) et aérienne de type Yagi (à droite)

3.2. Emetteurs radio

Dans le cadre de ce projet, nous avons choisi de travailler avec des émetteurs radios (Figure 4) commercialisés également par la firme Sigma Eight. Le petit émetteur de forme cylindrique est encapsulé dans une résine biocompatible et pèse approximativement 0,8 g, pour des dimensions de 17 mm x 7 mm x 5,5 mm. Il est prolongé par un fin câble métallique. Cette partie, qui sert d'antenne pour la transmission du signal, reste externe après implantation du tag dans le poisson.



Figure 4 : Emetteur radio, comparé à une pièce de 2€

Chaque émetteur radio a été préalablement activé et testé pour garantir son bon fonctionnement. La configuration du signal émis est d'une pulsation toutes les 3 secondes. Les fréquences radios choisies pour cette étude furent 150.720 ; 150.740 et 150.780 MHz. Ces fréquences avaient été identifiées comme relativement épargnées par des bruits parasites lors d'une visite préliminaire sur chaque site.



3.3. Alimentation électrique des appareils

Les récepteurs sont alimentés via une batterie 12 Volts 75Ah, elle-même rechargée en permanence via une alimentation sur le secteur 220V volts (*Figure 5*). Ce montage permet de disposer d'une source d'alimentation fiable et continue, qui ne nécessite pas de changer régulièrement les batteries. En cas de coupure de courant, le système reste autonome pour une durée approximative d'environ 48h pour les récepteurs des secteurs Nessonvaux, Fraipont, Liège, des stations aval de Trooz et Chaudfontaine. L'autonomie est d'environ 24h pour les stations amont de Trooz et Chaudfontaine, où respectivement 2 et 3 récepteurs sont alimentés sur la même batterie.

Figure 5 : Armoire pour le matériel, sur le site de Trooz

3.4. Téléchargement des données et maintenance du système

Un relevé a été effectué sur chaque récepteur tous les quatre à six jours. Les données ont été sauvegardées sur carte SD et sur ordinateur. En raison de leur volume, les données des récepteurs sont également téléchargées à des intervalles très réguliers et une copie est sauvegardée sur le serveur de Profish Technology.

Dans l'ensemble, tous les récepteurs ont fonctionné sans interruption et aucun dysfonctionnement n'a été repéré. Néanmoins, le 11 mai les récepteurs R05 et R06 (secteur Trooz) ont cessé de fonctionner, ce qui est certainement dû à une panne de l'alimentation électrique. Il est difficile de déterminer la période d'arrêt car les bruits parasites sont peu nombreux sur ce site et la majorité des smolts avait déjà traversé ce secteur.

De plus, le 8 mai, le récepteur R01 (secteur Chaudfontaine) était en pause pour le téléchargement des données durant la période d'arrivée du smolt #157. Cependant, cela a peu d'incidence sur l'étude car cet individu est resté sur le site jusqu'au lendemain.

4. Description technique des points de contrôle

4.1. Secteur Nessonvaux

Sur ce site, deux antennes radios aériennes ont été utilisées (*Figure 6*). La première (R11) est placée en rive droite et dirigée vers l'aval. Elle a pour objectif de détecter les smolts qui se trouvent dans la zone amont du barrage. La deuxième (R12) est installée en rive droite et dirigée vers l'amont. Celle-ci permet de détecter les smolts ayant franchi le barrage (photographies en *Annexe 11.1*).



Figure 6 : Vue générale des antennes sur le secteur Nessonvaux

Les détections aux différentes antennes s'interprètent de la façon suivante (*Tableau 1*) :

Tableau 1 : Interprétation des détections aux différentes antennes sur le secteur Nessonvaux

Détection	Interprétation
R11 (aérienne)	Le smolt est en approche du barrage (moins de 200 m)
R12 (aérienne)	Le smolt a franchi l'ouvrage et se trouve en aval de celui-ci (moins de 500 m)

4.2. Secteur Fraipont

Sur ce site, deux antennes radios aériennes ont été utilisées (*Figure 7*). La première (R09) est située en rive gauche et dirigée vers l'aval. Elle a pour objectif de détecter les smolts qui se trouvent dans la zone amont du barrage. La deuxième (R10) est placée à la pointe aval de l'îlot de gauche et dirigée vers l'aval. Elle permet de détecter les smolts ayant franchi le barrage et les différents chenaux possibles (photographies en *Annexe 11.2*).



Figure 7 : Vue générale des antennes sur le secteur Fraipont

L'utilisation d'antennes subaquatiques aurait été intéressante pour déterminer les voies empruntées par les smolts. Cependant, pour des raisons financières, le commanditaire n'a pas souhaité recueillir cette information. L'objectif était majoritairement d'évaluer le délai de franchissement de l'ouvrage.

Les détections aux différentes antennes s'interprètent de la façon suivante (*Tableau 2*) :

Tableau 2 : Interprétation des détections aux différentes antennes sur le secteur Fraipont

Détection	Interprétation
R09 (aérienne)	Le smolt est à proximité du barrage (moins de 50 m)
R10 (aérienne)	Le smolt a franchi l'ouvrage et se trouve en aval de celui-ci (moins de 300 m)

4.3. Secteur Trooz

Sur ce site, il s'agit d'un dispositif radio mixte utilisant des antennes aériennes et subaquatiques (Figure 8). La première antenne aérienne (R05) est située en rive droite et dirigée vers l'aval. Elle a pour l'objectif de détecter les smolts qui se trouvent dans la zone amont du barrage. La deuxième (R08) est située en rive gauche et dirigée vers l'amont. La première antenne subaquatique (R06) est placée à l'entrée du canal de dérivation alimentant la centrale hydroélectrique. Elle permet de détecter les smolts entrant dans le canal, ou se situant à proximité de l'entrée. La deuxième (R07) se situe à l'entrée de la centrale. Elle a pour objectif de confirmer le passage du smolt dans le canal de dérivation (photographies en Annexe 11.3).



Figure 8 : Vue générale des antennes sur le secteur Trooz

Les détections aux différentes antennes s'interprètent de la façon suivante (Tableau 3) :

Tableau 3 : Interprétation des détections aux différentes antennes sur le secteur Trooz

Détection	Interprétation
R05 (aérienne)	Le smolt est à proximité du barrage (moins de 50 m)
R06 (subaquatique)	Le smolt est à l'entrée du canal de dérivation
R07 (subaquatique)	Le smolt traverse le canal
R08 (aérienne)	Le smolt a franchi le barrage ou le canal de dérivation (entre 300 et 600 m)

L'interprétation se fera également par déduction. En effet, si un smolt a été détecté par R05 et R08 mais pas par R06 et R07, cela signifie qu'il a utilisé le barrage comme voie de passage. S'il est détecté par les quatre antennes, cela signifie qu'il a emprunté le canal de dérivation.

4.4. Secteur Chaudfontaine

Sur ce site, un dispositif plus complexe a été installé afin de pouvoir obtenir des données comportementales plus précises sur les mouvements des poissons. 5 antennes radios ont donc été installées (Figure 9) : 2 antennes aériennes (R01 & R04) placées en rive droite, respectivement à l'amont et à l'aval du barrage, ainsi que 3 antennes subaquatiques. La première (R02) est située à l'entrée de la turbine. La deuxième (R03) est en fait composée de trois antennes combinées situées à différents niveaux (entrée, milieu, sortie) de la passe à poisson. La troisième (R14) a été installée plus tardivement (9 avril 2020) à la sortie de la turbine (photographies en Annexe 11.4).



Figure 9 : Vue générale des antennes sur le secteur Chaudfontaine

L'antenne aérienne amont (R01) exerce probablement un recouvrement de détection par rapport aux antennes subaquatiques (R02, R03 et R14). Cela n'a pas d'incidence sur l'étude puisque les antennes subaquatiques ont un champ de détection plus réduit. Un smolt détecté par R02 et R14, ou R03, et par R01 se trouve donc forcément à proximité de la turbine ou dans la passe à poisson.

Les détections aux différentes antennes s'interprètent de la façon suivante (*Tableau 4*) :

Tableau 4 : Interprétation des détections aux différentes antennes sur le secteur Chaudfontaine

Détection	Interprétation
R01 (aérienne)	Le smolt est à proximité de la microcentrale (moins de 50 m)
R02 (subaquatique)	Le smolt est à l'entrée de la turbine
R03 (subaquatique)	Le smolt est dans la passe à poisson
R04 (aérienne)	Le smolt est à l'aval de l'ouvrage (moins de 200 m)
R14 (subaquatique)	Le smolt a traversé la turbine

4.5. Secteur Liège

Sur ce site, une seule antenne aérienne (R13) pointant vers l'aval a été installée en rive gauche du barrage de Grosses Battes (*Figure 10*). Celle-ci est utilisée comme point de contrôle pour confirmer la dévalaison des smolts de la Vesdre vers l'Ourthe. Un poisson détecté a donc franchi l'ouvrage (photographies en *Annexe 11.5*).



Figure 10 : Vue générale de l'antenne sur le secteur Liège

5. Protocole de capture et marquage

5.1. Généralités



Figure 11 : Marquage d'un smolt

Les poissons utilisés dans cette étude sont des poissons d'élevage destinés au repeuplement.

Peu de temps avant le marquage, les poissons sont préalablement endormis dans une solution de phénoxyéthanol. Une légère incision est alors réalisée avec un scalpel. La marque radio désinfectée à l'éthanol est ensuite implantée délicatement dans la cavité péritonéale du poisson, avant que l'incision ne soit refermée par 3 points de suture et désinfectée avec une goutte d'iode (*Figure 11*).

Toutes ces manipulations sont réalisées par des biologistes disposant des compétences requises au

niveau européen (FELASA) pour garantir le bien-être animal lors d'expérimentation scientifique utilisant des animaux vivants.

Lors des quatre campagnes de marquage, les individus ont été relâchés par lots sur quatre lieux de déversement (*Tableau 5 ; Figure 12*).

Tableau 5 : Adresse et coordonnées des lieux de déversement de chaque lot

Lot	Adresse	Coordonnées GPS
1	Avenue de la Rochette, 17, Chaudfontaine	50.584111, 5.655577
2	Rue de Voutenay, 647, Trooz	50.567393, 5.714815
3	Rue de Gomelevay, 1, Trooz	50.572970, 5.753442
4	Direction rue du trou renard, Goffontaine	50.565288, 5.763087

Pour ce projet, un total de N=209 smolts a été marqué à l'aide d'un émetteur radio au cours de 4 campagnes de marquage, les 31/03/2020, 07/04/2020, 15/04/2020 et 20/04/2020.

La taille moyenne des smolts était de 156 mm pour une masse moyenne de 43,4 g.

Le smolt le plus petit (#116) avait une taille de 133 mm pour une masse de 32 g.

Le smolt le plus grand (#127) avait une taille de 186 mm pour une masse de 77,5 g.

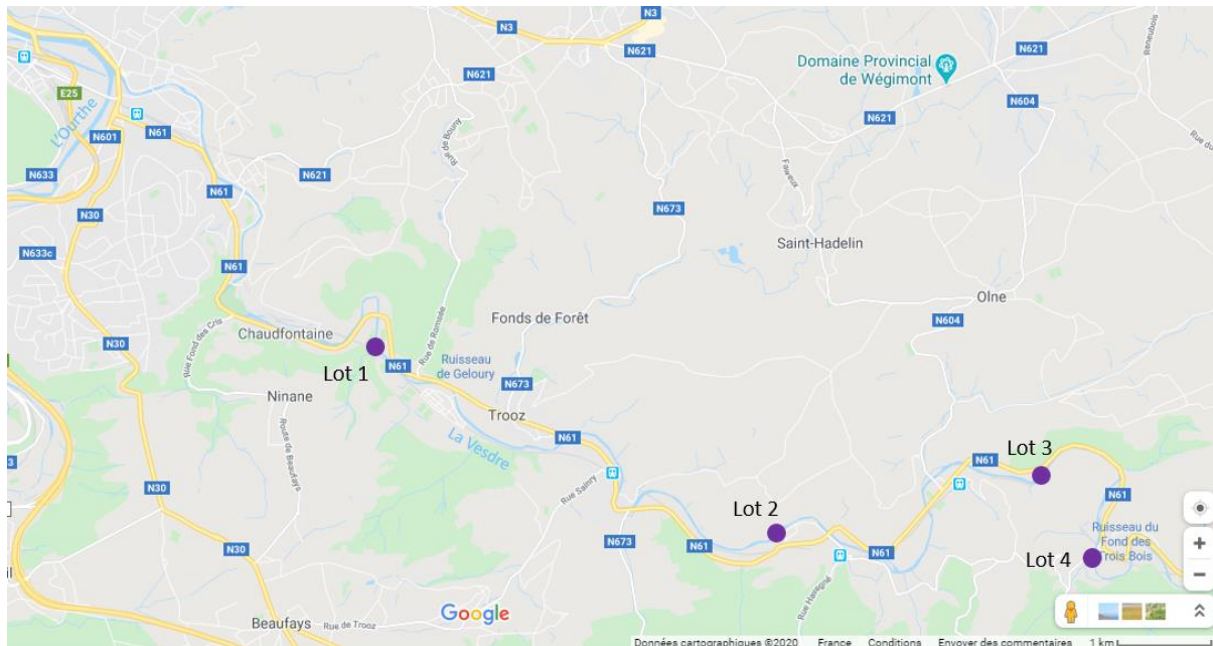


Figure 12 : Localisation des 4 lieux de déversement

Les conditions des 4 déversements sont données dans le *Tableau 6* :

Tableau 6 : Conditions environnementales des 4 campagnes de marquage et déversement des smolts dans la Vesdre

Lâchers	Date	Nombre d'individus	{O ₂ } Vesdre (mg/L)	Saturation Vesdre (%)	Température Vesdre (°C)	Température cuve (°C)
1	31/03/2020	50	11,1	95	8,6	5,2
2	07/04/2020	50	9,2	91	12,2	11,2
3	15/04/2020	50	11,2	108	8,0	6,2
4	20/04/2020	59	11,1	105	12,4	11,6

5.2. Première campagne de marquage – 31/03/2020

Un premier déversement a été réalisé le mardi 31 mars 2020 par l'équipe de l'ULg. Au cours de cette première campagne, n=50 smolts ont été marqués puis déversés dans la Vesdre (*Annexe 11.6*).

Le lot 1 composé de 15 smolts a été déversé à 14h29.

Le lot 2 composé de 15 smolts a été déversé à 14h40.

Le lot 3 composé de 10 smolts a été déversé à 12h12.

Le lot 4 composé de 10 smolts a été déversé à 12h12.

La fréquence radio utilisée lors de cette campagne est 150.720 MHz.

5.3. Deuxième campagne de marquage – 07/04/2020

Un deuxième déversement a été réalisé le mardi 7 avril 2020 par l'équipe de l'ULg. Au cours de cette deuxième campagne, n=50 smolts ont été marqués puis déversés dans la Vesdre (*Annexe 11.7*).

Le lot 1 composé de 15 smolts a été déversé à 14h35.

Le lot 2 composé de 15 smolts a été déversé à 14h25.

Le lot 3 composé de 10 smolts a été déversé à 12h00.

Le lot 4 composé de 10 smolts a été déversé à 12h10.

La fréquence radio utilisée lors de cette campagne est 150.740 MHz.

5.4. Troisième campagne de marquage – 15/04/2020

Un troisième déversement a été réalisé le mardi 14 avril 2020 par l'équipe de l'ULg. Au cours de cette troisième campagne, n=50 smolts ont été marqués puis déversés dans la Vesdre (*Annexe 11.8*).

Le lot 1 composé de 15 smolts a été déversé à 15h11.

Le lot 2 composé de 15 smolts a été déversé à 15h10.

Le lot 3 composé de 10 smolts a été déversé à 12h10.

Le lot 4 composé de 10 smolts a été déversé à 12h13.

La fréquence radio utilisée lors de cette campagne est 150.780 MHz.

5.5. Quatrième campagne de marquage – 20/04/2020

Un dernier déversement a été réalisé le lundi 20 avril 2020 par l'équipe de l'ULg. Au cours de cette quatrième campagne, n=60 smolts ont été marqués puis déversés dans la Vesdre (*Annexe 11.9*).

Le lot 1 composé de 15 smolts a été déversé à 15h50.

Le lot 2 composé de 9 + 15 smolts a été déversé à 15h39 puis 16h00.

Le lot 3 composé de 10 smolts a été déversé à 12h00.

Le lot 4 composé de 10 smolts a été déversé à 12h13.

Les fréquences radios utilisées lors de cette campagne sont 150.720 ; 150.740 et 150.780 MHz.

6. Résultats – Approche par site

6.1. Introduction

La période de collecte des données des stations radios s'est étendue du 31 mars 2020, date du premier déversement, jusqu'au 15 mai 2020.

Dans cette partie, nous analyserons les résultats via une approche par site d'étude, en procédant à une estimation de différents paramètres :

- Le taux de détection par lâcher, par lot et par site
- Le taux de franchissement par site
- Le délai de franchissement moyen par site
- Le taux d'utilisation de voie de passage par site

6.2. Définitions et méthodes de calcul

6.2.1. Taux de détection

Le taux de détection d'un site représente le nombre de poissons détectés à proximité de l'ouvrage étant donné le nombre total de poissons déversés. Le taux de détection est donné par la formule suivante :

$$\text{Taux de détection} = \frac{\text{N individus détectés à proximité de l'ouvrage}}{\text{N total individus déversés à l'amont}} \times 100$$

6.2.2. Taux de franchissement

Le taux de franchissement d'un site représente la proportion de poissons ayant franchi l'ouvrage (détectés en amont puis en aval), étant donné le nombre total de poissons déversés. Il sera ajusté en fonction du nombre de poissons détectés à proximité de l'ouvrage. Le taux de franchissement est donné par la formule suivante :

$$\text{Taux de franchissement} = \frac{\text{N individus détectés en aval de l'ouvrage}}{\text{N individus détectés en amont de l'ouvrage}} \times 100$$

6.2.3. Délai de franchissement

Le délai de franchissement d'un site représente l'intervalle de temps qui a été nécessaire pour un poisson pour traverser l'ouvrage. Le délai de franchissement moyen est donné par la formule suivante :

$$\text{Délai de franchissement moyen} = \frac{\sum_0^N [\text{Pd amont (i)} - \text{Pd aval (i)}]}{\text{N total individus ayant franchi l'ouvrage}}$$

P_d amont : Heure de la première détection d'un individu i en amont de l'ouvrage

P_d aval : Heure de la première détection de l'individu i en aval de l'ouvrage

6.2.4. Taux d'utilisation de voie de passage

Le taux d'utilisation de voie de passage représente le nombre de poissons ayant utilisé une voie de passage pour franchir un ouvrage. Il peut s'agir du barrage, de la vis d'Archimède ou de la passe à poisson. Ce paramètre ne pourra s'appliquer qu'aux sites de Trooz (C.) et Chaudfontaine (D.).

6.2.5. Limites de la méthode

Cette approche suppose que les poissons cherchent systématiquement à diriger vers l'aval de la Vesdre. Pour favoriser ce comportement, nous avons déversé les smolts durant la période propice à leur dévalaison. Cependant, il s'agit de saumons d'élevage destinés à la consommation. Certains d'entre eux ont pu remonter le cours d'eau ce qui peut légèrement biaiser les résultats. Seulement 2 cas ont été détectés, ce qui influencera finalement peu les résultats.

Dans le cadre de ce projet, les taux d'utilisation de voies de passage sont déterminées seulement pour les barrages Bacquelaine à Chaudfontaine et de la Fenderie à Trooz. En effet, seuls ces 2 sites ont été équipés de suffisamment d'antennes pour pouvoir déterminer les voies de franchissements de l'ouvrage privilégiées par les poissons.

6.3. Nombre de poissons détectés par le système

Sur les 209 individus marqués par radio, 114 individus ont été détectés par au moins une antenne du système. Soit un taux global de détection de $\frac{114}{209} \times 100 = 54,5 \%$.

Les taux de détection par lâcher et par lot sont répertoriés dans le *Tableau 7*.

Tableau 7 : Taux de détection des smolts par lâcher et par lot

Lot	Smolts	Lâcher 1 (31/03/2020)	Lâcher 2 (07/04/2020)	Lâcher 3 (15/04/2020)	Lâcher 4 (20/04/2020)	Taux de détection par lot
4	Déversés	10	10	10	10	40,0 %
	DéTECTÉS	2	2	6	6	
3	Déversés	10	10	10	10	72,5 %
	DéTECTÉS	4	8	9	8	
2	Déversés	15	15	15	24	49,3 %
	DéTECTÉS	2	4	11	17	
1	Déversés	15	15	15	15	58,3 %
	DéTECTÉS	4	8	10	13	
Taux de détection par lâcher		24,0 %	44,0 %	72,0 %	74,6 %	54,5 %

6.4. Résultats pour le secteur Nessonvaux

6.4.1. Récapitulatif des poissons déversés à l'amont

Au cours de l'étude, 80 smolts ont été déversés en amont du barrage de Nessonvaux à 4 dates différentes de déversements :

- Lâcher n°1 (31/03/2020) : 10 smolts au lot 3 et 10 smolts au lot 4
- Lâcher n°2 (07/04/2020) : 10 smolts au lot 3 et 10 smolts au lot 4
- Lâcher n°3 (15/04/2020) : 10 smolts au lot 3 et 10 smolts au lot 4
- Lâcher n°4 (20/04/2020) : 10 smolts au lot 3 et 10 smolts au lot 4

39 smolts ont été détectés par les antennes aériennes (R11 & R12) positionnées sur le secteur Nessonvaux. Soit un taux de détection de $\frac{39}{80} \times 100 = 48,8 \%$.

6.4.2. Estimation du taux et du délai de franchissement

Le taux de franchissement du barrage de Nessonvaux est estimé par :

$$\frac{\text{N individus détectés en aval de l'ouvrage}}{\text{N individus détectés en amont de l'ouvrage}} \times 100 = \frac{29}{39} \times 100 = 74,4 \%$$

Le délai de franchissement moyen du barrage de Nessonvaux est de 9 heures 14 minutes et 59 secondes.

6.5. Résultats pour le secteur Fraipont

6.5.1. Récapitulatif des poissons déversés à l'amont

Au cours de l'étude, 80 smolts ont été déversés en amont du barrage de Fraipont à 4 dates différentes de déversements :

- Lâcher n°1 (31/03/2020) : 10 smolts au lot 3 et 10 smolts au lot 4
- Lâcher n°2 (07/04/2020) : 10 smolts au lot 3 et 10 smolts au lot 4
- Lâcher n°3 (15/04/2020) : 10 smolts au lot 3 et 10 smolts au lot 4
- Lâcher n°4 (20/04/2020) : 10 smolts au lot 3 et 10 smolts au lot 4

32 smolts ont été détectés par les antennes aériennes (R09 & R10) positionnées sur le secteur Fraipont.

Soit un taux de détection de $\frac{32}{80} \times 100 = 40,0 \%$.

Néanmoins, 2 smolts (#106 et #198) détectés venaient de l'aval du cours d'eau. On obtient donc un taux de détection ajusté de $\frac{30}{80} \times 100 = 37,5 \%$.

Les 29 smolts ayant franchi le barrage de Nessonvaux ont tous atteint celui de Fraipont.

De plus, le smolt #40 a été détecté sur le secteur Fraipont sans l'avoir été à Nessonvaux.

6.5.2. Estimation du taux et du délai de franchissement

Le taux de franchissement du barrage de Fraipont est estimé par :

$$\frac{\text{N individus détectés en aval de l'ouvrage}}{\text{N individus détectés en amont de l'ouvrage}} \times 100 = \frac{19}{30} \times 100 = 63,3 \%$$

Le délai de franchissement moyen du barrage de Fraipont est de 6 heures 14 minutes et 5 secondes.

Le smolt #106 a franchi le barrage de l'aval vers l'amont puis de l'amont vers l'aval et le smolt #198 a franchi le barrage de l'aval vers l'amont. Ces derniers ne sont pas pris en compte dans les calculs précédents.

6.6. Résultats pour le secteur Trooz

6.6.1. Récapitulatif des poissons déversés à l'amont

Au cours de l'étude, 149 smolts ont été déversés en amont du barrage de la Fenderie à Trooz à 4 dates différentes de déversements :

- Lâcher n°1 (31/03/2020) : 15 smolts au lot 2, 10 smolts au lot 3 et 10 smolts au lot 4
- Lâcher n°2 (07/04/2020) : 15 smolts au lot 2, 10 smolts au lot 3 et 10 smolts au lot 4
- Lâcher n°3 (15/04/2020) : 15 smolts au lot 2, 10 smolts au lot 3 et 10 smolts au lot 4
- Lâcher n°4 (20/04/2020) : 24 smolts au lot 2, 10 smolts au lot 3 et 10 smolts au lot 4

54 smolts ont été détectés par les antennes aériennes (R05 & R08) ou subaquatiques (R06 & R07) positionnées sur le secteur Trooz. Soit un taux de détection de $\frac{54}{149} \times 100 = 36,2 \%$.

Sur les 19 smolts ayant franchi le barrage de Fraipont, 6 n'ont pas atteint celui de la Fenderie.

Le smolt #70 est considéré comme mort en aval du barrage de Fraipont (détecté en R10 du 18 avril 2020 jusqu'au 11 mai 2020).

6.6.2. Estimation du taux et du délai de franchissement

Le taux de franchissement du barrage de la Fenderie est estimé par :

$$\frac{N \text{ individus détectés en aval de l'ouvrage}}{N \text{ individus détectés en amont de l'ouvrage}} \times 100 = \frac{40}{54} \times 100 = 74,1 \%$$

Le délai de franchissement moyen du barrage de la Fenderie est de 11 heures 19 minutes et 1 seconde.

6.6.3. Taux d'utilisation de voie de passage

D'après les relevés de données des antennes subaquatiques présentes à l'entrée (R06) et au milieu (R07) du canal de dérivation menant à la turbine, aucun smolt n'aurait emprunté cette voie pour franchir l'ouvrage.

Le taux d'utilisation de voie de passage du barrage de la Fenderie est donc de 100 %.

6.7. Résultats pour le secteur Chaudfontaine

6.7.1. Récapitulatif des poissons déversés à l'amont

Au cours de l'étude, 209 smolts ont été déversés en amont du barrage Bacquelaine à Chaudfontaine à 4 dates différentes de déversements :

- Lâcher n°1 (31/03/2020) : 15 smolts au lot 1, 15 smolts au lot 2, 10 smolts au lot 3 et 10 smolts au lot 4
- Lâcher n°2 (07/04/2020) : 15 smolts au lot 1, 15 smolts au lot 2, 10 smolts au lot 3 et 10 smolts au lot 4
- Lâcher n°3 (15/04/2020) : 15 smolts au lot 1, 15 smolts au lot 2, 10 smolts au lot 3 et 10 smolts au lot 4
- Lâcher n°4 (20/04/2020) : 15 smolts au lot 1, 24 smolts au lot 2, 10 smolts au lot 3 et 10 smolts au lot 4

74 smolts ont été détectés par les antennes aériennes (R01 & R04) ou subaquatiques (R02, R03 & R14) positionnées sur le secteur Chaudfontaine. Soit un taux de détection de $\frac{74}{209} \times 100 = 35,4 \%$.

Les 40 smolts ayant franchi le barrage de la Fenderie ont tous atteint celui de Bacquelaine.

6.7.2. Estimation du taux et du délai de franchissement

Le taux de franchissement du barrage de Bacquelaine est estimé par :

$$\frac{N \text{ individus détectés en aval de l'ouvrage}}{N \text{ individus détectés en amont de l'ouvrage}} \times 100 = \frac{66}{74} \times 100 = 89,2 \%$$

Le délai de franchissement moyen du barrage de Bacquelaine est de 5 heures 8 minutes et 50 secondes.

6.7.3. Taux d'utilisation de voie de passage

Les relevés des différentes antennes du secteur Chaudfontaine montrent que parmi les 66 individus ayant franchi l'ouvrage (détectés en R01 et en R04) :

- 33 smolts ont passés par la vis d'Archimède (détectés en R02 puis en R14) soit 50,0 %
- 1 smolt a emprunté la passe à poisson (détecté seulement en R03) soit 1,5 %
- 32 sont passés par-dessus le barrage soit 48,5 %

Par ailleurs, certains smolts ont été détectés à l'entrée de la turbine ou de la passe à poisson en première approche mais ont finalement empruntés une voie de passage différente (*Annexe 11.10*).

Les smolts #104 (détecté en R14 du 17 avril 2020 jusqu'au 11 mai 2020) et #115 (détecté en R04 du 21 avril 2020 jusqu'au 11 mai 2020) sont considérés comme morts après leur passage dans la vis d'Archimède.

6.8. Résultats pour le secteur Liège

6.8.1. Récapitulatif des poissons détectés

Au cours de l'étude, 53 smolts ont été détectés en aval du barrage de Grosses Battes par l'antenne aérienne (R13) positionnées sur le secteur Liège. Soit un taux de détection de $\frac{53}{209} \times 100 = 25,4 \%$.

Cela signifie qu'environ un quart des smolts déversés ont rejoint l'Ourthe.

Cependant, en ajustant le taux de détection par rapport au nombre de smolts ayant franchi le barrage Bacquelaine, on obtient $\frac{53}{66} \times 100 = 80,3 \%$.

6.8.2. Délai d'arrivée

Le délai d'arrivée moyen au barrage de Grosses Battes est de 93 heures et 49 minutes. Les délais d'arrivée par lâcher et par lot sont répertoriés dans le *Tableau 8*.

Tableau 8 : Délai d'arrivée des smolts au barrage de Grosses Battes (Secteur Liège) par lâcher et par lot

	Lâcher 1 (31/03/2020)	Lâcher 2 (07/04/2020)	Lâcher 3 (15/04/2020)	Lâcher 4 (20/04/2020)	Délai moyen par lot (N ind)
Lot 4	134:19 (1)	105:42 (1)	81:28 (1)	136:05 (1)	114:24 (4)
Lot 3	120:31 (2)	-	81:56 (3)	141:54 (3)	114:47 (8)
Lot 2	-	79:19 (1)	59:35 (7)	114:41 (12)	84:32 (20)
Lot 1	145:13 (2)	92:19 (4)	62:40 (8)	81:14 (7)	95:22 (21)
Délai moyen par lâcher (N ind)	133:21 (5)	92:67 (6)	71:25 (19)	118:29 (23)	93:49 (53)

7. Résultats – Approche globale

Les graphiques suivants (*Figure 13 ; Figure 14*) représentent l'avancement de la dévalaison de chaque smolt détecté au moins une fois sur l'ensemble du système. La distance parcourue (km) par un smolt est représentée en fonction du temps (jours ; heures). Le débit (m^3/s) et la température ($^{\circ}\text{C}$) sont également tracés en fonction du temps.

Les graphiques par lâcher sont disponibles en *Annexe 11.11 ; Annexe 11.12 ; Annexe 11.13 ; Annexe 11.14 ; Annexe 11.15 ; Annexe 11.16 ; Annexe 11.17 et Annexe 11.18*.

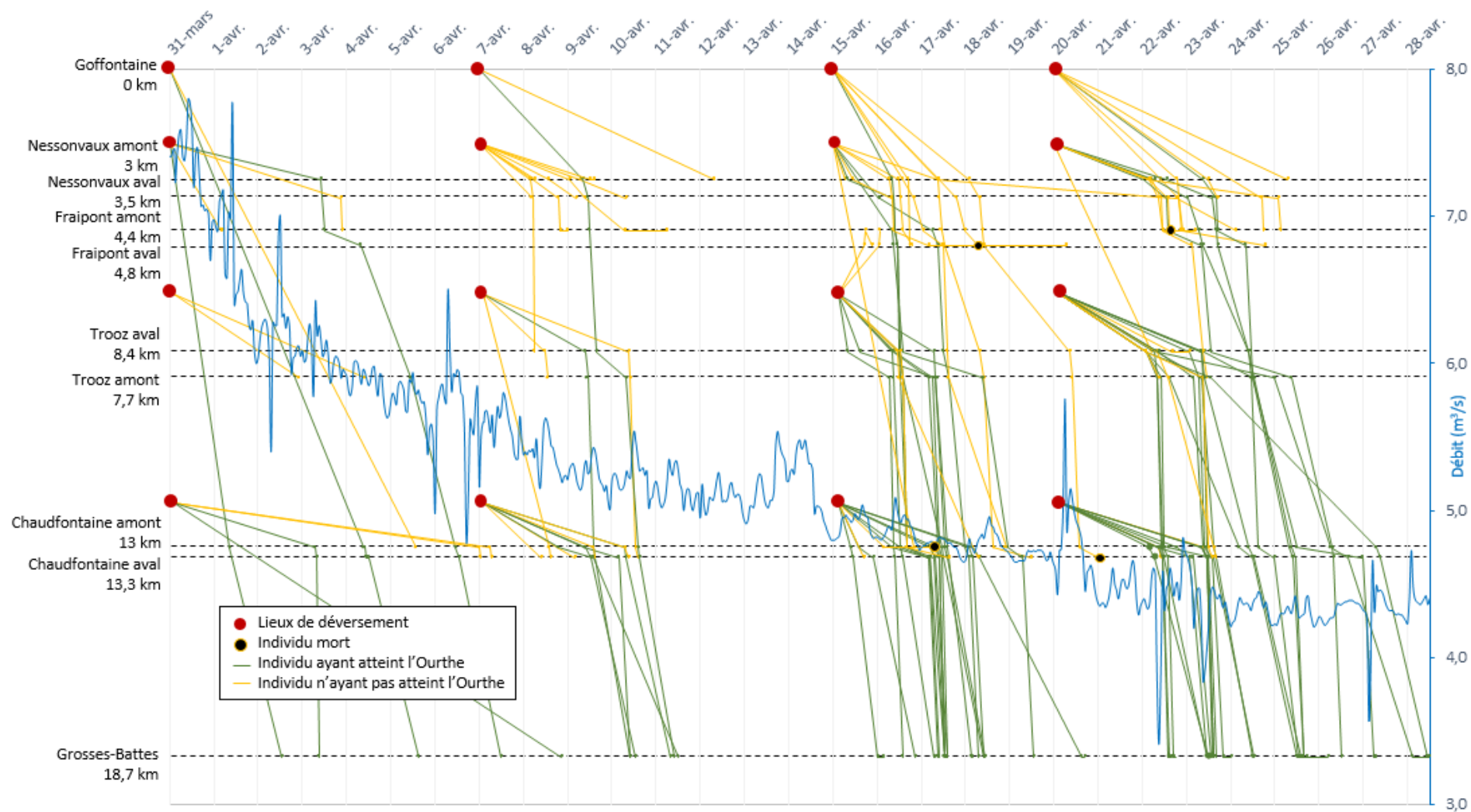


Figure 13 : Graphique de dévalaison des smolts sur la Vesdre en fonction du débit

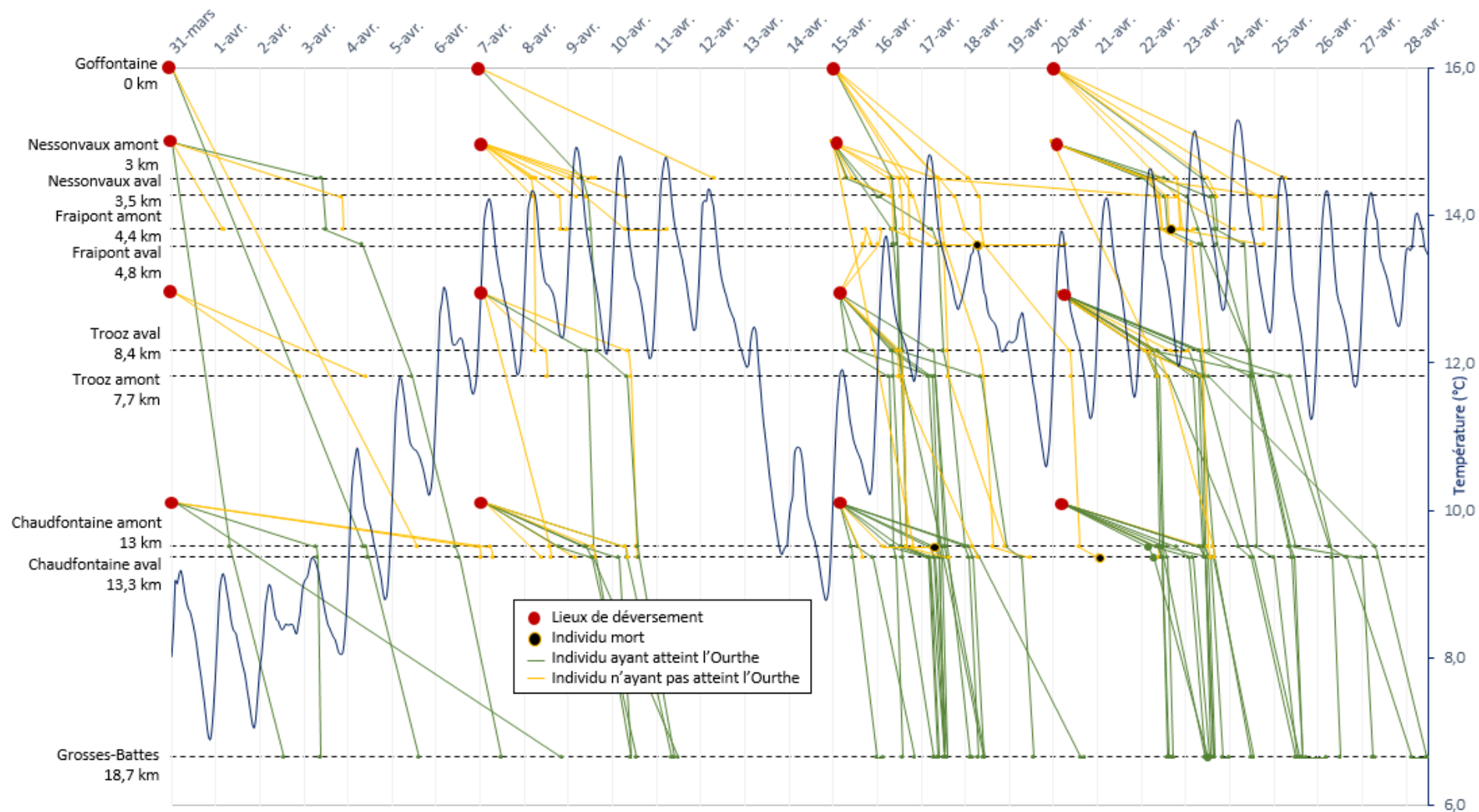


Figure 14 : Graphique de dévalaison des smolts sur la Vesdre en fonction de la température

8. Discussion

8.1. Validité de la méthode

Au cours de cette étude, nous avons déversé à quatre dates différentes des smolts pour étudier leur comportement en dévalaison face aux ouvrages hydrauliques présents sur la Vesdre. Bien que les poissons ait été issus d'une pisciculture, la majorité d'entre eux à entamer sa migration.

Cependant, d'après les taux de détections reportés dans le *Tableau 9*, les deux premiers déversements semblent avoir été effectués trop précocement. En effet, les taux pour les lâchers 3 et 4 sont nettement supérieurs à ceux des lâchers 1 et 2.

Tableau 9 : Récapitulatif des taux de détection des smolts par lâcher

	Lâcher 1 (31/03/2020)	Lâcher 2 (07/04/2020)	Lâcher 3 (15/04/2020)	Lâcher 4 (20/04/2020)
Taux de détection	24,0 %	44,0 %	72,0 %	74,6 %

8.2. Franchissements des ouvrages

Les ouvrages hydrauliques présents sur la Vesdre sont des obstacles à la dévalaison des smolts. Malgré des taux de franchissement corrects (*Tableau 10*), on observe un ralentissement certain de la progression des smolts à leur approche d'après les valeurs des délais moyens de franchissement (*Tableau 10*) et les graphiques de dévalaison (*Figure 13* ; *Figure 14*).

Tableau 10 : Récapitulatif des taux et délais de franchissement des smolts par site

	Barrage de Nessonvaux	Barrage de Fraipont	Barrage de la Fenderie	Barrage de Bacquelaine
Taux de franchissement	74,4 %	63,3 %	74,1 %	89,2 %
Délai moyen de franchissement	9:14:59	6:14:05	11:19:01	5:08:50

La présence d'une passe à poisson sur le barrage de Bacquelaine a peu d'incidence sur la dévalaison des smolts car elle a été très peu utilisée (taux d'utilisation = 1,5 %). En comparaison, lors d'une étude sur le franchissement des ouvrages en montaison en 2018, 93 % des individus étudiés avaient utilisé ce passage (Watthez et al. 2018).

Cette étude a aussi pour objectif de connaître l'impact des vis d'Archimède dites « fish-friendly » sur la migration piscicole. Au barrage de Bacquelaine, la vis semble être une voie de passage privilégiée par les smolts (taux d'utilisation = 50,0 %). Nous avons tout de même constaté 2 individus morts (#104 et #115) sur un total de 33 smolts ayant emprunté cette voie.

8.3. Impact des conditions hydrauliques et de température

D'après les graphiques de dévalaison (*Figure 13 ; Figure 14*), on constate que les vitesses de migration sont globalement plus élevées lors des pics de température. Ce phénomène est surtout marqué pour les lâchers 3 et 4.

De plus, une chute brutale du débit cumulé à une température en hausse, particulièrement notable entre le 22 et le 24 avril, semble provoquer une accélération de la dévalaison chez certains individus.

Une analyse statistique plus poussée pourrait permettre ou non de mettre ces éléments en évidence.

8.4. Variabilité des comportements

Les résultats obtenus au cours de cette étude, démontrent qu'il existe une grande variabilité de comportements intra-spécifique. En effet, des poissons d'une même espèce, aux origines identiques et aux caractéristiques physiques semblables ne se comportent pas de la même façon.

Cette observation est notamment illustrée par la comparaison entre les individus suivants :

- Le smolt #100, d'une masse de 40 g pour une taille de 154 mm
- Le smolt #189, d'une masse de 45 g pour une taille de 158 mm

Ces deux individus aux caractéristiques biométriques similaires, déversés au quatrième lâcher (20/04/2020) au lot 2 à 15:39, et donc dans des conditions environnementales identiques, ont eu des comportements très différents. Le smolt #189 a effectué un voyage de 12,6 km en 2 jours 13 heures et 24 minutes, alors qu'il a fallu 8 jours 7 heures et 9 minutes au smolt #100 pour dévaler la même distance et atteindre le barrage de Grosses Battes. Leurs vitesses de dévalaison sont ainsi significativement différentes. Leurs délais de franchissement des ouvrages des secteurs Trooz et Chaudfontaine varie également (*Tableau 11*).

Tableau 11 : Différence des délais de franchissement et des vitesses de dévalaison des smolts #100 et #189

Smolt	Barrage de la Fenderie (Troof)	Barrage de Bacquelaine (Chaudfontaine)	Arrivée au barrage de Grosses Battes (Liège)	Délai d'arrivée	Vitesse moyenne de dévalaison (km/j)
#100	34:34:37	2:04:26	28/04/2020 22:48:17	8 jours 7 heures et 9 minutes	1,52 km/jour
#189	6:54:44	0:33:29	23/04/2020 5:03:21	2 jours 13 heures et 24 minutes	4,93 km/jour

8.5. Impact d'un ouvrage intermédiaire

Le secteur étudié comprend deux barrages intermédiaires n'ayant pas été équipés d'un système d'antennes radios :

- Le barrage de Goffontaine situé à Goffontaine, Trooz (Coordonnées GPS : 50.568200, 5.762766) juste en aval du lieu de déversement n°4, avec une faible pente et une hauteur de chute de 1,5 m (Philippart et al. 2013).
- Le barrage de Gamby est situé rue de Gomelay à Trooz (Coordonnées GPS : 50.572799, 5.753744) juste en amont du lieu de déversement n°3, avec une forte pente et une hauteur de chute d'environ 3 m (Philippart et al. 2013).

La différence du taux de détection au cours de l'étude entre les smolts du lot 3 (72,5 %) et ceux du lot 4 (40,0 %) pourrait donc être expliquée par la présence de ces barrages ayant une hauteur de chute conséquente et dépourvus d'ouvrages de franchissement piscicoles.

9. Conclusion

Environ la moitié des smolts déversés dans la Vesdre ont été détectés par nos systèmes d'antennes radios. Parmi eux, la moitié a atteint l'Ourthe, soit un quart de la totalité de l'échantillon. Les ouvrages hydrauliques engendrent un ralentissement de la dévalaison pour la plupart des individus et ont parfois impact sur leur survie. En effet, d'après les délais de franchissement, certains smolts ont dépensé une quantité non négligeable d'énergie pour trouver une voie de passage. De plus, leur mise en mouvement et leur vitesse de progression est impactée par la température de l'eau et le débit.

La vis d'Archimède présente au barrage de Bacquelaine a été utilisée par la moitié des smolts ayant franchi l'ouvrage. Deux d'entre eux sont décédés suite à leur passage dans la turbine. Cependant, la vis d'Archimède est tout de même considérée comme un passage sécurisé pour les poissons comme l'a montré l'étude de Renardy et al. sur le barrage de Méry (Ourthe) en 2020.

Le développement des énergies renouvelables, encouragé par la conférence de Kyoto, est un enjeu majeur. L'hydroélectricité est la plus répandue mais peut engendrer des effets négatifs sur les milieux. Comme démontré dans cette étude, les barrages hydroélectriques impactent la migration des espèces piscicoles. Pour répondre à ces enjeux, la Belgique étudie la possibilité d'aménager ou de réhabiliter certains barrages ou moulins (Philippart et Sonny 2003). L'objectif global de cette étude qui pourra par la suite être étendue à d'autres espèces amphihalines, est donc d'évaluer les impacts de tels aménagements afin de proposer des solutions durables économiquement et écologiquement.

Ce stage de fin d'études m'a permis de mettre en pratique mes connaissances mais aussi de les enrichir. J'ai pu appréhender de façon plus poussée la gestion et la réalisation de projet. Je pense également avoir progressé en autonomie et en organisation. L'ichtyologie est réellement un domaine pour lequel je souhaiterais m'investir dans ma carrière professionnelle. De plus, les compétences de Profish Technology en télémétrie m'ont fait découvrir un formidable outil que j'aimerais utiliser à nouveau, car il est applicable à de nombreuses études d'espèces, notamment lors de projets de restauration de la continuité écologique pour la faune aquatiques.

Pour conclure, diplômé, je souhaite m'orienter vers le travail en bureau d'étude afin de mettre en application ces nouvelles compétences. Le fait de pouvoir contribuer à différents projets de recherche est un aspect qui m'attire également.

10. Bibliographie

- Philippart, Jean-Claude, Michaël Ovidio, et Pascal Poncin. 2014. « Le suivi des populations de poissons après repoissonnements ». <http://hdl.handle.net/2268/174478>.
- Philippart, J.C., M. Ovidio, G. Rimbaud et P. Poncin, 2013. Essai d'estimation des dommages piscicoles engendrés par les prises d'eau industrielles et les turbines hydroélectriques dans les cours d'eau de la Province de Liège. Partie F. Chapitre 7. Les centrales hydro-électriques sur la Vesdre. Rapport pour l'année 2013 à la Commission provinciale de Liège du Fonds piscicole de Wallonie, Université de Liège LDPH, 187 pages+annexes (décembre 2013).
- Philippart, Jean-Claude, et Damien Sonny. 2003. « Vers une production d'hydroélectricité plus respectueuse du milieu aquatique et de sa faune ». Tribune de l'eau.
- PROFISH TECHNOLOGY. *Profish Technology : Etudes appliquées en écologie des poissons* [en ligne]. [réf. 2020]. Disponible sur : <<https://www.profish-technology.be/>> (12/02/2020)
- Renardy, Séverine, Jean-Philippe Benitez, Amandine Tauzin, Arnaud Dierckx, Billy Nzau Matondo, et Michaël Ovidio. 2020. « How and Where to Pass? Atlantic Salmon Smolt's Behaviour at a Hydropower Station Offering Multiple Migration Routes ». *Hydrobiologia* 847 (2): 469-85. <https://doi.org/10.1007/s10750-019-04108-w>.
- Watthez, Q., D. Goffaux, D. Sonny, M. Ovidio, J.P. Benitez, et A. Dierckx. 2018. « Etude du franchissement de 3 passes à poissons sur la Vesdre aval en 1° catégorie ».

11. Annexes

11.1. Annexe 1 : Photographies des antennes sur le secteur Nessonvaux



Antennes aériennes amont R11 (à gauche) et aval R12 (à droite)

11.2. Annexe 2 : Photographies des antennes sur le secteur Fraipont



Antennes aériennes amont R09 (à gauche) et aval R10 (à droite)

11.3. Annexe 3 : Photographies des antennes sur le secteur Trooz



Antennes aériennes amont R05 (à gauche) et aval R08 (à droite)



Antennes subaquatiques à l'entrée du canal de dérivation R06 (à gauche) et à la sortie R07 (à droite)

11.4. Annexe 4 : Photographies des antennes sur le secteur Chaudfontaine



Antennes aériennes amont R01 (à gauche) et aval R04 (à droite)

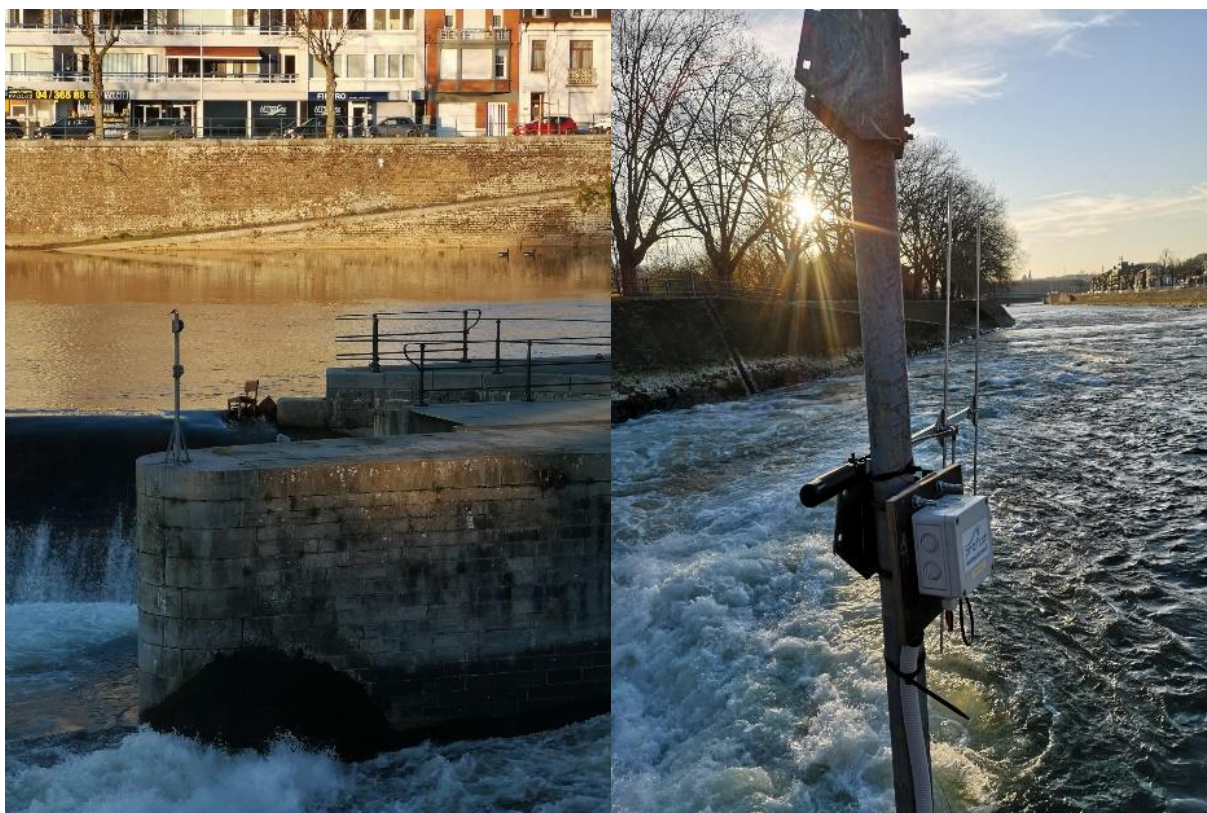


Antennes subaquatiques à l'entrée de la vis d'Archimède R02 (à gauche) et à la sortie R14 (à droite)



Système de 3 antennes subaquatiques dans la passe à poisson R03

11.5. Annexe 5 : Photographies des antennes sur le secteur Liège



Antenne aérienne en aval de l'ouvrage R13

11.6. Annexe 6 : Biométrie et zone de déversement des smolts issus de la première campagne de marquage – 31/03/2020

Lot	Taille (mm)	Masse (g)	Code radio	Référence tag
1	156	34	177	I3D059
1	139	32	52	I3D054
1	143	34	22	I3D068
1	135	30	64	I3D021
1	159	45	111	I3D039
1	150	40	93	I3D029
1	150	40	150	I3D030
1	155	42	181	I3D038
1	162	58	166	I3D051
1	140	32	120	I3D008
1	143	32	212	I3D015
1	151	40	24	I3D018
1	142	36	61	I3D013
1	156	42	155	I3D041
1	150	40	164	I3D019
2	159	47,2	154	I3D025
2	166	49,6	40	I3D006
2	165	50,7	210	I3D028
2	156	42,1	6	I3D045
2	159	41,7	139	I3D064
2	139	32,5	33	I3D023
2	142	30,3	44	I3D071
2	153	37,3	110	I3D016
2	160	47,4	73	I3D026
2	161	52,1	122	I3D050
2	153	40,4	200	I3D011
2	155	42,5	53	I3D063
2	145	33	63	I3D044
2	157	40,6	83	I3D058
2	148	37,5	186	I3D052

3	161	50	121	I3D004
3	154	38,6	109	I3D002
3	147	34,6	152	I3D010
3	161	47,6	178	I3D007
3	164	47,3	203	I3D070
3	151	35,2	193	I3D009
3	140	32,8	80	I3D067
3	151	35,7	159	I3D022
3	151	39,9	133	I3D057
3	146	49,6	89	I3D069
4	149	40	2	I3D003
4	149	36	18	I3D005
4	167	52	62	I3D040
4	139	32	138	I3D001
4	163	48	34	I3D056
4	141	34	92	I3D061
4	158	44	46	I3D020
4	145	36	1	I3D062
4	133	32	116	I3D055
4	152	41	82	I3D066

11.7. Annexe 7 : Biométrie et zone de déversement des smolts issus de la deuxième campagne de marquage – 07/04/2020

Lot	Taille (mm)	Masse (g)	Code radio	Référence tag
1	145	32	180	I3D314
1	157	44	201	I3D316
1	160	48	8	I3D321
1	149	36	179	I3D323
1	154	38	157	I3D326
1	155	44	130	I3D329
1	161	42	55	I3D330
1	157	44	182	I3D341
1	145	32	112	I3D347
1	150	40	90	I3D352
1	162	48	117	I3D353
1	164	48	58	I3D355
1	154	41	59	I3D360
1	161	46	94	I3D361
1	157	44	101	I3D363
2	147	41	11	I3D303
2	154	39,5	102	I3D311
2	169	53,3	113	I3D313
2	172	59	153	I3D319
2	142	32,7	161	I3D324
2	161	42,7	140	I3D325
2	146	30,6	74	I3D336
2	165	50,5	174	I3D337
2	163	48,2	29	I3D344
2	160	47,6	10	I3D359
2	157	45	67	I3D364
2	149	38	15	I3D365
2	162	49,8	78	I3D366
2	153	41,6	3	I3D369
2	159	37,5	47	I3D371

3	164	49	23	I3D304
3	145	29,7	51	I3D320
3	166	49	75	I3D333
3	149	33,4	188	I3D335
3	146	33,5	86	I3D342
3	151	36,8	168	I3D349
3	148	47,7	202	I3D354
3	157	44,5	19	I3D356
3	172	60,3	26	I3D357
3	154	41,6	118	I3D362
4	156	40	151	I3D309
4	151	36	137	I3D318
4	154	44	148	I3D334
4	141	32	31	I3D343
4	139	30	190	I3D346
4	155	40	135	I3D348
4	157	44	35	I3D350
4	153	46	41	I3D351
4	162	46	96	I3D358
4	151	38	125	I3D367

11.8. Annexe 8 : Biométrie et zone de déversement des smolts issus de la troisième campagne de marquage – 15/04/2020

Lot	Taille (mm)	Masse (g)	Code radio	Référence tag
1	158	46	68	I3D563
1	184	72	16	I3D565
1	150	38	65	I3D564
1	148	36	104	I3D541
1	157	42	72	I3D539
1	160	50	49	I3D546
1	166	50	211	I3D570
1	160	44	176	I3D505
1	158	46	132	I3D517
1	168	54	192	I3D519
1	146	36	103	I3D525
1	148	38	76	I3D501
1	146	36	7	I3D566
1	153	48	87	I3D561
1	166	46	167	I3D528
2	164	50,2	106	I3D571
2	165	45,2	48	I3D562
2	165	49,5	162	I3D516
2	174	62,9	77	I3D551
2	167	53,4	95	I3D534
2	163	48,4	191	I3D556
2	154	42,5	134	I3D531
2	163	46,8	21	I3D560
2	160	47,6	209	I3D559
2	149	36,8	38	I3D548
2	155	39,8	107	I3D527
2	173	58,2	17	I3D530
2	143	33,6	97	I3D523
2	153	41,9	198	I3D547
2	169	53,3	36	I3D515

3	159	44,9	4	I3D514
3	137	30,5	114	I3D542
3	144	32,5	158	I3D557
3	160	48,4	45	I3D512
3	146	35,5	12	I3D510
3	150	38,5	88	I3D508
3	160	49,6	194	I3D503
3	150	34,9	160	I3D506
3	159	47,4	143	I3D518
3	156	45,2	60	I3D526
4	154	44	131	I3D552
4	158	44	42	I3D554
4	144	38	124	I3D535
4	145	36	115	I3D537
4	155	42	5	I3D549
4	167	50	70	I3D532
4	152	40	43	I3D540
4	160	42	27	I3D509
4	152	40	169	I3D502
4	156	46	141	I3D522

11.9. Annexe 9 : Biométrie et zone de déversement des smolts issus de la quatrième campagne de marquage – 20/04/2020

Lot	Taille (mm)	Masse (g)	Code radio	Référence tag
1	157	42	54	I3D567
1	154	42	123	I3D543
1	186	66	145	I3D511
1	152	40	187	I3D550
1	162	46	30	I3D538
1	157	42	172	I3D533
1	176	66	129	I3D513
1	163	44	105	I3D545
1	160	46	9	I3D504
1	176	66	66	I3D520
1	161	46	50	I3D558
1	156	42	195	I3D507
1	168	56	32	I3D331
1	160	46	14	I3D317
1	143	32	99	I3D569
2	168	49,8	204	I3D047
2	162	48,2	183	I3D037
2	164	50,5	79	I3D014
2	167	54,3	119	I3D042
2	160	49,6	146	I3D049
2	159	48,5	197	I3D048
2	148	34,5	108	I3D065
2	186	77,5	127	I3D034
2	170	48,3	175	I3D032
2	161	49,1	199	I3D035
2	161	46,8	28	I3D012
2	155	42,5	149	I3D017
2	163	44,3	81	I3D033
2	164	50,4	13	I3D053
2	172	55,5	205	I3D027

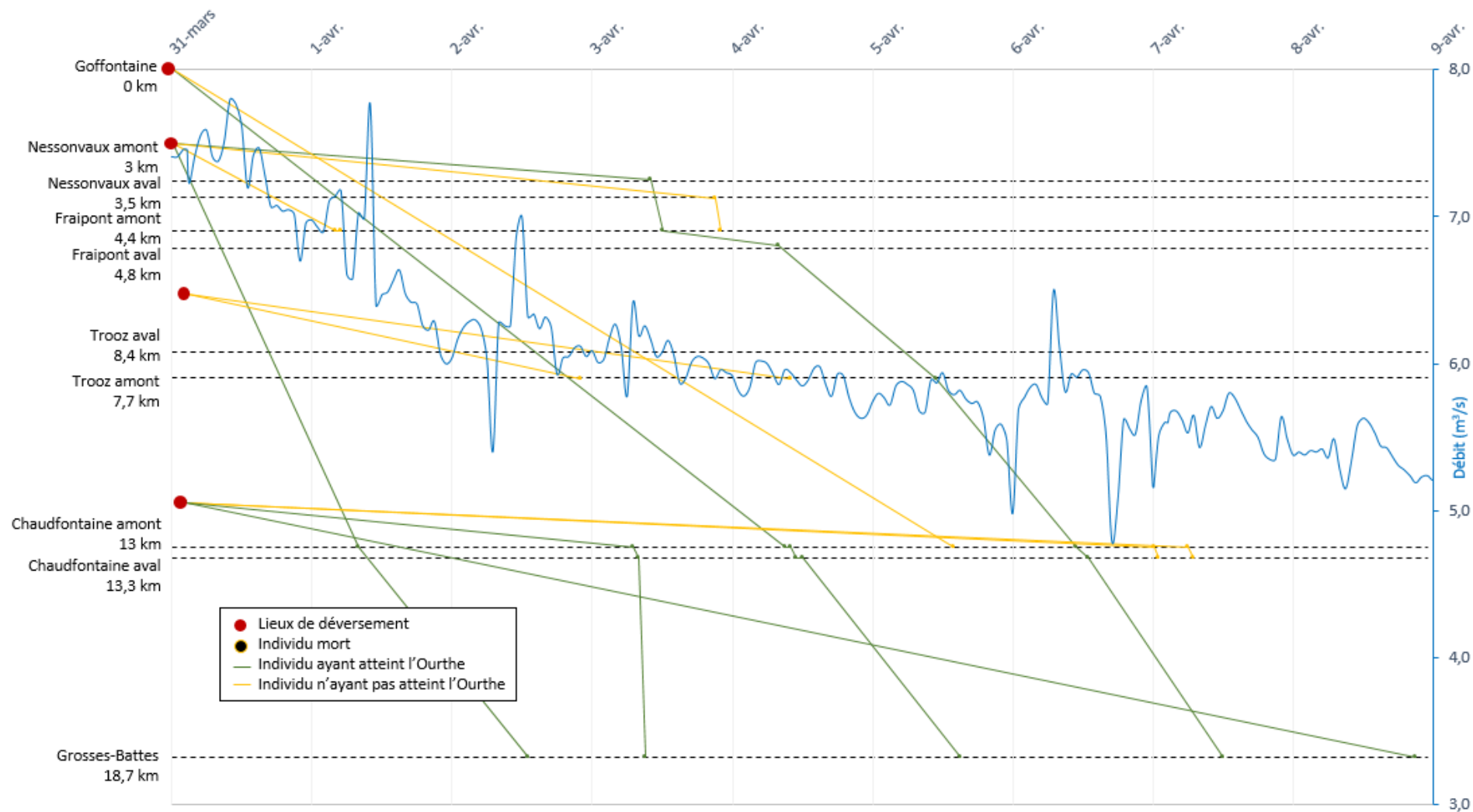
2b	154	40	100	I3D368
2b	158	45	189	I3D345
2b	165	50,5	128	I3D308
2b	171	40,2	208	I3D339
2b	179	62	20	I3D306
2b	157	40,2	196	I3D338
2b	177	62	85	I3D302
2b	162	48	91	I3D332
2b	157	46	173	I3D327
3	165	50,5	165	I3D305
3	157	41,9	147	I3D301
3	144	36	57	I3D328
3	152	38,2	37	I3D370
3	157	44,1	69	I3D340
3	166	50,3	142	I3D060
3	153	35,3	171	I3D024
3	161	50,1	39	I3D043
3	157	47,7	98	I3D036
3	155	43,7	184	I3D031
4	159	46	185	I3D521
4	172	52	207	I3D555
4	160	46	206	I3D524
4	170	55	56	I3D568
4	156	44	163	I3D553
4	158	42	71	I3D529
4	172	56	25	I3D536
4	156	38	84	I3D544
4	161	44	126	I3D315
4	161	45	144	I3D312

11.10. Annexe 10 : Approches et voies de passages des smolts sur le barrage de Bacquelaine (secteur Chaudfontaine)

Smolts	Première approche	Voie de passage	Période de la journée	Dévalaison poursuivie
3	Vis d'Archimède	Barrage	Nuit	Non
12	-	Vis d'Archimède	Jour	Oui
13	-	Vis d'Archimède	Jour	Oui
16	Vis d'Archimède	Barrage	Nuit	Oui
17	-	Barrage	Nuit	Oui
22	Vis d'Archimède	Barrage	Nuit	Oui
24	-	Barrage	Nuit	Oui
28	Vis d'Archimède	Barrage	Nuit	Oui
30	-	Vis d'Archimède	Jour	Oui
32	-	Barrage	Nuit	Non
36	-	Barrage	Jour	Oui
38	-	Barrage	Nuit	Oui
39	-	Vis d'Archimède	Nuit	Oui
43	-	Vis d'Archimède	Nuit	Non
45	-	Barrage	Jour	Oui
46	-	Barrage	Nuit	Oui
54	-	Vis d'Archimède	Nuit	Oui
55	-	Vis d'Archimède	Jour	Oui
59	Passe à poisson	Vis d'Archimède	Nuit	Oui
60	-	Vis d'Archimède	Jour	Oui
65	-	Barrage	Nuit	Oui
66	-	Barrage	Jour	Oui
72	-	Vis d'Archimède	Jour	Oui
76	-	Vis d'Archimède	Nuit	Oui
77	-	Barrage	Nuit	Oui
78	-	Vis d'Archimède	Nuit	Oui
81	-	Barrage	Nuit	Oui
85	-	Vis d'Archimède	Nuit	Oui
87	-	Vis d'Archimède	Nuit	Oui
91	-	Barrage	Nuit	Oui
95	-	Vis d'Archimède	Nuit	Oui

97	-	Vis d'Archimède	Nuit	Oui
98	-	Vis d'Archimède	Nuit	Oui
100	-	Barrage	Nuit	Oui
103	Vis d'Archimède	Barrage	Jour	Oui
104	Passe à poisson	Vis d'Archimède	Jour	Non
105	-	Vis d'Archimède	Nuit	Oui
115	-	Vis d'Archimède	Jour	Non
117	-	Barrage	Nuit	Oui
127	-	Barrage	Nuit	Oui
139	-	Barrage	Jour	Non
141	-	Barrage	Nuit	Oui
142	Vis d'Archimède	Barrage	Jour	Oui
144	-	Vis d'Archimède	Nuit	Oui
145	-	Barrage	Jour	Oui
146	-	Vis d'Archimède	Nuit	Oui
151	-	Vis d'Archimède	Nuit	Oui
153	-	Barrage	Nuit	Non
157	Vis d'Archimède	Barrage	Nuit	Oui
162	-	Vis d'Archimède	Jour	Oui
164	Vis d'Archimède	Passe à poisson	Jour	Non
166	Passe à poisson	Vis d'Archimède	Jour	Oui
167	-	Vis d'Archimède	Jour	Oui
172	Passe à poisson	Vis d'Archimède	Nuit	Oui
175	-	Vis d'Archimède	Nuit	Oui
180	-	Barrage	Nuit	Non
183	-	Vis d'Archimède	Nuit	Non
189	Passe à poisson	Vis d'Archimède	Nuit	Oui
191	Vis d'Archimède	Barrage	Nuit	Non
192	Vis d'Archimède	Barrage	Nuit	Oui
195	-	Vis d'Archimède	Nuit	Oui
196	-	Vis d'Archimède	Nuit	Non
199	Vis d'Archimède	Barrage	Nuit	Oui
204	-	Barrage	Nuit	Oui
209	-	Vis d'Archimède	Jour	Non
211	-	Barrage	Nuit	Oui

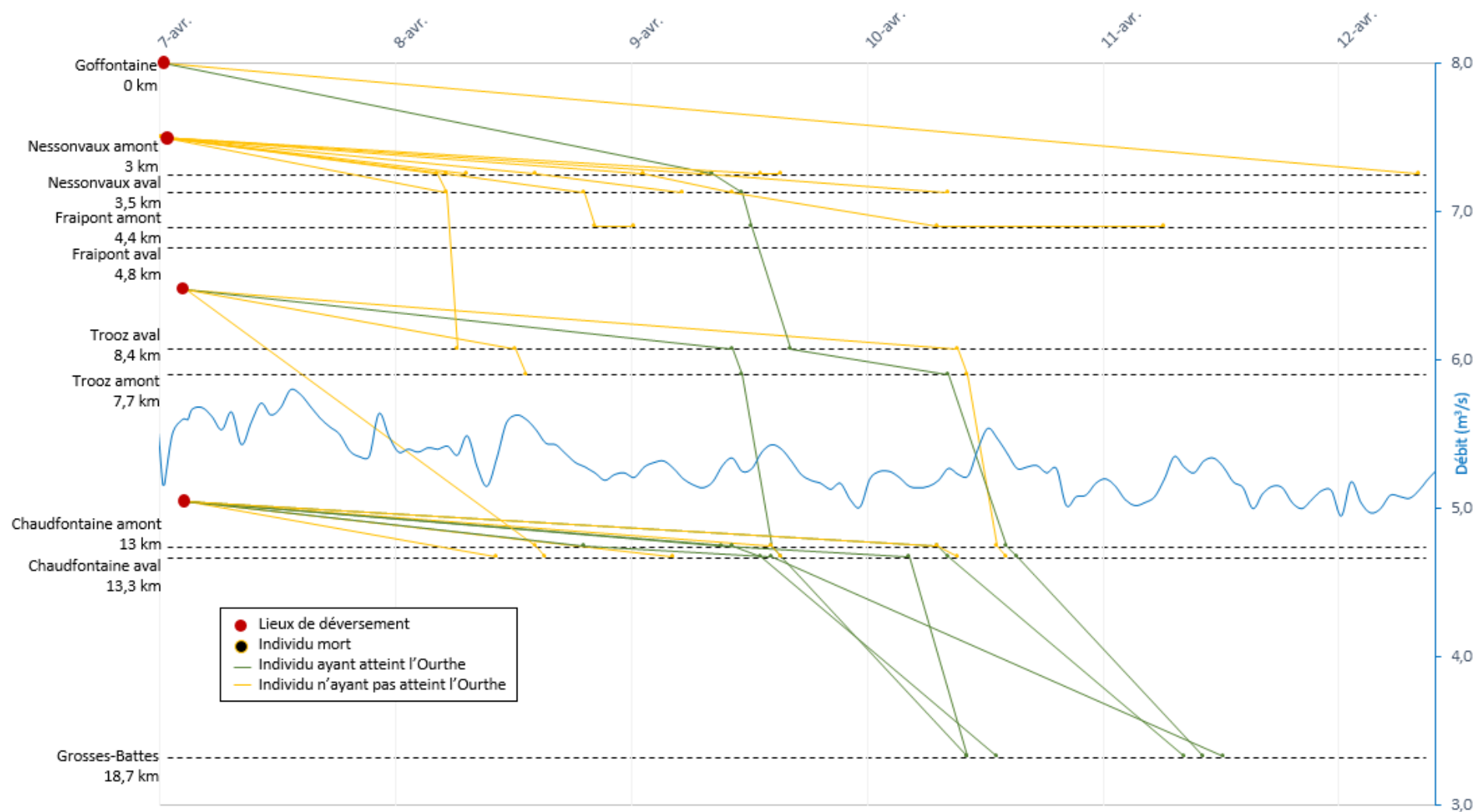
11.11. Annexe 11 : Graphique de dévalaison des smolts du lâcher 1 (31/03/2020) sur la Vesdre en fonction du débit



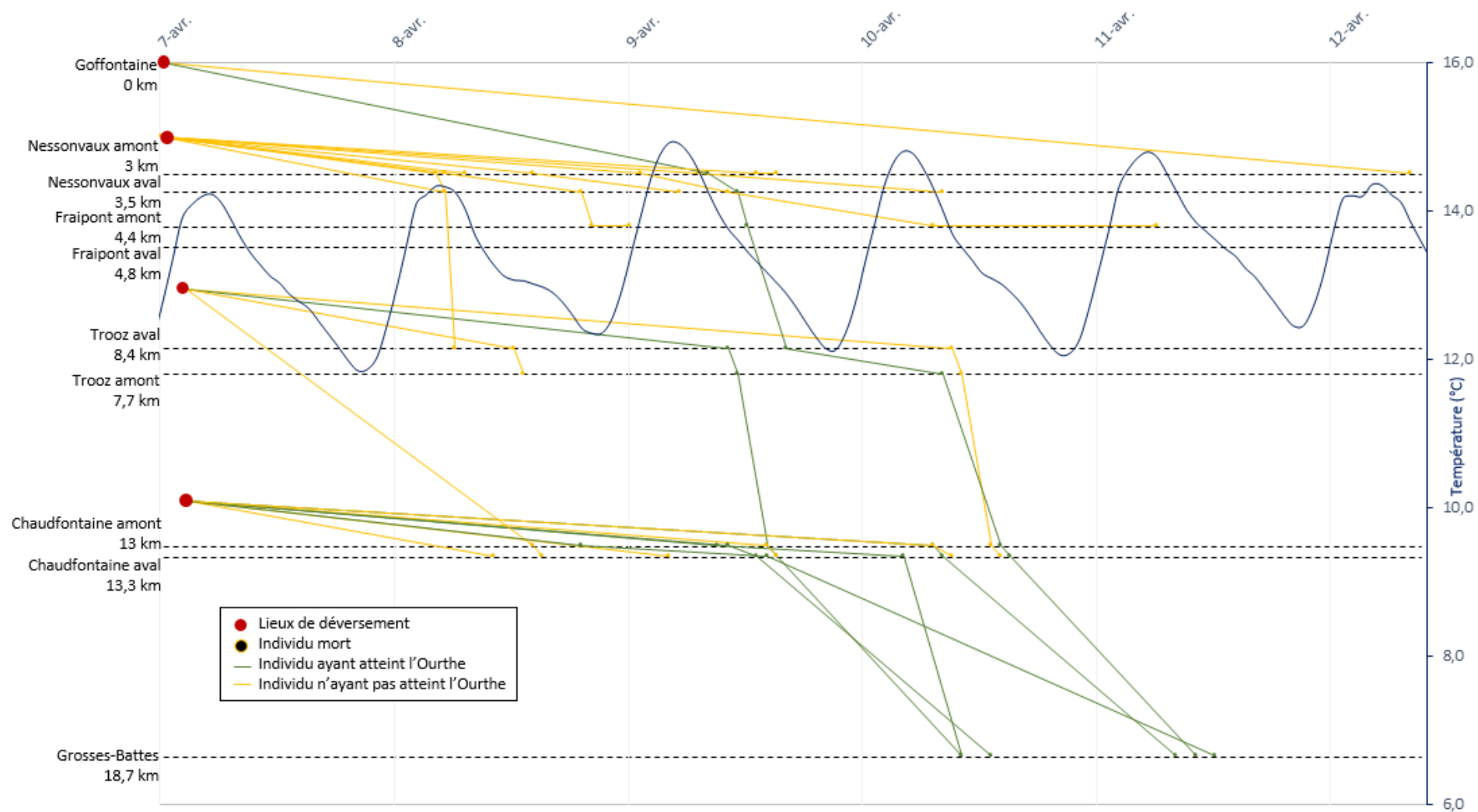
11.12. Annexe 12 : Graphique de dévalaison des smolts du lâcher 1 (31/03/2020) sur la Vesdre en fonction de la température



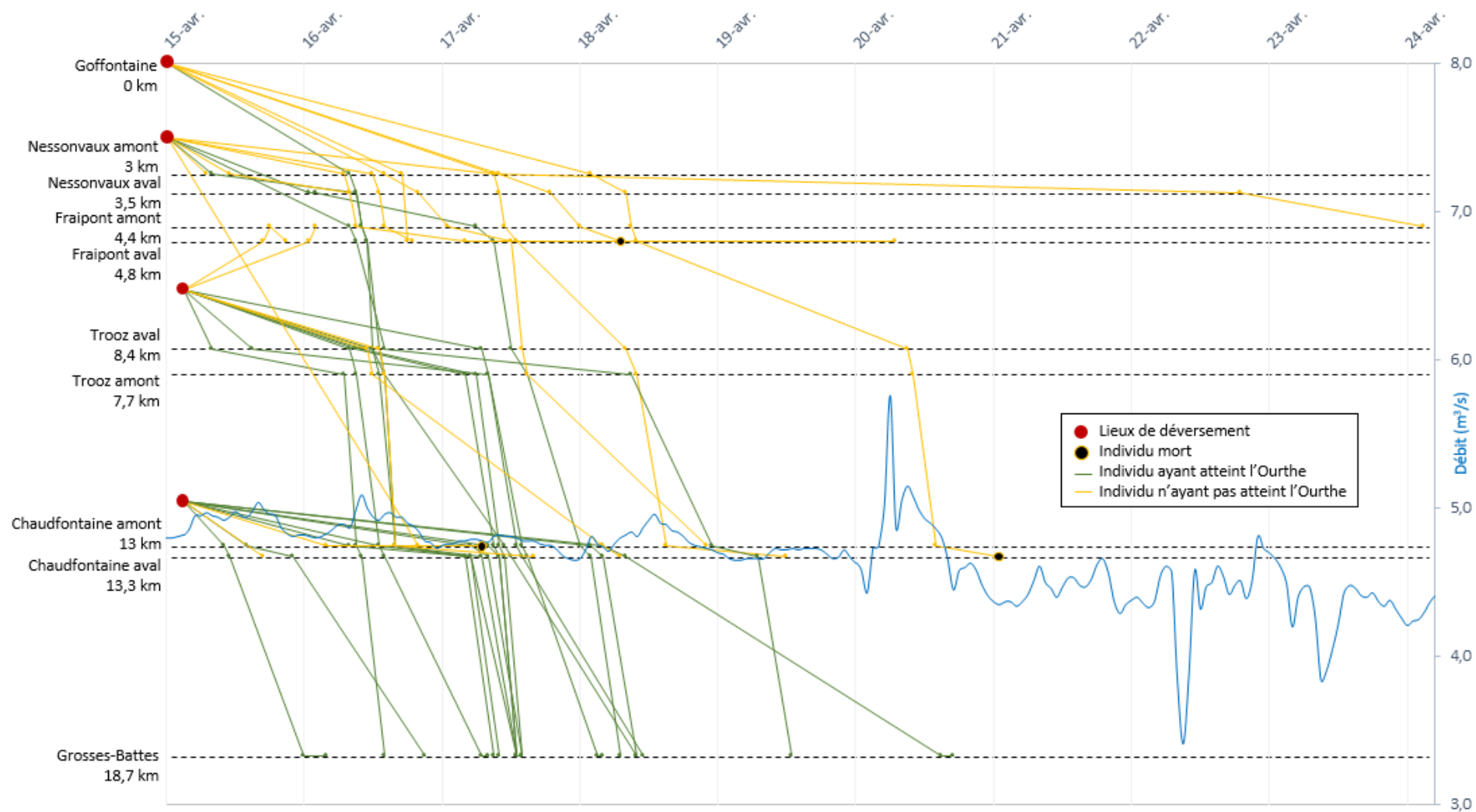
11.13. Annexe 13 : Graphique de dévalaison des smolts du lâcher 2 (07/04/2020) sur la Vesdre en fonction du débit



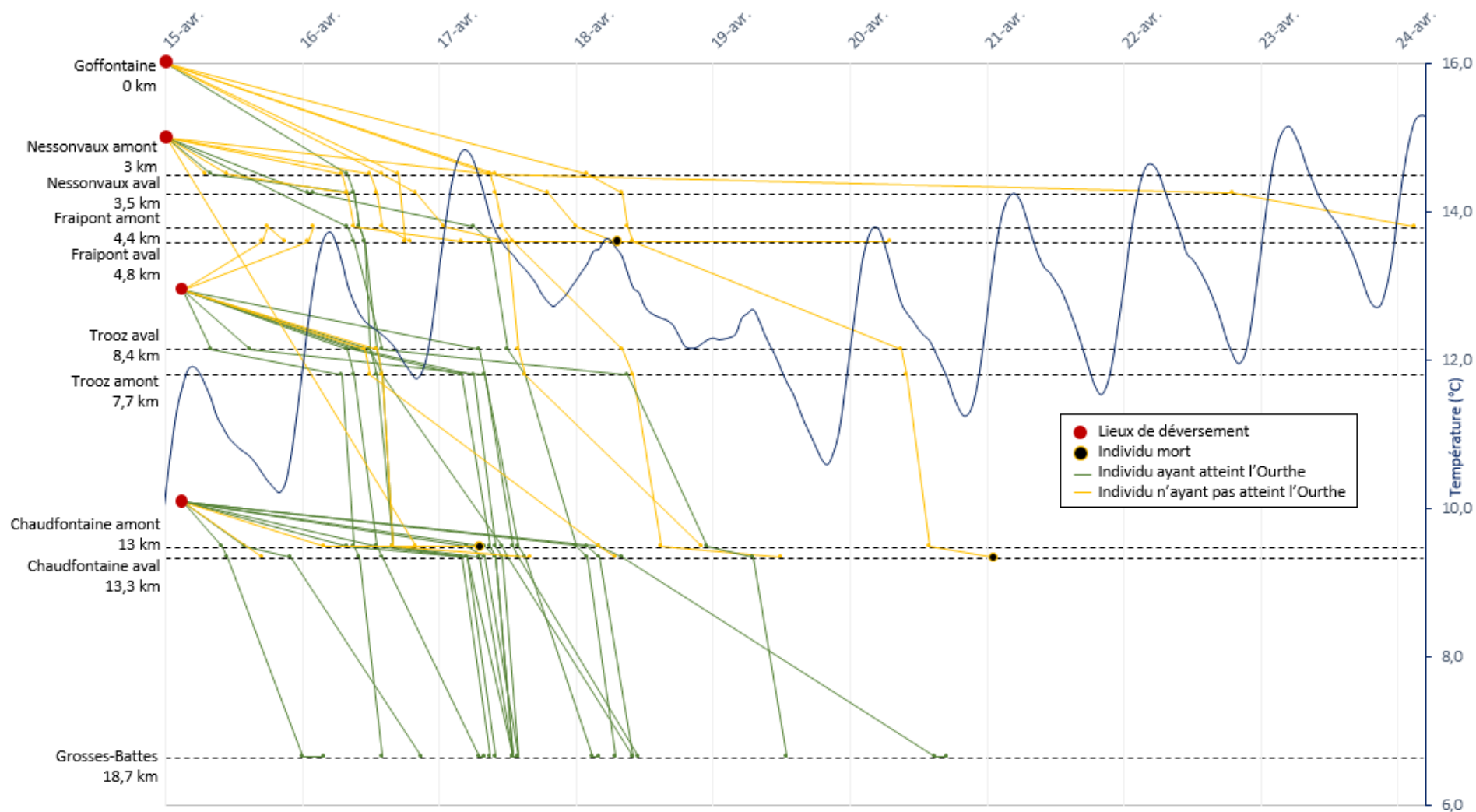
11.14. Annexe 14 : Graphique de dévalaison des smolts du lâcher 2 (07/04/2020) sur la Vesdre en fonction de la température



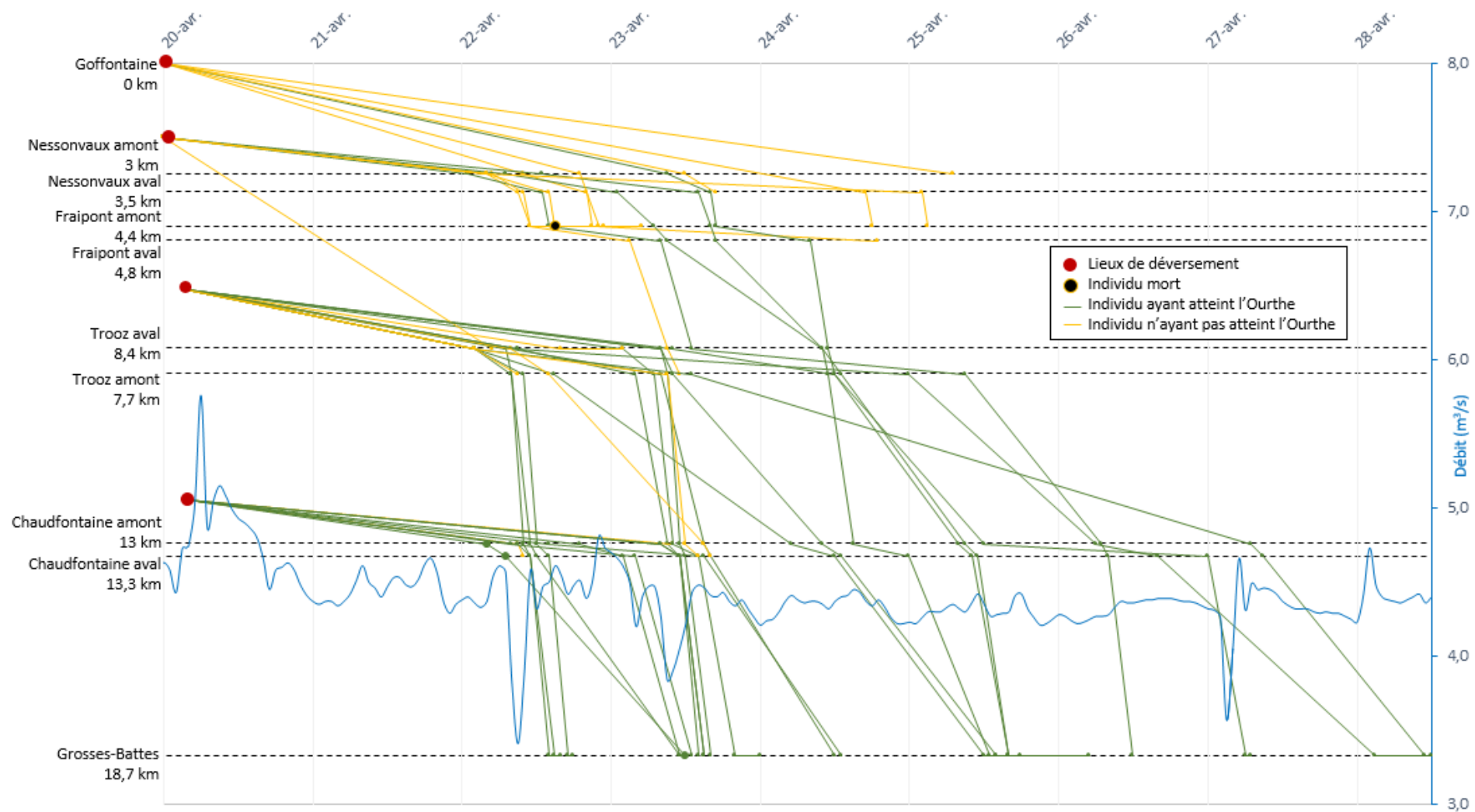
11.15. Annexe 15 : Graphique de dévalaison des smolts du lâcher 3 (15/04/2020) sur la Vesdre en fonction du débit



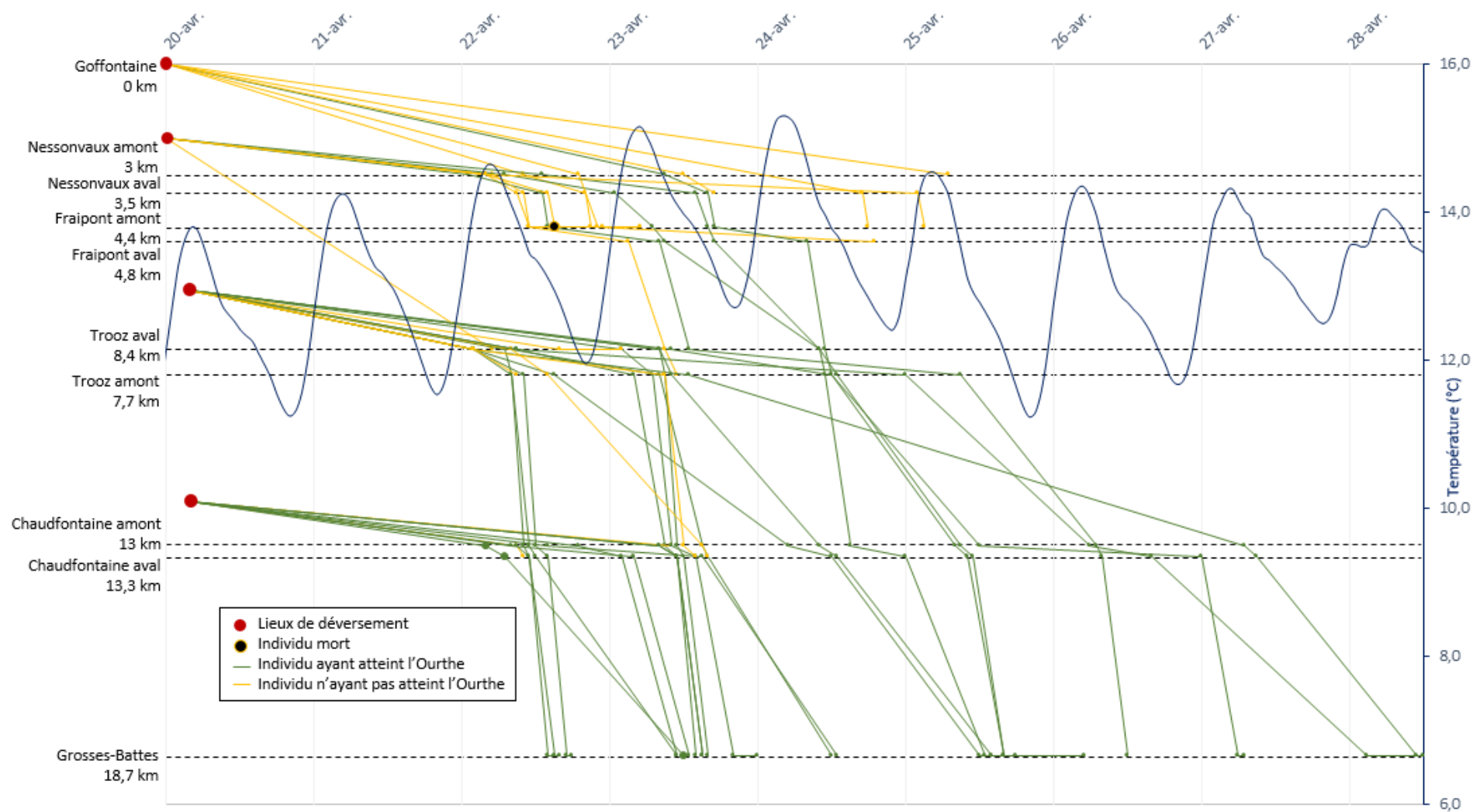
11.16. Annexe 16 : Graphique de dévalaison des smolts du lâcher 3 (15/04/2020) sur la Vesdre en fonction de la température



11.17. Annexe 17 : Graphique de dévalaison des smolts du lâcher 4 (20/04/2020) sur la Vesdre en fonction du débit



11.18. Annexe 18 : Graphique de dévalaison des smolts du lâcher 4 (20/04/2020) sur la Vesdre en fonction de la température





POLYTECH
TOURS

35 ALLÉE FERDINAND DE LESSEPS
37200 TOURS

Amaury Rabouan

2019-2020

Titre : Suivi de dévalaison dans la Vesdre et mesure du fonctionnement des ouvrages pour la faune piscicole

Sous-titre : Etude de la dévalaison des smolts par suivi télémétrique

Résumé : L'étude de la dévalaison sur la Vesdre de 209 smolts, marqués par des émetteurs radios, a montré l'impact des ouvrages hydrauliques sur leur migration. Cinq barrages ont été équipés d'antennes radios pour suivre le déplacement des poissons. Les taux et délais de franchissement montrent le retard engendré par la présence des barrages. Les conditions environnementales influencent également la dévalaison. Seulement un quart des individus est parvenu à rejoindre l'Ourthe.

Mots-clés : Vesdre, dévalaison, smolts, télémétrie radio, barrages, vis d'Archimède, passe à poisson

Profish Technology

18 Rue des scabieuses 51000 Nannine, Belgique

Tuteur entreprise :

Damien Sonny

Tuteur académique :

Catherine Boisneau