



Laboratoire de **D**émographie
des **P**oissons et d'**H**ydroécologie
Unité de Gestion des Ressources
Aquatiques et Aquaculture



Rapport Final
Relatif au marché public N°O3.06.04-21-0180

Gelder J.* & Benitez J.P.*, Dylan C., Dierckx. A., D. Sonny & M. Ovidio
Octobre 2023

** Ces auteurs ont contribué de manière équivalente à la rédaction du rapport*

Intitulé du marché public :
L'EXAMEN DE LA FRANCHISSABILITÉ DE LA PASSE À POISSONS DE COO SUR
L'AMBLÈVE ET ASSISTANCE SCIENTIFIQUE DU CONTRÔLE DE MIGRATION PISCICOLE
DU PIÈGE DE CAPTURE

À la faveur de :

Service public de Wallonie
Agriculture ressources naturelles environnement / DDRCB
Direction des Cours d'Eau Non Navigables



Table des matières

1. Mise en contexte	3
2. Matériel et méthode	3
2.1 Description du site de la cascade de Coo	3
2.2 Description de la passe à poisson et monitoring du piège de capture	4
2.3 Capture via pêches électriques	5
2.4 Marquage des individus.....	7
2.5 Méthode de biotélémetrie.....	8
3. Résultats	10
3.1 Bilan des captures lors du monitoring	10
3.2 Bilan des détections des individus marqués	15
3.3 Temps de séjour au niveau de chaque antenne	16
3.4 Comportements post-franchissement	18
3.5 Bilan de mobilité des individus radio-pistés.....	19
4. Discussion	24
4.1 Monitoring du piège de capture.....	24
4.2 Mobilité des individus suivis par télémetrie	24
4.2.1 Mobilité des barbeaux	24
4.2.2 Mobilité des ombres	25
4.2.3 Mobilité des truites	26
4.3 Mobilité des individus dans le système	27
4.3.1 Temps de séjour au niveau des antennes et taux d'attractivité de la passe.....	27
4.3.2 Efficacité de franchissement de la passe	28
4.4 Recommandations	29
Bibliographie	30

1. Mise en contexte

L'objet du marché est d'analyser l'utilisation d'une passe à poissons et d'étudier les comportements de montaison en approche de la cascade de Coo, équipée récemment d'une passe à poissons. Plus précisément, les éléments contextuels présentés dans le Cahier Spécial des Charges (CSC) sont : « Le présent marché a pour objet l'examen de la franchissabilité de la passe à poissons de Coo sur l'Amblève et assistance scientifique du contrôle de migration piscicole du piège de capture. Ce projet comporte une part liée à la récolte et au traitement des données récoltées. Le matériel de suivi devra être compatible avec du RFID HDX. D'autre part, il est demandé un accompagnement scientifique des agents lors du contrôle du piège placé dans la passe à poissons de Coo en vue de récolter des données biométriques des poissons.»

Aménagée en 2020 par Electrabel-Coo et mise en service au début de l'année 2021, la passe à poissons de Coo représente en version réduite d'une passe à bassins à fente verticale. En effet, installée en rive du canal de fuite de la micro-centrale de Coo, consiste en 3 bassins avec un canal d'aménée et une cage de capture juste en amont de la 3ème échancrure. L'utilisation par les poissons d'un dispositif de franchissement qui équipe un barrage et/ou un obstacle à libre circulation peut être étudiée par l'installation d'un système de capture dans la partie amont de la passe à poissons. En revanche dans le cas de Coo, ce piège de capture permet la capture d'individus de poissons en phase de montaison afin d'être transloquer par l'Homme en amont de la Cascade. En effet cette dernière possède un Dh de 11,8m ce qui rend complexe l'installation d'un dispositif de franchissement autonome. Electrabel-Coo a donc convenu avec la Société "Les Pêcheurs Réunis de Basse-Bodeux, Coo et Trois-Ponts" par le biais d'une convention d'occupation précaire, que l'ASBL prendra en charge le monitoring de la passe à poissons et la translocation en amont, des poissons présents dans le piège.

Un suivi rigoureux du monitoring d'une passe à poissons, dès son ouverture, permet de mesurer les effets bénéfiques pour la faune. De plus, il est important d'étudier par biotélémetrie, la performance de la passe de Coo et d'évaluer sa plus-value pour l'équilibre écologique de l'Amblève. Nous présentons ci-dessous les différentes technologies et méthodes de mises en œuvre qui leur sont spécifiques, que nous proposons dans le cadre de ce marché de service.

2. Matériel et méthode

2.1 Description du site de la cascade de Coo

La cascade de Coo, est situé à 39,7km de la confluence de l'Amblève dans l'Ourthe, juste en aval de la confluence de l'Amblève avec la Salm. La cascade de Coo est un obstacle artificiel créé durant le Moyen-Âge lors du recoupement d'un méandre de l'Amblève. La chute, scindée en deux parties, fait environ 11,8m de haut, ce qui empêche toute montaison des poissons à ce niveau de la cascade. Dans le passée, un bras latéral naturel situé en rive gauche permettait initialement aux espèces de contourner cette barrière physique. Cependant, depuis cinquante ans, ce méandre n'est plus franchissable par les poissons suite à la construction de la centrale d'accumulation par pompage de Coo et au court-circuitage de ce tronçon de l'Amblève. De plus, une petite CHE, la centrale de Coo-dérivation, prélève une partie de l'eau de l'Amblève en amont de la cascade de Coo par le biais d'un canal d'aménée et la rejette en aval de la cascade (Figure 1).

La continuité piscicole entre amont et aval de la cascade de Coo n'est donc plus assurée depuis plus d'un demi-siècle (sauf dans le sens de la dévalaison). Ce site a été défini par le « programme de priorisation du rétablissement de la libre circulation des poissons dans les cours d'eau non navigables

de Wallonie (Décision Benelux de 2009) » comme étant prioritaire concernant le rétablissement de la continuité piscicole de par son aspect « infranchissable dans le sens de la montaison ».

Il en résulte qu'en dépit de la difficulté d'équiper un tel obstacle (de par sa hauteur et son aspect très touristique), un dispositif de franchissement été aménagé en 2021, conformément au permis d'exploitation demandé à Engie, exploitant des deux centrales hydroélectriques de Coo.

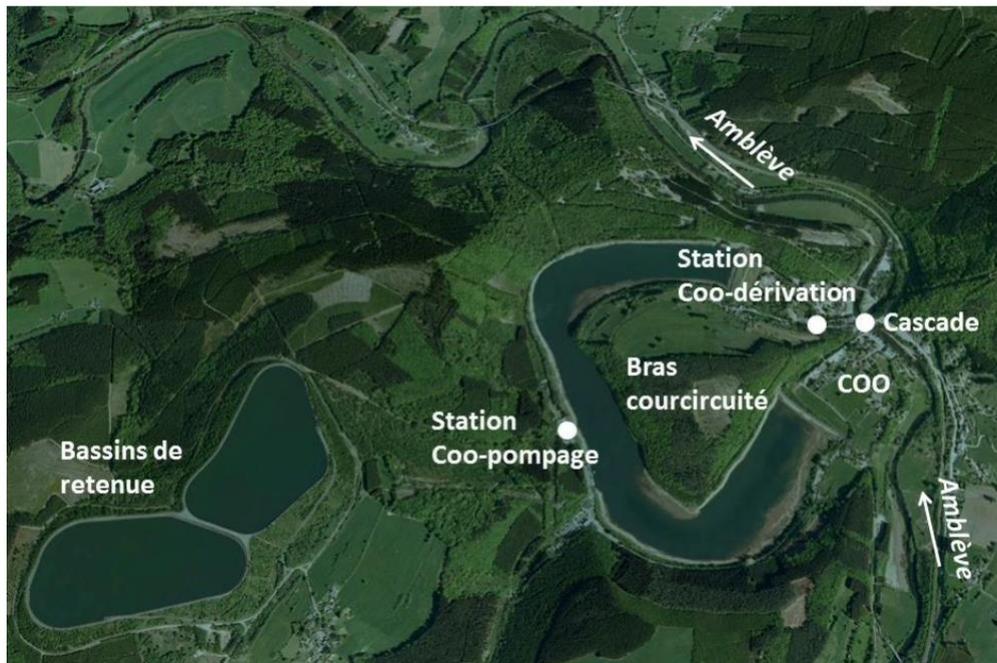


Figure 1 : Vue aérienne du site de la cascade de Coo

2.2 Description de la passe à poisson et monitoring du piège de capture

L'entrée du dispositif de franchissement du site de la cascade de Coo se situe 45m avant la fin du canal de restitution (aussi appelé canal de fuite) de la CHE Coo-Dérivation, en rive droite de celui-ci (Figure 2). La passe à poisson de Coo fonctionne par capture-transport : les poissons pénétrant dans le canal d'attrait de la passe finissent bloqués dans une cage de capture (2,8 x 1,9 x 1,8), qui est relevée manuellement via intervention humaine une à trois fois par semaine. Les poissons ainsi piégés sont déversés dans un gros vivier, en attente des mesures biométriques (espèce, taille (à la fourche, +/- 1mm), poids (+/- 1g), sexe) et du marquage par pit-tag si la taille le permet (>200mm), puis transportés par véhicule en un point de déversement en amont de la cascade, au niveau de l'entrée du canal de dérivation de la CHO Coo-dérivation (Figure 2, *triangle orange*), à environ 30m en amont de la cascade. Le monitoring du piège de capture permet de recapturer les poissons qui ont été marqués dans le cadre de cette étude et qui ont emprunté la passe avec succès.

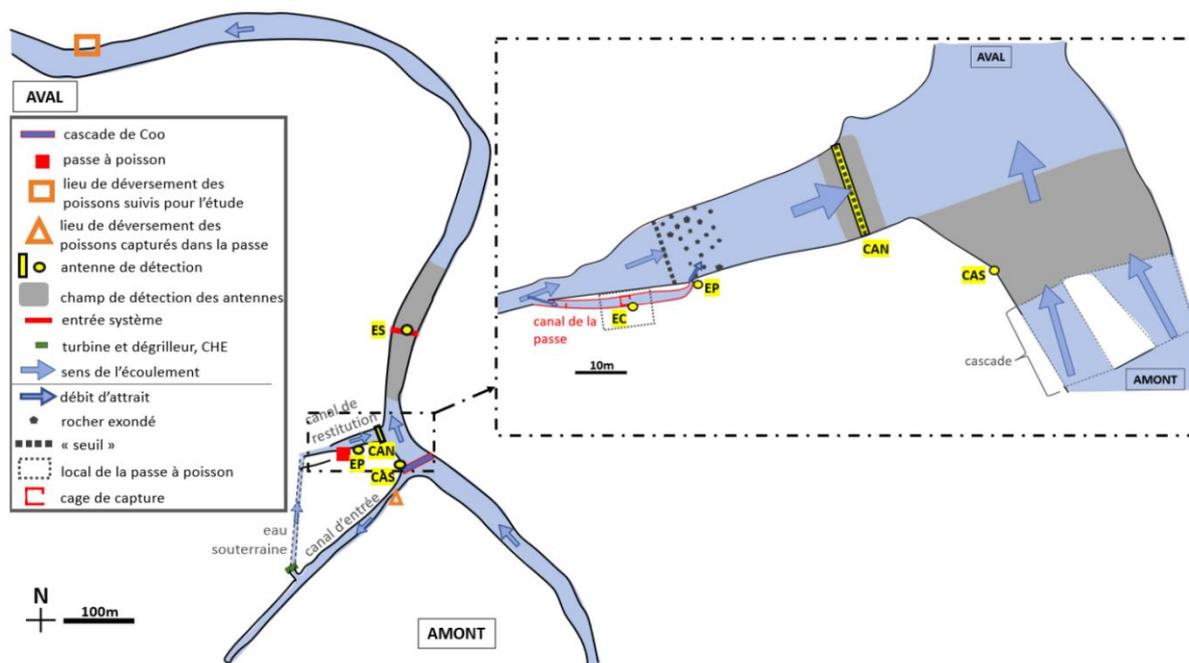


Figure 2 : Schéma de la cascade de Coo et de la passe à poissons ainsi que des dispositifs présents: antennes en entrée du système de détection (ES), antenne au pied de la cascade (CAS), antenne à l'entrée du canal de fuite (CAN), antennes à l'entrée de la passe à poissons (EP) et antenne à l'entrée de la cage de capture de la passe à poissons (EC)

2.3 Capture via pêches électriques

La capture des barbeaux, ombres et truites a été réalisée par pêche électrique à pied et en bateau, sur quatre différents sites de l'Amblève en amont de la cascade de Coo, lors de deux journées de fin mars et mi-avril (ombres et barbeaux) et lors d'une journée en octobre (truites). N = 38 poissons ont été suivis lors de cette étude : 6 ombres communs, 16 barbeaux fluviatiles et 16 truites fario. Les ombres ont été capturés sur trois sites différents, les barbeaux sur deux sites et les truites sur un site (Tableau 1).

- **Le 23 mars 2022**, 4 ombres ont été capturés sur le site de Challe (Figure 2.4), tandis qu'1 ombre et 1 barbeau ont été capturés au site de Grand-Pré (respectivement à approximativement 10,3km et 4km en amont de la cascade) ;
- **Le 14 avril 2022**, 1 ombre et 15 barbeaux ont été capturés sur un tronçon de pêche d'environ 2km, à partir du site de [terrain de foot Trois-Ponts] jusqu'à environ 470m en amont de la cascade) (Figure 2.4) ;
- **Le 11 octobre 2022**, 16 truites ont été capturées sur un tronçon de pêche total de 310 m : 270m en aval (point aval = pont ferroviaire) du pont routier situé avenue de la Salm à Trois-Ponts et 40m en amont de ce pont.

Ces dates de captures ont été choisies pour précéder la période de reproduction de nos espèces cibles. Malgré ce choix, les ombres ont été très difficiles à capturer en nombre suffisant. En effet, l'objectif initial était de pouvoir marquer 15 ombres. Une première pêche a été effectuée le 8 mars 2022 sur deux sites à Trois-Ponts (sur l'Amblève et la Salm), mais les individus capturés étaient de taille insuffisante pour procéder à un marquage. Ce pourquoi, une seconde pêche de capture a été organisée pour le 23 mars 2022.

Tableau 1 : Individus marqués et leurs caractéristiques (espèces, identifiant radio, identifiant pit-tag, taille, poids, sexe, site de capture et date de capture).

Espèce	Numéro	Radio	Pit-tag	Taille	Poids	Sexe	Site de capture	Date de capture
ombre	O1	340/080	A95FCBEE	309	374	M?	Challe	23/03/2022
ombre	O2	340/091	A95FCBE9	280	280	F+	Challe	23/03/2022
ombre	O3	340/097	A95FCBE5	299	338	F+	Grand-Pré	23/03/2022
ombre	O4	340/099	A95FCBCF	305	274	M?	Challe	23/03/2022
ombre	O5	340/0100	A95FCC01	291	284	M?	Challe	23/03/2022
barbeau	B1	340/089	A95FCBF7	464	1 306	/	Grand-Pré	23/03/2022
ombre	O6	340/074	A95FC982	332	392	M	tronçon de 2 km amont cascade	14/04/2022
barbeau	B2	340/058	A95FC96B	520	2 072	F?	tronçon de 2 km amont cascade	14/04/2022
barbeau	B3	340/059	A95FC96A	475	1 928	M?	tronçon de 2 km amont cascade	14/04/2022
barbeau	B4	340/061	A95FC94C	684	4 800	F	tronçon de 2 km amont cascade	14/04/2022
barbeau	B5	340/062	A95FC983	619	3 788	F?	tronçon de 2 km amont cascade	14/04/2022
barbeau	B6	340/063	A95FC99B	492	1 644	M?	tronçon de 2 km amont cascade	14/04/2022
barbeau	B7	340/064	A95FC967	516	1 892	M?	tronçon de 2 km amont cascade	14/04/2022
barbeau	B8	340/065	A95FC94F	641	3 938	F?	tronçon de 2 km amont cascade	14/04/2022
barbeau	B9	340/066	A95FC970	624	3 884	F	tronçon de 2 km amont cascade	14/04/2022
barbeau	B10	340/067	A95FC940	509	1 978	/	tronçon de 2 km amont cascade	14/04/2022
barbeau	B11	340/068	A95FC954	538	2 264	M?	tronçon de 2 km amont cascade	14/04/2022
barbeau	B12	340/069	A95FC990	502	1 974	M?	tronçon de 2 km amont cascade	14/04/2022
barbeau	B13	340/070	A95FC958	495	1 885	F?	tronçon de 2 km amont cascade	14/04/2022
barbeau	B14	340/071	A95FC964	643	3 980	F	tronçon de 2 km amont cascade	14/04/2022
barbeau	B15	340/072	A95FC956	638	4 038	F	tronçon de 2 km amont cascade	14/04/2022
barbeau	B16	340/073	A95FC976	626	3 598	F	tronçon de 2 km amont cascade	14/04/2022

truite	T1	340/057	A95FC89A	276	238	F	Salm	11/10/2022
truite	T2	340/077	A95FC8BC	224	130	/	Salm	11/10/2022
truite	T3	340/078	A95FC8B3	287	300	F	Salm	11/10/2022
truite	T4	340/079	A95FC88F	244	156	M+	Salm	11/10/2022
truite	T5	340/081	A95FC8A6	264	180	/	Salm	11/10/2022
truite	T6	340/082	A95FC8A4	256	182	M+	Salm	11/10/2022
truite	T7	340/084	A95FC8BE	321	362	F	Salm	11/10/2022
truite	T8	340/085	A95FC8D7	284	252	F	Salm	11/10/2022
truite	T9	340/086	A95FC8C3	244	182	M+	Salm	11/10/2022
truite	T10	340/087	A95FC885	225	136	M+	Salm	11/10/2022
truite	T11	340/090	A95FC884	354	442	M+	Salm	11/10/2022
truite	T12	340/092	A95FC8AB	271	202	F ?	Salm	11/10/2022
truite	T13	340/093	A95FC878	276	248	M+	Salm	11/10/2022
truite	T14	340/094	A95FC8A1	361	480	M+	Salm	11/10/2022
truite	T15	340/095	A95FC8B8	248	170	/	Salm	11/10/2022
truite	T16	340/096	A95FC8BD	267	194	/	Salm	11/10/2022

La méthode de pêche électrique utilisée lors de cette étude consiste à produire un léger courant via un générateur fixe (de marque EFKO 7000) placé sur la berge, ou sur un bateau si un grand tronçon doit être prospecté, comme cela a été le cas lors de la pêche du 14 avril. Afin que le courant électrique pénètre l'eau, une cathode reliée au générateur est mise à l'eau et reste fixe, et une anode manipulée par un opérateur va servir à attirer les poissons une fois plongée dans l'eau, refermant ainsi le circuit électrique. L'anode émet le champ électrique permettant d'attirer par nage forcée le poisson, et ce sur quelques mètres. Une fois que les poissons sont à proximité de l'anode, ils rentrent en électronarcose et sont capturés à l'aide d'épuisettes. L'opérateur à l'anode se déplace le long du tronçon à prospecter, attire les poissons, et ceux-ci sont récupérés par les opérateurs munis d'épuisettes (de mailles 5 mm) et placés dans une manne ou directement dans des viviers placés préalablement dans la rivière.

2.4 Marquage des individus

Une fois les poissons capturés et placés dans un vivier, ils ont été anesthésiés grâce à du 2-phénoxy-ethanol (2mL/L), afin d'être mesurés, pesés et sexés individuellement, et ensuite marqués si leur taille était suffisante (indice poids/émetteur ne dépassant pas 2%). Deux types de marques

(passives et actives, respectivement sans et avec batterie) ont été implantées dans la cavité intrapéritonéale de chaque individu :

- Une marque RFID (Texas Instruments 23 mm low-frequency) de type pit-tag : 23 x 3mm, 0,7g, durée de vie estimée comme étant illimitée. La marque transmet son code d'identification unique lors du passage à proximité d'une antenne émettant un signal radio basse fréquence. La localisation des marques RFID s'effectue à proximité (moins d'un mètre), lorsque celui-ci est recapturé (détection manuelle) ou qu'il traverse le champ émis par une antenne de détection.
- Un émetteur radio à antenne externe (MST-930 tags) : 30 x 8mm pour la partie interne, 235mm de longueur pour l'antenne externe, le tout pesant 3,7g, avec une durée de vie estimée à 6 mois maximum. La localisation s'effectue par radio-téléométrie via (i) un système de détection fixe qui consiste en une antenne (aérienne/subaquatique) reliée à un récepteur (Orion, Sigma Eight) ou (ii) via un système mobile constitué d'un récepteur mobile et d'une antenne aérienne. Ces systèmes de détection enregistrent les signaux émis dans une gamme de fréquence définie (150.340 MHz).

Les poissons sont ensuite placés dans une bassine de réveil oxygénée, le temps qu'ils retrouvent leurs fonctions motrices normales, puis remis à l'eau le jour même de leur capture au point de déversement défini, à environ 1,15km en aval de la cascade de Coo (1,2km de la passe à poissons).

2.5 Méthode de biotéléométrie

▪ Téléométrie manuelle mobile

Lors des détections, le signal radio est reçu par une antenne yagi aérienne manipulée par un opérateur, ce qui permet de se déplacer le long du cours d'eau pour suivre les poissons. L'antenne est reliée à un récepteur mobile qui produit un bip sonore spécifique à chaque poisson et affiche le numéro d'identification du/des poisson(s) localisé(s). L'antenne est directionnelle et permet de déterminer l'endroit approximatif où se situe le poisson. La portée maximale de détection est d'environ 300m. Cette détection varie selon la topographie du terrain et des conditions environnementales. Du fait de leur large portée, le champ de détection a une précision de localisation amoindrie. Les individus marqués étaient localisés en moyenne entre 1 et 3 fois par semaine.

▪ Téléométrie automatique fixe

Cinq antennes de détection ont été placées aux abords de la passe (jusqu'à approximativement 205m en aval de celle-ci). Trois d'entre-elles fonctionnaient avec les émetteurs radio, situées en entrée système (ES, antenne radio aérienne de type yagi), à la cascade (CAS, antenne radio aérienne de type yagi) et en entrée du canal de fuite (CAN, antenne radio subaquatique), tandis que les deux autres permettaient d'identifier les marques RFID, situées en entrée de passe (EP) et entrée de la cage de capture (EC) (Figure 2) :

- **Antenne ES** : antenne radio aérienne située en aval à environ 160m du pied de la cascade et 200m de l'entrée de la passe marque l'entrée du système de détection. Son champ de détection est d'environ 100m de rayon.
- **Antenne CAS** : antenne radio aérienne située au niveau de la cascade permettait de détecter les individus allant au pied de celle-ci. Son champ de détection est d'environ 25m en aval de la chute. Cette antenne permet une comparaison avec les détections de l'antenne CAN afin de déterminer l'endroit le plus attractif pour les poissons cherchant à remonter le cours d'eau.

- **Antenne CAN** : antenne radio subaquatique placée dans l'eau sur toute la largeur du canal de fuite. Cette antenne permet de déterminer si les poissons marqués avaient franchi le seuil situé au début du canal de restitution, à 36m en aval de l'entrée de la passe. Son champ de détection est d'environ 3-4m de large vers l'amont et l'aval. Le nombre de détection obtenu permet de déterminer si la localisation de la passe à poissons dans le canal de fuite est optimale, c'est-à-dire de déterminer si le flux d'eau du canal est assez attractif pour inciter les poissons à remonter le canal et potentiellement trouver l'entrée de la passe à poissons.
- **Antenne EP** : antenne RFID permettant d'identifier les poissons ayant trouvé l'entrée du canal de la passe à poissons. Les données obtenues permettent d'analyser les performances du dispositif de franchissement concernant (i) son attraction et (ii) le délai mis par les individus pour trouver l'entrée.
- **Antenne EC** : antenne RFID disposée à l'entrée du piège de capture de la passe à poisson permettant d'identifier les individus se trouvant à proximité de l'entrée de la cage, voire ceux ayant pénétrés la cage. Cette antenne permet de déterminer avec certitude si les poissons détectés au niveau de l'antenne EP sont bien entrés dans le canal de la passe. De plus, les données obtenues permettent de calculer (i) le temps mis pour franchir le canal menant à la cage de capture, et (ii) l'efficacité réelle de la passe (combien d'individus détectés à l'antenne EC pour combien de capturés).

3. Résultats

3.1 Bilan des captures lors du monitoring

- Bilan de la passe à poissons de Coo

Du 15 mars 2021 au 31 juillet 2023, 2223 individus appartenant à 21 espèces ont été retrouvées dans la cage de capture de la passe à poissons de Coo et déversés en amont (Tableau 2). La cage a été relevée le 12 juillet 2021 durant les inondations pour réaliser des travaux, et ce jusqu'au 10 novembre 2021. Elle a ensuite été relevée le 4 février 2022 jusqu'au 3 mars 2022 lors des crues. Par conséquent, durant ces périodes, la passe à poissons n'était pas fonctionnelle.

Tableau 2 : Effectifs des espèces aquatiques utilisant la passe à poissons de Coe en 2021 et 2022 réparties en groupes écologiques, leur taille et leur biomasse. * Espèces non natives mais qui ne sont pas considérées comme invasives.

GROUPE ÉCOLOGIQUE	ESPÈCES	NOMBRE TOTAL	N 2021	N 2022	N 2023	BIOMASSE TOTALE 2021 (G)	BIOMASSE TOTALE 2022 (G)	BIOMASSE TOTALE 2023 (G)	TAILLE MIN (MM)	TAILLE MAX (MM)	TAILLE MOY. (MM)
PETITES ESPÈCES RHÉOPHILES	Ablette spirilin	808	42	766	4	295	6598	36	44	119	86
	Vairon	222	18	204	26	37	705	33	32	98	56,8
	Chabot	64	3	61	11	16	360	68	30	114	72,1
	Goujon	119	2	117	0	26	2620	0	50	146	117,3
	Loche franche	50	2	48	89	14	228	370	54	105	85
PETITES ESPÈCES LIMNOPHILES	Lamproie de planer	1	0	1	1	0	14	6	151	167	151
	Carassin	1	1	0	0	670	0	0	312	312	312
	Grémille	2	2	0	0	33	0	0	103	105	104
	Epinoche	1	0	1	0	0	2	0	55	55	55
GRANDES ESPÈCES RHÉOPHILES	Chevaie	332	30	302	11	6424	18781	1978	45	372	155
	Truite commune	77	31	46	16	16488	12406	4592	82	608	307,4
	Truite arc-en-ciel *	19	10	9	1	7062	5416	70	184	510	367,6
	Truite léopard *	1	1	0	0	372	0	0	351	351	351
	Barbeau fluviatile	103	69	34	9	111267	36145	15218	50	655	413,9
	Ombre commun	10	0	10	0	0	2218	0	210	318	267,1
GRANDES ESPÈCES LIMNOPHILES	Perche fluviatile	138	6	132	24	1536	9238	1640	65	289	158,4
	Brochet	19	14	5	1	41447	15570	5150	418	850	661,9
GRANDE ESPÈCE UBIQUISTE	Anguille	1	1	0	1	82	0	90	384	398	391
	Gardon	30	3	27	25	594	1346	350	56	266	141
ESPÈCES NON INDIGÈNES	Poisson chat	5	0	5	0	0	400	0	150	202	173,2
	Ecrevisse américaine	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL		2223	235	1769	219	186363	112047	29601			

Après une année complète de monitoring, les espèces les plus abondantes en termes d'individus au niveau de la passe à poissons de Coo sont les espèces rhéophiles avec une majorité de grandes espèces en 2021 (60% des captures avec 141 individus dont 69 barbeaux) et de petites espèces en 2022 (67,6% des captures avec 1196 individus dont 766 ablettes spirilin) (Figure 3). En termes de biomasse, ce sont les grandes espèces de poissons rhéophiles qui sont les plus importantes avec 141,6 kg (76% de la biomasse totale) dont 111,3 kg provenant de barbeaux en 2021 et 75 kg (66,9 % de la biomasse totale) dont 36,1 kg provenant de barbeaux en 2022 (Figure 3). Pour l'année 2023, jusqu'au mois de juillet inclus, les espèces les plus abondantes sont les petites espèces rhéophiles (59,4% des captures avec 130 individus dont 89 loches franches). En terme de biomasse, ce sont les grandes espèces rhéophiles qui sont les plus importantes avec 21,8 kg (73,8% de la biomasse totale) dont 15,2 kg provenant des barbeaux. Les espèces dans la cage de Coo présentent des tailles moyennes minimales et maximales allant de 30 mm pour les chabots jusqu'à 850 mm pour les brochets. Deux espèces non-natives ont emprunté la passe : des truites arc-en-ciel et une truite léopard ainsi que deux espèces invasives : des poissons chats et une écrevisse américaine.

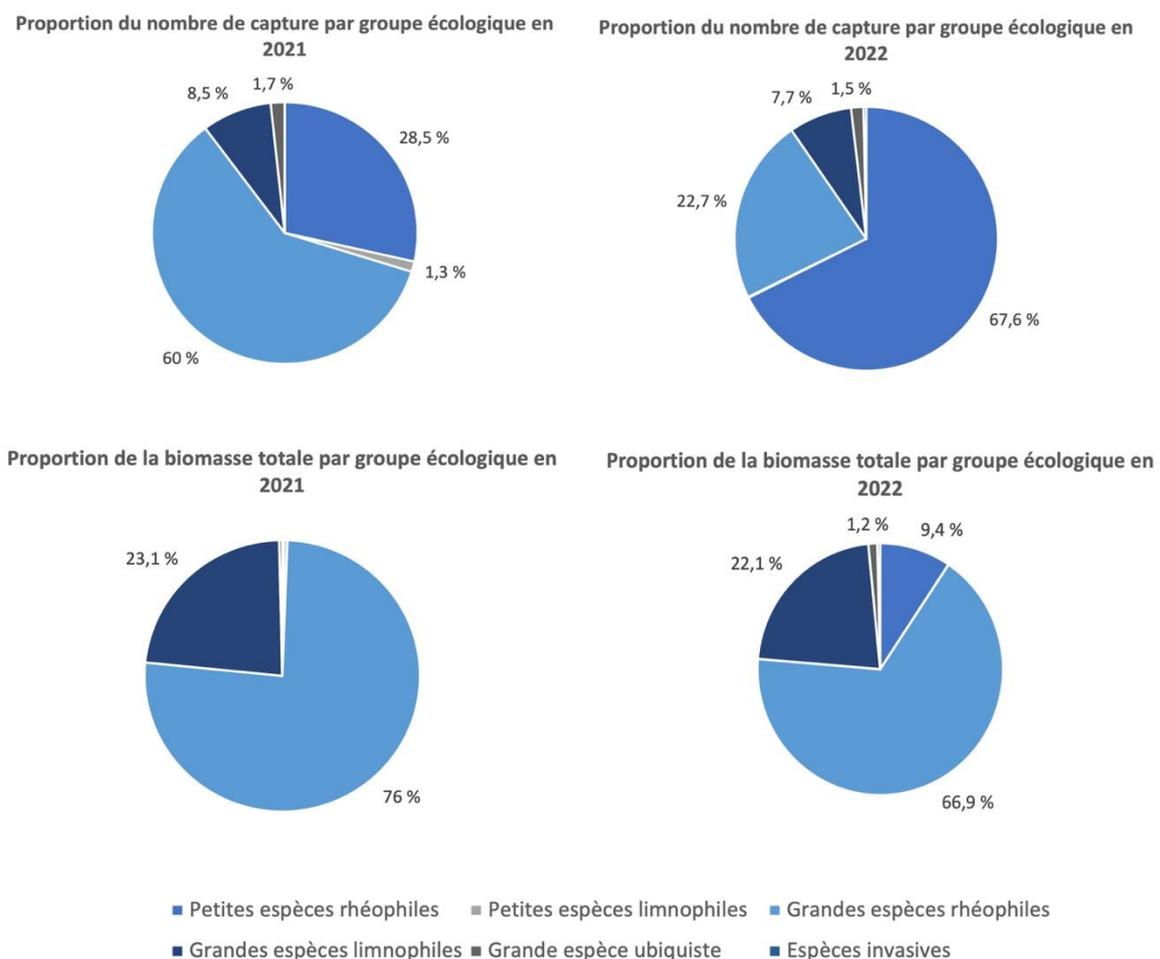


Figure 3 : Proportion du nombre de capture et de la biomasse totale des groupes écologiques ayant utilisé la passe à poissons de Coo en 2021 et 2022.

■ Bilan de la passe à poissons de Lorcé

Du 2 novembre 2022 au 31 juillet 2023, 263 individus appartenant à 8 espèces ont été retrouvées dans la cage de capture de la passe à poissons de Lorcé et déversés en amont (Tableau 3). Les espèces les plus abondantes en termes d'individus sont les espèces rhéophiles avec une majorité de petites espèces en 2022 (56% des captures avec 13 ablettes spirilin) et 2023 (79,6% des captures avec 191

individus dont 174 ablettes spirlin). En termes de biomasse, ce sont les grandes espèces de poissons rhéophiles qui sont les plus importantes avec 2,1 kg en 2022 (99,2% de la biomasse totale) dont 1,4 kg provenant des truites et 13,6 kg en 2023 (91,2% de la biomasse totale) dont 8,2 kg provenant des barbeaux. Les espèces dans la cage de Lorcé présentent des tailles moyennes minimales et maximales allant de 34 mm jusqu'à 580 mm pour les barbeaux. Une espèce non-native a emprunté la passe : la truite arc-en-ciel.

Tableau 3 : Effectifs des espèces aquatiques utilisant la passe à poissons de Lorcé en 2022 et 2023 réparties en groupes écologiques, leur taille et leur biomasse. * Espèces non natives mais qui ne sont pas considérées comme invasives.

GROUPE ÉCOLOGIQUE	ESPÈCES	NOMBRE TOTAL	N 2022	N 2023	BIOMASSE TOTALE 2022 (G)	BIOMASSE TOTALE 2023 (G)	TAILLE MIN (MM)	TAILLE MAX (MM)	TAILLE MOY. (MM)
PETITES ESPÈCES RHÉOPHILES	Ablette spirlin	808	766	4	6598	36	44	119	86
	Vairon	222	204	26	705	33	32	98	56,8
	Chabot	64	61	11	360	68	30	114	72,1
	Goujon	119	117	0	2620	0	50	146	117,3
GRANDES ESPÈCES RHÉOPHILES	Chevaine	332	302	11	18781	1978	45	372	155
	Truite commune	77	46	16	12406	4592	82	608	307,4
	Truite arc-en-ciel *	19	9	1	5416	70	184	510	367,6
	Barbeau fluviatile	103	34	9	36145	15218	50	655	413,9
TOTAL		2223	1769	219	112047	29601			

- Comparaison des captures des passes de Coo et Lorcé au printemps 2023

Durant le printemps 2022, du 20 mars 2022 au 21 juin, 118 individus ont été capturés dans le piège de capture de Lorcé et 190 dans celui de Coo. Ceci représente 86,8% des captures ayant eu lieu entre le 1^{er} janvier et le 31 juillet à Coo et 52% de celles ayant eu lieu durant cette même période à Lorcé. L'espèce la plus abondante durant cette période à Lorcé était l'ablette spirlin avec 82 individus, représentant 69,5% des captures durant le printemps. A Coo, les loches étaient les plus abondantes avec 86 individus représentant 45,3% des captures (Figure 4).

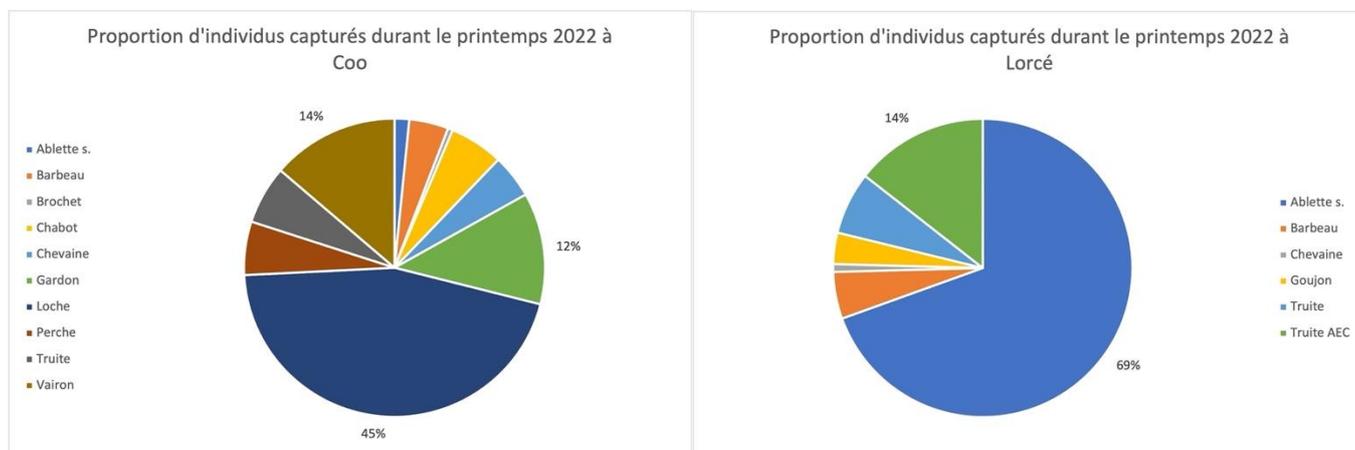


Figure 4: Proportion d'individus capturés par espèce aux passes à poissons de Coo et Lorcé durant le printemps 2022.

- Bilan de recapture dans la cage de la passe à poissons

Sur les 2223 individus capturés, 26 sont des individus ayant déjà été marqués auparavant. Il s'agit de 15 barbeaux (58% des recaptures), 2 chevaine (7% des recaptures) et 9 truites fario (35% des recaptures). Parmi les barbeaux il y avait notamment des individus ayant été marqué en 2014 à Neconveaux et transférés à Coo (2 le 7/05/2014) et à Coo (7 le 29/04/2014) ainsi qu'un individu marqué le 7 mai 2015 à Lorcé et recapturé le 12 mai 2021 à Coo.

Les truites marquées à la passe à poissons de Coo ont été relativement vite recapturées dans le piège de capture allant de quelques jours à 3,5 mois post-marquage, notamment une truite marquée le 8 février 2023 et recapturée le 30 mai 2023. Les truites capturées et marquées en amont de Coo le 27 septembre 2021 lors d'une pêche électrique ont été quant-à-elle recapturées le 16 mai 2022 soit presque 8 mois après leur marquage. Un chevaine marqué lors de cette même pêche électrique a été recapturé dans le piège le 11 mai 2022 (Tableau 4).

Tableau 3 : Date et lieu de marquage des individus ayant été recapturés dans le piège de capture de Coo et leurs caractéristiques (espèce, taille (mm), poids (g) et identifiant).

Date de marquage	Lieu de marquage	Date de recapture	Espèce	Taille (mm)	Poids (g)	Marque
22/03/21	Cage Coo	12/05/21	Truite	470	1242	B068102
7/05/15	Lorcé	12/05/21	Barbeau	631	3388	B06807D
12/05/21	Cage Coo	14/05/21	Barbeau	331	396	A95F2015
29/04/14	Amont Coo	31/05/21	Barbeau	448	1320	AF458E1
29/04/14	Amont Coo	31/05/21	Barbeau	427	1172	AF45915
7/05/14	Neconveaux	31/05/21	Barbeau	492	1854	AF524DA
29/04/14	Amont Coo	31/05/21	Barbeau	492	1620	AF458E3
29/04/14	Amont Coo	4/06/21	Barbeau	591	2185	AF45903
7/05/14	Neconveaux	18/06/21	Barbeau	575	2650	AF524D8
7/06/21	Cage Coo	2/07/21	Truite	411	524	5E5AB5B
1/04/21	Cage Coo	26/04/22	Truite	505	-	95F1FE2
20/04/22	Cage Coo	2/05/22	Truite	401	692	95FC95C
14/04/22	Cage Coo	9/05/22	Barbeau	638	3830	95FC956
14/04/22	Cage Coo	9/05/22	Barbeau	464	1500	95FC99B
27/09/21	Amont Coo	11/05/22	Chevaine	269	234	5E5AAD9
27/09/21	Amont Coo	16/05/22	Truite	276	276	5E5AAEC
27/09/21	Amont Coo	16/05/22	Truite	316	338	5E5AAF4
29/04/14	Amont Coo	30/05/22	Barbeau	615	2674	AF4592C
29/04/14	Amont Coo	13/06/22	Barbeau	644	3662	AF458EB
29/04/14	Amont Coo	17/06/22	Barbeau	586	2542	AF45939
31/05/21	Cage Coo	20/06/22	Barbeau	364	630	5E5AB74
11/10/22	Cage Coo	22/11/22	Truite	256	188	95FC8A4
08/05/2023	Canal de fuite Coo	23/05/2023	Truite	361	446	95FCB43
9/05/2022	Cage Coo	23/05/2023	Chevaine	250	230	E5AB34
29/04/2014	Amont Coo	23/05/2023	Barbeau	520	2052	AF458DE
8/02/2023	Cage Coo	30/05/2023	Truite	329	510	95FCA98

- Bilan de recapture lors de la pêche électrique barbeau

Lors de la pêche électrique réalisée le 8 mars 2022 en amont de Coo afin de capturer et marquer des barbeaux dans le but de les pister, 5 individus capturés étaient déjà marqués. Parmi ces individus, 2 provenaient de la pêche électrique réalisée le 1^{er} avril 2021 et les 3 autres du piège de capture de la passe à poissons de Coo (Tableau 5).

Tableau 4 : Date et lieu de marquage des individus ayant été recapturés lors de la pêche électrique du 8 mars 2022 et leurs caractéristiques (espèce, taille (mm), poids (g) et identifiant).

Date de marquage	Lieu de marquage	Date de recapture	Espèce	Taille (mm)	Poids (g)	Marque
2/06/21	Cage Coo	8/03/22	Barbeau	635	3858	5E5AB70
1/04/21	Amont Coo	8/03/22	Barbeau	541	2445	B0680E5
31/05/21	Cage Coo	8/03/22	Barbeau	462	1524	5E5AB8E
1/04/21	Amont Coo	8/03/22	Barbeau	492	1778	95F1FDF
28/05/21	Cage Coo	8/03/22	Barbeau	639	4318	95F1FE5

3.2 Bilan des détections des individus marqués

- Taux d'approche du site d'étude

La grande majorité des individus suivis a effectué une montaison jusqu'au système de détection après leur déversement à environ 1,2km en aval de la cage de capture (Tableau 6) : on observe un taux d'approche total de 89,5%, ce qui signifie que 34 poissons sur les 38 au total ont atteint l'entrée du système de détection (antenne ES) située à environ 205m en aval de la cage de capture de la passe à poisson de Coo.

Les barbeaux ont tous été détectés par l'antenne ES (taux d'approche barbeaux : 100%), 14 truites sur les 16 (taux d'approche truites : 87,5%) et seulement 4 ombres sur les 6 marqués (taux d'approche ombres : 66,7%) ont été captés par l'antenne ES : deux ombres et une truite ont été considérés perdus dès le début de l'étude, étant donné qu'ils n'ont jamais été localisés suite au déversement, ni par pistage mobile ni par les antennes fixes. Parmi tous les individus captés en ES, 7 truites et un barbeau n'ont pas été détecté au niveau du pied de la cascade (antenne CAS). Les 4 ombres (66,7%), 15 barbeaux (93,8%) et 7 truites (43,8%) restant ont bien atteint l'antenne CAS, soit au total 68,4% des poissons marqués qui ont été détectés en CAS (26 poissons sur 38 au total).

Seuls 2 ombres (sur 6 au total ; 33,3%), 8 barbeaux (sur 16 au total ; 50%) et 2 truites (sur 16 au total ; 12,5%) ont été détectés par l'antenne subaquatique située près de l'entrée du canal de fuite (antenne CAN), soit au total seulement 12 individus (31,6%). Il y a significativement moins d'individus à l'antenne CAN qu'à l'antenne CAS (test Chi², p < 0,01) : le canal de fuite est moins attractif que la cascade.

- Taux d'attractivité de la passe de Coo

Au niveau des antennes RFID placées dans la passe à poisson de Coo, l'antenne EP située à l'entrée de la passe a enregistré 4 barbeaux (soit 25% des 16 barbeaux relâchés) et 1 ombre (16,7% des 6 ombres), ce qui fait au total 22,7% des 22 barbeaux et ombres marqués qui ont atteint l'entrée de la passe (Tableau 6). Les données relatives aux truites n'ont pu être récupérées suite à un problème technique du récepteur RFID. Le taux d'attraction de la passe à poisson est de 25% en tenant compte des barbeaux et des ombres.

- Taux de franchissement de la passe de Coo

L'antenne située à l'entrée de la cage de capture (antenne EC) n'a détectée que 4 barbeaux (25% des barbeaux ; donc 18,2% des barbeaux et ombres relâchés) (Tableau 6). Les données relatives aux truites concernant l'antenne EC n'ont pu être récupérées. Seuls 3 individus ont été capturés dans la cage de la passe à poisson de Coo (deux barbeaux et une truite), ce qui correspond au total à 7,9% des individus marqués qui ont franchi avec succès la passe de Coo (= efficacité de franchissement de la passe à poisson de Coo). En ne tenant compte que des barbeaux et des ombres, l'efficacité de franchissement corrigée est de 50% (4 individus captés à l'entrée de la cage par EC, contre 2 capturés).

Tableau 5: Nombre et proportion de poisson détectés par les antennes fixes à l'entrée du système (ES), au pied de la cascade de Coo (CAS), au niveau de l'entrée du canal de fuite (CAN), au niveau de l'entrée du canal de la passe (EP), au niveau de l'entrée de la cage de capture de la passe (EC), et nombre et proportion de poissons déversés en amont de la cascade. * : total réalisé sans prendre en compte les truites.

Antenne	N ombres = 6	N barbeaux = 16	N truites = 16	N total = 38
ES entrée système (Taux d'approche)	4 (66,7%)	16 (100%)	14 (87,5%)	34 (89,5%)
CAS cascade	4 (66,7%)	15 (93,8%)	7 (43,8%)	26 (68,4%)
CAN canal de fuite	2 (33,3%)	8 (50%)	2 (12,5%)	12 (31,6%)
EP entrée passe	1 (16,7%)	4 (25%)	-	5* (22,7%)
Taux d'attraction	25%	25%	-	25%*
EC entrée cage de capture	0	4 (25%)	-	4* (18,2%)
Individus capturés dans la cage (Efficacité de franchissement de la passe à poisson)	0	2 (12,5%)	1 (6,3%)	3 (7,9%)
Efficacité de franchissement corrigée	0	50%	-	50%*

3.3 Temps de séjour au niveau de chaque antenne

Un ombre (O4), deux barbeaux (B5 et B16) et 1 truite (T13) ont passés plus de 250 h (temps cumulé) à proximité des antennes de détection avec notamment l'ombre O4 qui a cumulé 528,5 h. La truite T11 a passé 237,5 h auprès d'antennes et la truite T6 155h au total. Deux tendances se démarquent ensuite avec (i) des individus qui ont passé entre 50 et 150 h auprès des antennes et (ii) ceux qui ont passé moins de 50 h (Figure 5A):

- Entre 50 et 150 h passées à proximité des antennes : 5 barbeaux (B1, B3, B4, B8 et B10), 1 ombre (O2) et 2 truites (T4 et T10)
- Moins de 50 h passées à proximité des antennes : 9 barbeaux (B2, B6, B7, B9, B11, B12, B13, B14, B15), 2 ombres (O3 et O6) et 9 truites (T1, T3, T5, T7, T8, T12, T14, T15 et T16).

L'antenne la plus visitée varie d'un individu à l'autre ; O4 a principalement été à proximité de CAS (243,5h) et CAN (244 h) pour un total de 528,5 h, B16 s'est trouvé à proximité de CAN durant 139,75 h (sur un total de 317,5 h) et pour B5 il s'agit de l'antenne CAS avec 233,75 h passé à sa proximité sur 256,25 h au total. T13 et T11 ont principalement été détectés à l'antenne située à l'entrée du système

avec respectivement 237,75 h et 227 h d'occupation. Pour les individus qui ont passé moins de 150 h auprès d'antennes, il s'agit de l'antenne ES qui a été majoritairement visitée.

En terme de temps total passé par chacune des espèces au niveau des antennes, l'antenne CAS est l'antenne la plus visitée par les ombres avec 287,75 h et par les barbeaux avec 578,5 h tandis qu'il s'agit de l'antenne ES pour les truites avec 847,5 h. La seconde antenne la plus visitée est l'antenne CAN pour les ombres (246,75 h), ES pour les barbeaux (375 h) et CAS pour les truites (59 h). La cascade semble par conséquent plus attractive que le canal de restitution (Figure 5B).

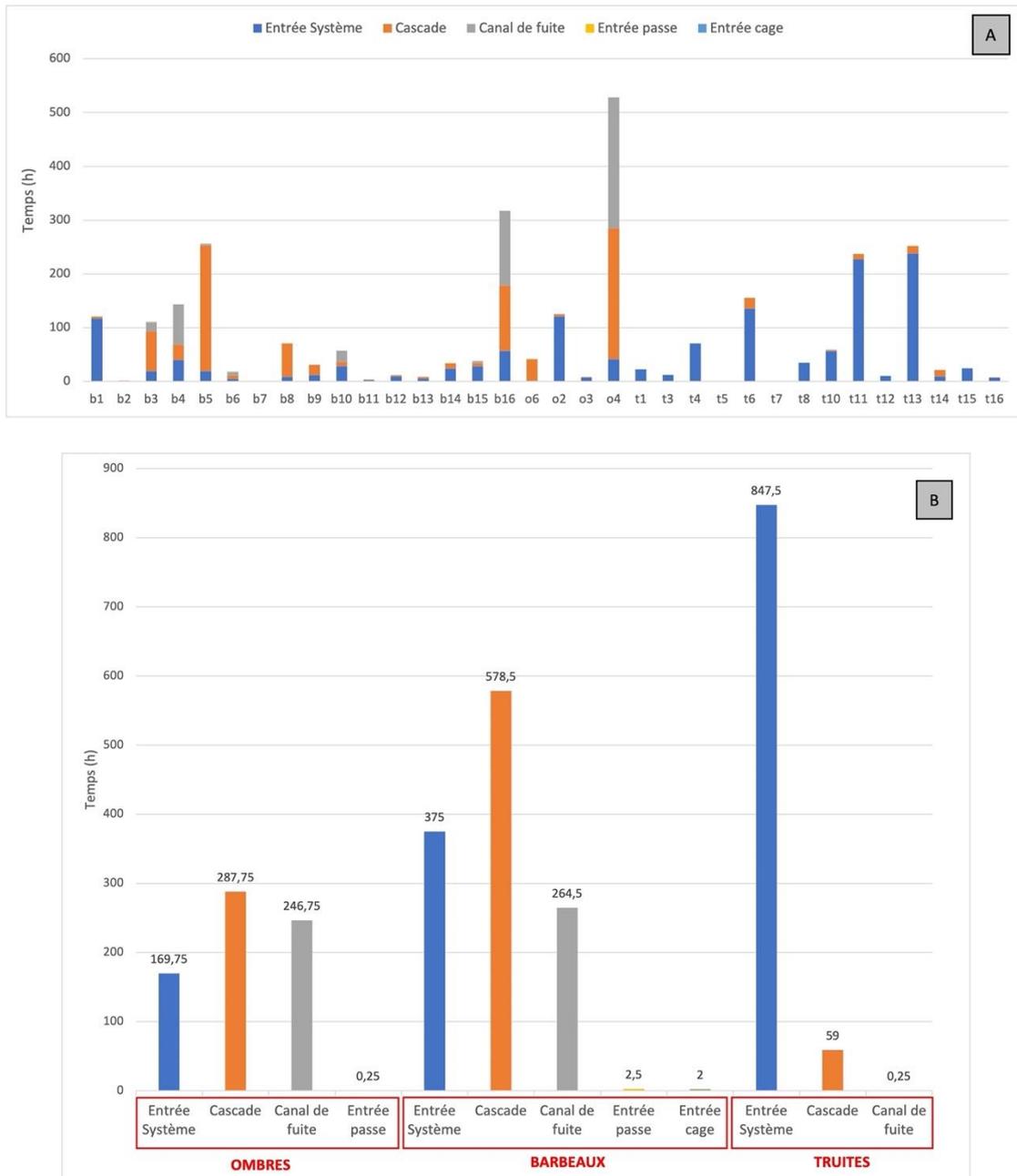


Figure 5: Nombre d'heures passées au niveau de chaque antennes (ES, CAS,CAN, EP, EC) par individu (A) ; Nombre d'heures total passées par espèce au niveau de chaque antenne (B).

3.4 Comportements post-franchissement

Trois individus capturés dans la cage de Coo et marqués ont été déversés en amont de la cascade de Coo : les barbeaux B6 et B15 le 9 mai 2022 et la truite T6 (22 novembre 2022).

L'individu B6 s'est retrouvé dès le lendemain du déversement (1,2km en aval de la cascade le 15/04) dans la zone de la cascade et l'individu B15 s'est retrouvé dans cette zone 4 jours après son déversement (18/04). Ils ont ensuite effectué des allers-retours dans le système de détection durant une vingtaine de jours. B15 a franchi l'entrée de la passe et l'entrée de la cage de capture le 8/05. B6 a été localisé à l'entrée du canal de la passe à poissons et s'y est engagé le 5/05, date à laquelle il est entré dans la cage de capture. Les deux individus ont ensuite été déversés le 9/05 ensemble (Figure 6).

L'individu B15 a été perdu suite à son déversement, aucune détection n'a été relevé par les antennes fixes laissant suggérer que l'individu serait resté en amont. L'individu B6 a été retrouvé le 11/05 à 2,5 km en amont de la cascade de Coo, dans un confluent de l'Amblève (la Salm) occupé de frayer avec d'autres barbeaux adultes. Il sera localisé pour la dernière fois le 24/06 (dernière localisation avant la fin de vie de l'émetteur), 1km en amont de la cascade (Figure 6).

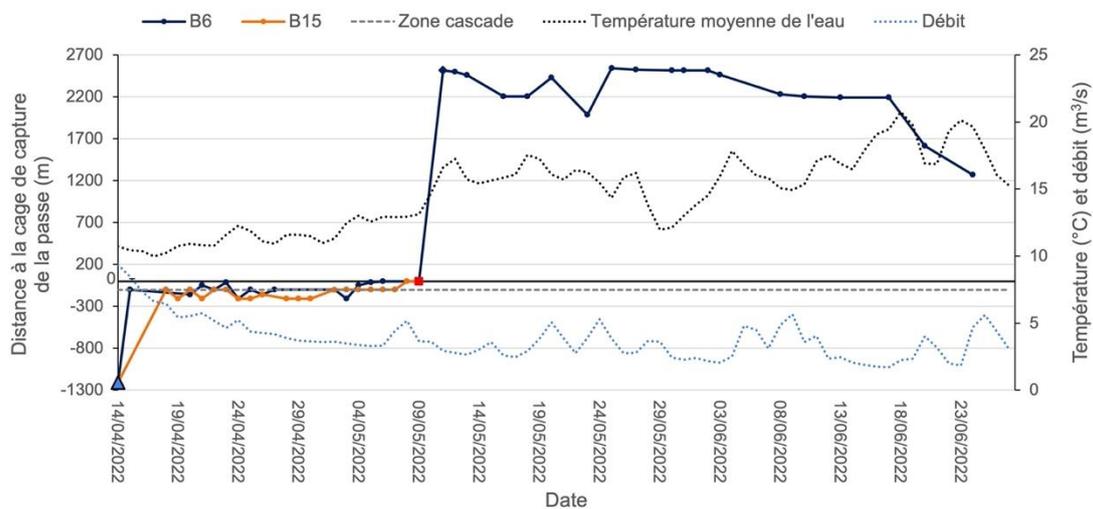


Figure 6: Localisation des barbeaux B6 et B15 par rapport à la cage de capture de la passe à poissons de Coo, en fonction du temps. Droite hachurée grise : zone cascade, correspondant au périmètre juste en aval de la cascade à 101m de la cage de capture; température représentée par la courbe en pointillée noire et le débit par celle en bleue; triangle bleu correspondant au déversement des poissons le 14/04/2022 à 15h08.

La truite T6 déversée le 11/10 a été localisée dès le lendemain (12/10) à l'entrée du système et le 17/11 entre l'entrée du système et la cascade. Le 18/11 elle a été détectée à l'entrée du canal de fuite de la passe à poissons. Elle effectuera à partir de ce jour jusqu'au 22/11 des mouvements dans la zone du système entre l'entrée système, la cascade et l'entrée du canal de fuite. Le 22/11 elle s'est engagée dans la cage de capture et a été déversée en amont de la cascade. Le 23/11, elle a été localisée en entrée du système et aucune détection au niveau de la cascade n'a été obtenue, elle semblerait avoir dévalé par le canal de fuite. Elle a été localisée pour la dernière fois le 22/12 en aval de la confluence avec le Roannay (environ 2,5 km en aval de la cascade) (Figure 7).

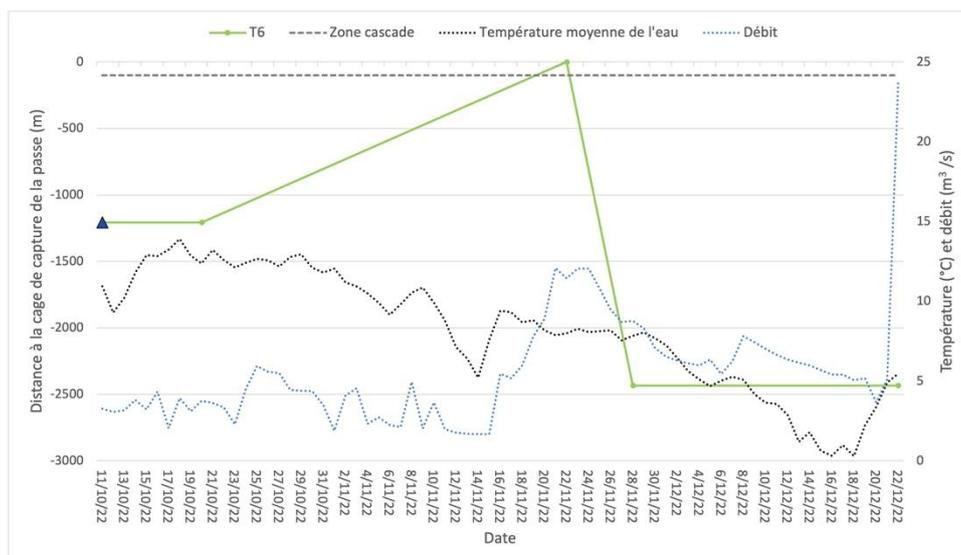


Figure 7 : Localisation de la truite T6 par rapport à la cage de capture de la passe à poissons de Coo, en fonction du temps. Droite hachurée grise : zone cascade, correspondant au périmètre juste en aval de la cascade à 101m de la cage de capture; température représentée par la courbe en pointillée noire et le débit par celle en bleue ; triangle bleu correspondant au déversement du poisson le 11/10/2022 à 14h47 (UMT0).

3.5 Bilan de mobilité des individus radio-pistés

- Ombres

Les individus O2, O3 et O4 déversés le 23 mars 2022 sont remontés en moins d'une semaine à l'entrée du système de détection où ils y sont restés jusqu'au 5-6 avril. O2 et O4 ont ensuite dévalé jusqu'à respectivement 4 km et 1,2 km en aval de l'entrée de la cage de capture. L'individu O6 a été déversé le 14 avril 2022 et a été détecté à l'entrée du système 2 jours plus tard. Il dévalera 3 jours plus tard jusqu'à 5,1 km en aval de la passe à poissons. Les ombres O2, O4 et O6 sont ensuite restés stables dans leur déplacement mis à part l'individu O4 qui réalisait des mouvements exploratoires d'une amplitude d'environ 1 km autour du point de déversement (Figure 8a).

L'individu O3 a été localisé pour la dernière fois 322 m en aval de l'entrée de la cage approximativement 1 mois après son déversement. Les individus O1 et O5 n'ont jamais été retrouvés suite à leur déversement le 23 mars 2022 (Figure 8a).

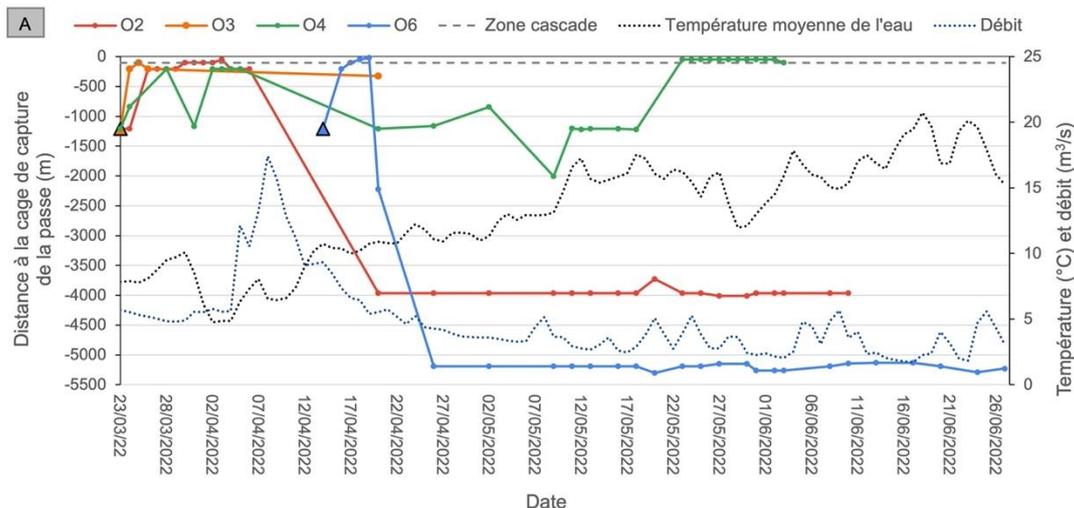


Figure 8a : Localisation des ombres O2, O3, O4 et O6 par rapport à la cage de capture de la passe à poissons de Coo, en fonction du temps. Droite hachurée grise : zone cascade, correspondant au périmètre juste en aval de la cascade à 101m de la cage de capture; température représentée par la courbe en pointillée noire et le débit par celle en bleu ; triangle orange correspondant au déversement des poissons O2, O3 et O4 le 23/03/22 à 17h10 et triangle bleu à celui de O6 le 14/04/22 à 15h08.

- Barbeaux

En dehors des individus B15 et B6, les individus B11 et B16 ont atteint la cascade trois jours après leur déversement (17/04), et B14 deux semaines après le déversement (28/04). Ce dernier effectuera une importante dévalaison d'environ 6,7km en aval de la passe à poissons durant la première quinzaine de mai avant de revenir au niveau du système. Il dévalera une seconde fois d'une distance de 2,3km quelques jours plus tard avant de regagner de nouveau le système où il y restera. L'individu B16 dans un premier temps stationnaire, a dévalé 4,2km en aval de la passe à poissons le 30 mai et restera stationnaire par la suite. B11 quand-à-lui réalise de nombreux allers-retours deux jours après avoir atteint la cascade pour enfin dévaler de 4,2km (Figure 8b).

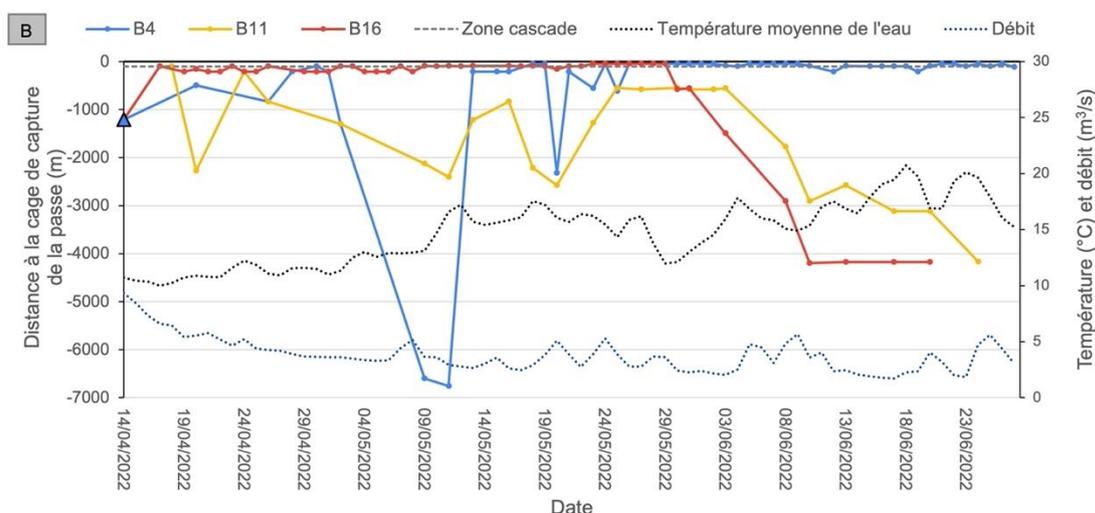


Figure 8b : Localisation des barbeaux B4, B11 et B16 par rapport à la cage de capture de la passe à poissons de Coo, en fonction du temps. Droite hachurée grise : zone cascade, correspondant au périmètre juste en aval de la cascade à 101m de la cage de capture; température représentée par la courbe en pointillée noire et le débit par celle en bleu ; triangle bleu correspondant au déversement des poissons le 14/04/22 à 15h08.

Le barbeau B1 est arrivé à l'entrée du système le jour-même de son déversement (23/04), le lendemain pour l'individu B12 (15/04) et respectivement 5 et 19 jours après leur déversement pour B2 et B7. Les

4 barbeaux ont dévalé à partir du 19/04 pour se retrouver environ 2,3 km en aval de la passe à poissons. A noter que le 11/05 les individus B2, B7 et B12 ont été localisés ensemble laissant supposer un potentiel épisode de reproduction. L'individu B2 a été retrouvé mort le 18 mai et les trois autres individus effectuent des mouvements d'allers-retours d'une amplitude d'environ 500m (Figure 8c).

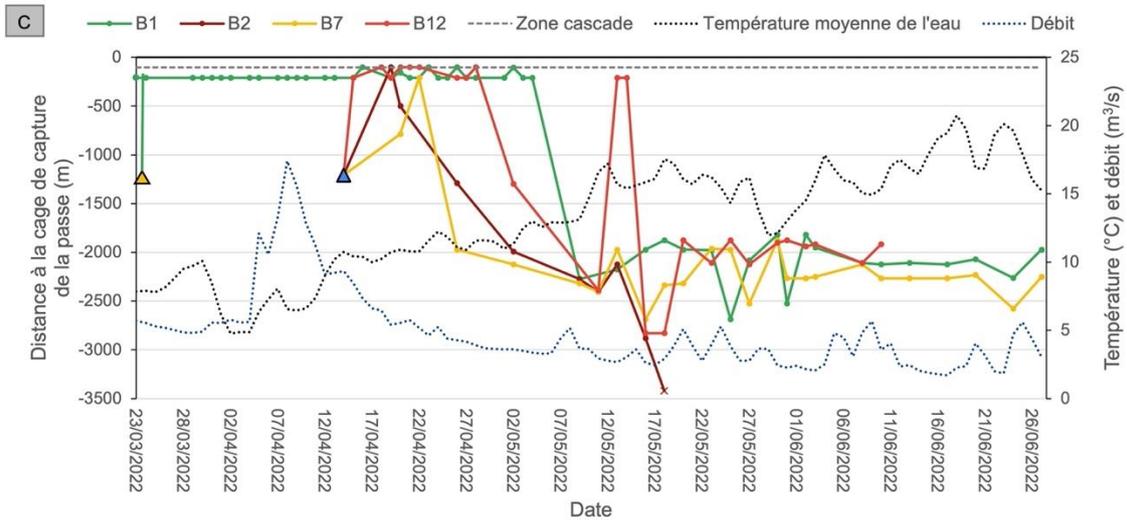


Figure 8c : Localisation des barbeaux B1, B2, B7 et B12 par rapport à la cage de capture de la passe à poissons de Coo, en fonction du temps. Droite hachurée grise : zone cascade, correspondant au périmètre juste en aval de la cascade à 101m de la cage de capture; température représentée par la courbe en pointillée noire et le débit par celle en bleue ; triangle orange correspondant au déversement de poissons B1 le 23/03/22 à 17h10 et triangle bleu à celui de B2, B7 et B12 le 14/04/22 à 15h08.

Les individus B3, B5, B9, B10, B14 et B13 sont arrivés au système de détection après maximum une vingtaine suivant leur déversement. L'individu B8 mettra quant-à-lui 53 jours pour parvenir au système. Après quoi, ces individus effectuent des dévalaisons et montaisons durant 2 semaines (du 20/04 au 4/05). Le 9/05, B5, B10, B14 et B3 se stabilisent au point de déversement avec B8 (+/- 1,2 km en aval de la passe à poissons). B13 quant-à-lui dévalera jusqu'à 2,4 km en aval de la passe. B3, B8 et B14 resteront globalement ensemble laissant potentiellement supposer un épisode de reproduction (Figure 8d).

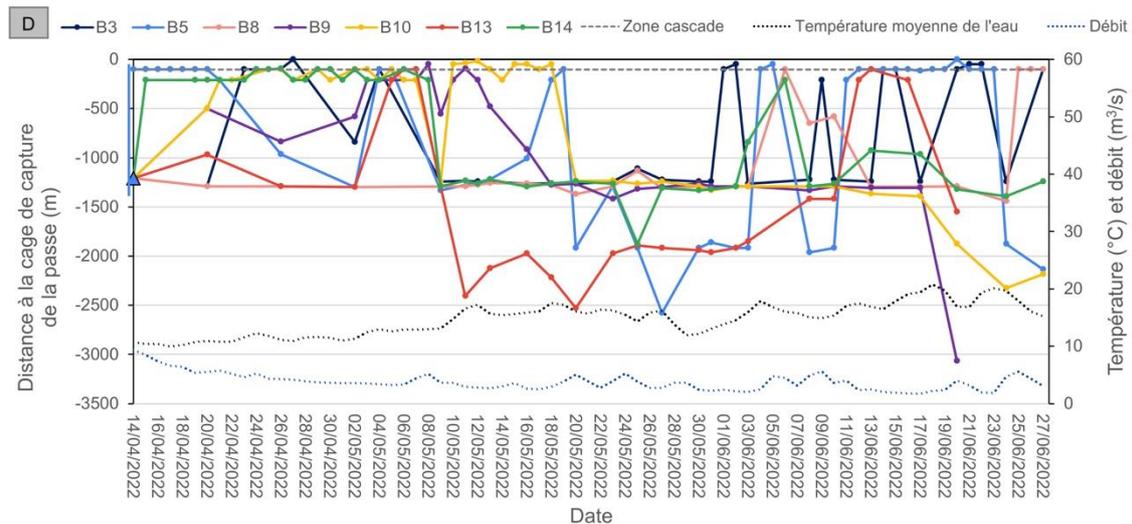


Figure 8d : Localisation des barbeaux B3, B5, B8, B9, B10, B13 et B14 par rapport à la cage de capture de la passe à poissons de Coo, en fonction du temps. Droite hachurée grise : zone cascade, correspondant au périmètre juste en aval de la cascade à 101m de la cage de capture; température représentée par la courbe en pointillée noire et le débit par celle en bleue ; triangle bleu correspondant au déversement des poissons le 14/04/22 à 15h08.

Le 23/05 tous les individus (sauf B13) sont environ 1,3 km en aval de la passe à poissons. B9 et B10 resteront statique durant quasiment 1 mois. A partir du 31/05 les autres individus ont effectués de nombreux mouvements entre la passe à poissons et 1,2 km en aval de celle-ci. B5 et B3 se sont aventurés jusqu'à la cage de capture mais n'y sont pas restés, de même que B10 qui a quasiment atteint l'entrée de la passe à poissons.

- Truites

T9 n'a jamais été détecté via les antennes ou durant le pistage manuel et T12 et T15 n'ont jamais été détecté en pistage mobile depuis leurs déversement le 11/10 et T2 n'a été détectée que lors du pistage mobile. Le 12/10 au total 13 truites (T1, T3, T4, T5, T6, T8, T10, T11, T12, T13, T14, T15 et T16) ont été détectées à l'entrée du système. Le 17/10 T14 est détectée par l'antenne à la cascade et est localisée à 100m de la passe à poissons. T11 a été détectée le 1/11 à la cascade après avoir été localisée entre 650 et 450m en aval de la passe la semaine précédant la détection. T2, T3, T4, T5, T7 et T14 ont été perdues entre le 17/10 et le 24/10 et ont été détectées entre 1 et 4 fois lors du pistage manuelle. T2 a été localisée 1,9 km en aval de la passe le 24/10 et T3, T4, T5 et T7 ont été localisés pour la dernière fois entre 1,2 et 1,1 km en aval de la passe (Figure 8e).

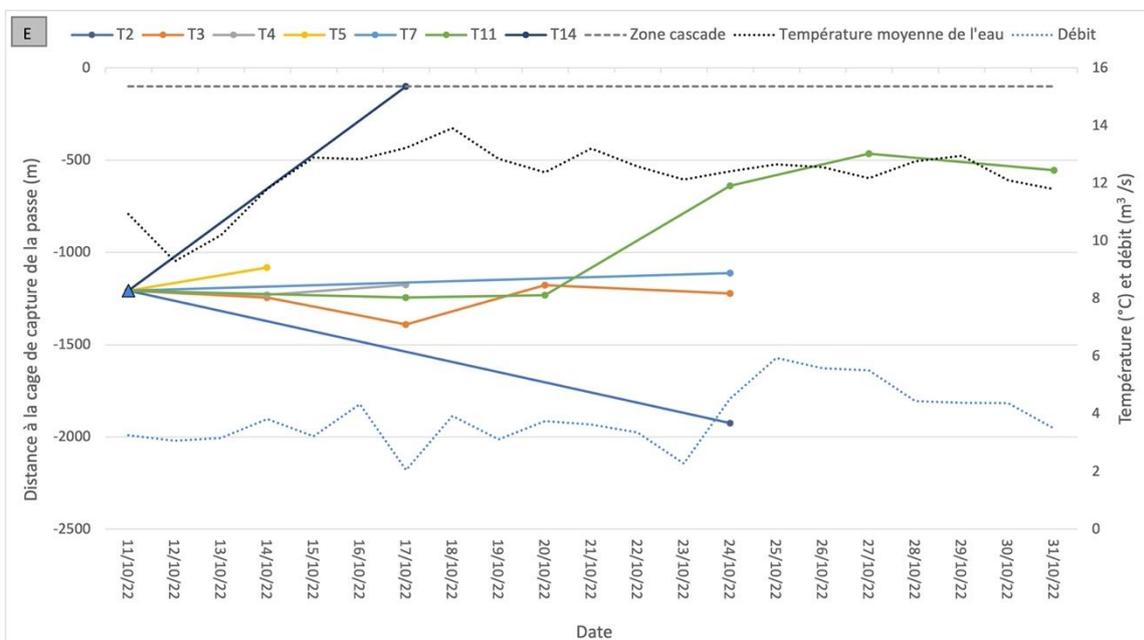


Figure 8e : Localisation des truites T2, T3, T4, T5, T7, T11 et T14 par rapport à la cage de capture de la passe à poissons de Coo, en fonction du temps. Droite hachurée grise : zone cascade, correspondant au périmètre juste en aval de la cascade à 101m de la cage de capture; température représentée par la courbe en pointillée noire et le débit par celle en bleue ; triangle bleu correspondant au déversement des poissons le 11/10/2022 à 14h47 (UMT0).

T13 a été détecté à la cascade avec T10 le 8/11, T13 est l'individu qui a parcouru le plus de distance en aval, elle a été détectée pour la dernière fois le 6/12 6,5 km en aval de la passe à poissons. T10 a réalisé des déplacements vers l'amont et l'aval dans un secteur compris entre 1,1 km et 3 km en aval de la passe et a été détecté au niveau du canal de fuite le 21/11. T1 et T16 sont restées relativement proche du point de déversement durant la période de pistage avec une dernière détection à 2 km en aval de la passe. T16 a été détecté au niveau de la cascade le 24/10. T8 a rapidement dévalé l'Amblève et s'est stabilisée le 6/12 à 2,1 km en aval de la passe à poissons jusqu'à la fin du pistage (Figure 8f).

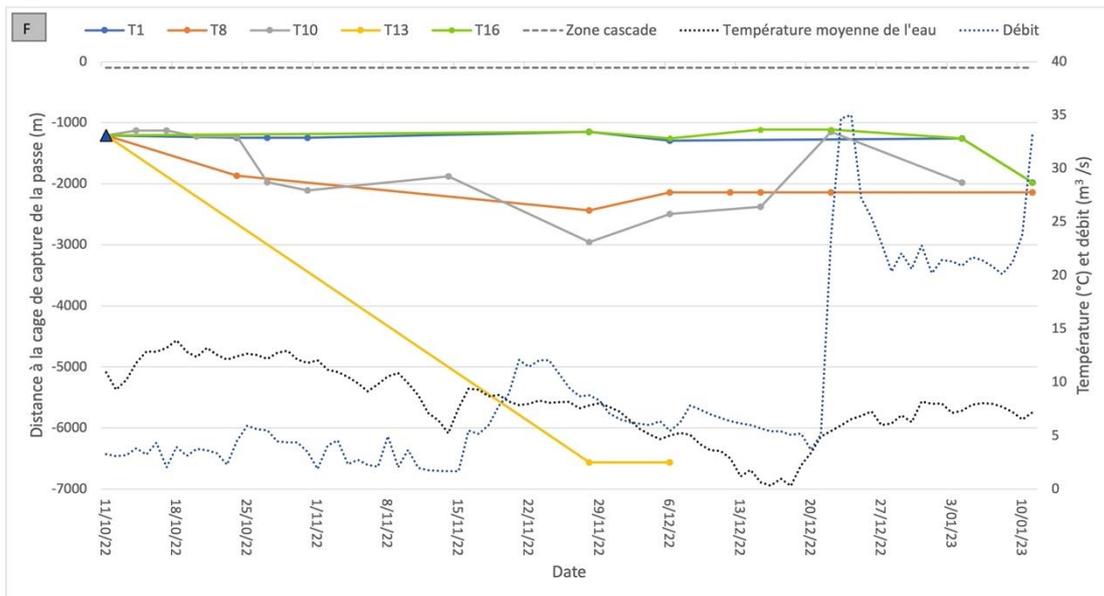


Figure 8f : Localisation des truites T1, T8, T10, T13 et T16 par rapport à la cage de capture de la passe à poissons de Coo, en fonction du temps. Droite hachurée grise : zone cascade, correspondant au périmètre juste en aval de la cascade à 101m de la cage de capture; température représentée par la courbe en pointillée noire et le débit par celle en bleue ; triangle bleu correspondant au déversement des poissons le 11/10/2022 à 14h47 (UMT0).

4. Discussion

4.1 Monitoring du piège de capture

Entre le 15 mars 2021 et le 31 décembre 2022, 21 espèces ont été capturés dans la cage de capture de Coo, dont la majorité (11 espèces) étaient des espèces rhéophiles. En effet, le site de la cascade de Coo se situe dans la zone à barbeaux qui correspond à des eaux vives avec une eau riche en oxygène, de gros bloc rocheux et du sable et limon, propice aux espèces rhéophiles (Huet, 1949). Notons que certaines espèces présentes lors du recensement piscicole en aval de la cascade de 2010-2011 n'ont pas été capturés dans le piège de capture : la vandoise (*Leuciscus leuciscus*) et l'anguille (*Anguilla anguilla*). Ceci pourrait s'expliquer par le fait que l'espacement des barreaux du piège de capture permet le passage d'individus de plus petites tailles, bien que l'espèce dominante à Coo est l'ablette spirin avec 808 individus capturés. Néanmoins, la passe à poisson de Coo est utilisée par un grand nombre d'espèce puisqu'environ 82% des espèces présentes en aval de la cascade ont emprunté ce dispositif. Bien qu'une étude sur plusieurs années soit nécessaire avant de déterminer précisément l'utilisation de ce dispositif de franchissement (Silva *et al.*, 2018), les premiers résultats semblent indiquer que ce dispositif permet bien une réouverture de l'axe migratoire vers l'amont à l'échelle multi-spécifique.

4.2 Mobilité des individus suivis par télémétrie

A part deux ombres et une truite qui ont été considérés perdus, tous les individus marqués se sont déplacés vers l'amont au minimum une fois et ont parcouru le kilomètre séparant le point de déversement et l'entrée du système de détection. Nous pouvons donc supposer que les poissons que nous avons suivis ont tous démontré une forte motivation à migrer vers l'amont. La motivation de montaison fluctue d'un individu à l'autre, et ce, même au sein d'une même espèce (Bunt *et al.*, 2012 ; David *et al.*, 2022). Lors d'études du franchissement d'une passe à poissons, prendre en compte la probabilité de migration des individus étudiés peut donc permettre d'éviter des biais concernant sa performance (David *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2018). Nos individus ont donc :

- (i) Majoritairement effectués une montaison suite à leur déversement,
- (ii) Globalement passés du temps dans le système de détection, et
- (iii) Effectué plusieurs allers-retours en aval de la cascade.

Nous pouvons donc en déduire qu'ils exploraient tous leur environnement (à des degrés divers) dans le but de trouver une voie de passage vers l'amont. L'utilité est donc grande, lors de l'évaluation de l'efficacité d'une passe à poissons, de développer un système d'antennes de détections aux abords du dispositif de franchissement, afin de mesurer la proportion d'individus s'étant présentée aux environs de la passe, et la proportion qui a trouvé avec succès la passe.

4.2.1 Mobilité des barbeaux

Mis à part un barbeau qui paraît plus résident que les autres de par sa position stationnaire (mouvements majoritairement autour des 200m d'amplitude), les quinze autres barbeaux sont plus ou moins mobiles. Ils effectuent de nombreux allers-retours et explorent sur plusieurs kilomètres en aval de la cascade. Trois individus sont particulièrement mobiles, allant jusqu'à -7 km et -4 km en aval de Coo, tandis que la moyenne pour les autres individus est comprise entre -2 km et -3 km. Cela reflète bien la variabilité des patterns de mobilité existant chez les barbeaux (résident et mobile) (Penaz *et al.*, 2002; Capra *et al.*, 2018), et correspond au distances répertoriées pour cette espèce dans de nombreuses études (< 10-15 km) (Penaz *et al.*, 2002; De Leeuw and Winter, 2008). Cependant, à part deux barbeaux qui ont réussi à franchir l'amont, les autres individus sont restés bloqués en aval de la cascade de Coo. Sans pouvoir effectuer de migration de montaison pour se reproduire, ils ont sans doute frayé dans des sites de reproduction situés en aval de Coo.

L'individu B6 a traversé avec succès la passe de Coo et a donc pu regagner son secteur d'origine (avant l'étude) en amont de la cascade de Coo. Nous avons directement observé visuellement le barbeau B6 se reproduire le 11 mai. Étant donné que cet individu est monté rapidement vers l'amont dès qu'il a franchi la passe, effectuant une migration de montaison de 2,5 km en deux jours, nous pouvons nous demander si ce barbeau est retourné sur une frayère qu'il fréquentait les années précédentes. Effectivement, la fidélité au site de reproduction (homing reproducteur) est connue chez de nombreuses espèces piscicoles, dont les barbeaux, même si ce n'est pas le cas pour tous les individus (Ovidio *et al.*, 2007).

Le même jour (le 11 mai), trois barbeaux étaient regroupés à environ -2,3 km en aval de la passe à poisson de Coo et du 9 mai au 29 juin environ, trois barbeaux, et momentanément deux autres, sont restés ensemble entre -1,2 et -1,3 km de la passe. Hormis pour la certitude de reproduction de l'individu B6, les éléments qui peuvent nous laisser penser que les regroupements des barbeaux marqués correspondent peut-être à des épisodes de reproduction sont que la période de frai de cette espèce se situe entre mai et début juin, et que la température seuil de 14°C venait d'être dépassée le 10 mai. L'atteinte de la température requise pour que les barbeaux se reproduisent a donc pu déclencher leur comportement de reproduction (Britton and Pegg, 2011). Cette période de reproduction est en adéquation avec ce que Ovidio *et al.*, 2007 ont pu observer chez des barbeaux dans l'Ourthe : les individus suivis se sont reproduit début mai, suite aux températures minimales seuils des barbeaux. Après avoir passé 8 jours dans l'aire de reproduction, les barbeaux ont effectués en 48h un homing post-reproduction précis jusqu'à leur aire de résidence précédemment occupée.

Conformément à cela, l'individu B6 (qui a franchi avec succès la passe de Coo) semble être retourné tardivement, vers fin juin, dans le tronçon où nous l'avions capturé. Les autres barbeaux qui sont restés en aval de la cascade de Coo et donc en aval de leurs résidences d'origine, sont assez mobiles après leur période présumée de pré-reproduction. Ils effectuent de nombreux allers-retours, puis certains dévalent vers fin juin (comme B6). Cette grande mobilité pourrait donc refléter la recherche d'une nouvelle aire de résidence par les barbeaux restés bloqués en aval de la cascade.

4.2.2 Mobilité des ombres

L'objectif de base était de suivre deux effectifs de 15 individus par espèce (n = 45 au total), mais nous n'avons pas réussi à capturer un nombre satisfaisant d'ombres malgré les efforts de pêche électrique (trois jours de pêche électrique sur plus de 2 km de rivière). Les ombres étaient donc en sous-effectif (n = 6 individus, au lieu de 8 minimum) par rapport à ce qui est recommandé pour mener des études sur des populations sauvages (Zuur *et al.*, 2007). De plus, nous avons perdu deux ombres dès le début du suivi. Cela implique la présence d'un biais dans l'analyse et l'interprétation de nos résultats concernant les mouvements des ombres. Plusieurs pistes sont envisageables concernant la perte de nos deux ombres (O1 et O5) :

- (i) étant donné la relative petite taille de cette espèce, nos deux individus ont pu être capturés par des oiseaux et emmenés dans les terres, ce qui pourrait expliquer pourquoi nous ne pouvions plus localiser leurs émetteurs ;
- (ii) les émetteurs de ces deux individus ont pu présenter une défaillance et arrêter de fonctionner ;
- (iii) contrairement aux autres individus, ces deux ombres ont pu dévaler directement suite à leur déversement en aval de la passe de Coo : nous avons effectivement un biais méthodologique issu du fait que nous n'avons commencé à pister activement (jusqu'à plusieurs kilomètres en aval du point de déversement) qu'à partir d'un mois (le 20/04) après le déversement de ces individus ombres ;

La période de reproduction des ombres se situe de mars à avril, et débute quand la température seuil de 8°C est atteinte et que le débit diminue (Ovidio *et al.*, 2004; Philippart and Ovidio, 2007). Ce seuil est dépassé une première fois du 26 mars au 31 mars, et sera définitivement dépassé à partir du 12 avril. Cependant, il n'est pas possible d'interpréter si les quatre ombres suivis se sont reproduits étant donné qu'aucun de nos ombres ne se sont retrouvés groupés à partir de cette date. Certaines études utilisant la biotéléométrie ont pu montrer que les ombres utilisaient parfois les bancs de graviers accumulés en aval des barrages pour se reproduire (Parkinson *et al.*, 1999; Ovidio *et al.*, 2004). Cependant, même si durant le temps passé dans le système de détection (fin mars jusque début avril) la température était propice à leur reproduction durant six jours, rien ne laisse indiquer que nos individus ont frayé au niveau de la cascade ou du canal de restitution adjacent.

Il se peut en effet que la phase de reproduction de nos ombres suivis ait été perturbée. N'ayant pas réussi à en capturer lors de la période de pré-reproduction début mars, nous avons dû capturer et déverser cinq individus le 23 mars, soit au milieu de leur période de reproduction. Le sixième individu a été capturé et déversé encore plus tard, le 14 avril, soit pratiquement en fin de période de reproduction. Il se peut donc que pour les ombres suivis, la translocation tardive ait eu une incidence sur leur comportement reproducteur.

Nous savons que les ombres communs peuvent afficher un comportement de homing- reproducteur et post-reproducteur (Meyer, 2001; Ovidio *et al.*, 2004b) : les quatre ombres que nous avons pu suivre sont tous montés vers le système de détection dès leur déversement, avant de faire demi-tour et de dévaler, possiblement en recherche d'aires de frai propices ou de sites qui leurs sont familiers. Cela peut également être interprété comme un simple comportement exploratoire, suivi d'une période stationnaire, sans lien avec la reproduction. Il se peut effectivement que nos individus se soient déjà reproduits avant leur capture. En effet, plusieurs études ont observés des ombres se reproduire mi-mars et fin-mars (Parkinson *et al.*, 1999; Meyer, 2001; Ovidio *et al.*, 2004). Il est donc difficile de savoir si nos ombres se sont reproduit avant capture, ou ont cherchés à frayer une fois déversés en amont, étant donné que le timing des migrations des poissons s'ajuste aux variations annuelles des conditions environnementales (Ovidio *et al.*, 2004). Cependant, nous ne pouvons exclure la possibilité d'une reproduction des ombres en aval de la cascade de Coe, étant donné qu'ils affichent le même comportement que nos barbeaux (qui se sont potentiellement reproduit).

4.2.3 Mobilité des truites

La majorité des truites ont montré une volonté de montaison puisque 14 d'entre-elles ont été détectées à l'entrée du système avant de se déplacer vers l'aval. Parmi celles-ci, 7 ont été détectées à la cascade et deux d'entre-elles ont été détectées dans le canal de fuite. Par conséquent, la cascade s'est montrée plus attractive pour les truites que le canal de fuite.

De manière générale, les truites se sont déplacées jusqu'à 1,5-2km en aval, mis à part une truite qui a parcouru 6,5 km. Un seul individu a été capturé dans le piège de capture (T6) et a été déversé en amont de la cascade. Cependant T6 a dévalé dans les 24h suivant son déversement sans avoir été détectée par l'antenne située au pied de la cascade. Notre hypothèse serait qu'elle ait profité du débit plus important de la rivière pour dévaler par le canal de fuite où elle a été détectée. Après quoi, T6 a parcouru 2,5 km et a été retrouvée à proximité de la confluence avec le Roannay. La truite est connue pour migrer vers des affluents lors de sa période de reproduction afin de trouver un site adéquat pour frayer (Ovidio *et al.*, 1998; Piecuch *et al.*, 2007; García-Vega *et al.*, 2018). Il est par conséquent possible que cet individu se soit reproduit dans cet affluent de l'Amblève. De même que deux autres truites (T8 et T10) qui ont été localisées plusieurs fois près de la confluence.

La période de migration de reproduction des truites se déroule de octobre à janvier à température faible (7°C) et souvent lors d'un pic de débit qui a tendance à agir comme un stimulus pour la migration (Ovidio *et al.*, 1998; Piecuch *et al.*, 2007). Ces conditions ont été remplies durant la période de suivi des truites, par conséquent il est tout à fait probable que les individus aient pu se reproduire. Néanmoins, aucune preuve concrète ne peut confirmer cette hypothèse.

Enfin, malgré plusieurs sessions de prospections intensives en parcourant un long linéaire aval (jusque Lorcé) ainsi que la prospection d'affluents de l'Amblève, nous n'avons récolté que très peu de données de localisation. De plus, le matériel de pistage ne permet pas une détection à longue distance. Il est par conséquent tout à fait probable que les individus aient parcouru de très longue distance en aval mais aussi dans des affluents afin de chercher des lieux de reproduction.

4.3 Mobilité des individus dans le système

Afin de déterminer les comportements d'approche du secteur de la passe à poisson de Coö, nous avons utilisé des métriques comportementales standardisées (Bunt *et al.*, 2012; Noonan *et al.*, 2012; Ovidio *et al.*, 2017). Ces métriques nous ont permis de calculer les performances de la passe à poissons de Coö, tel que préconisé dans la littérature (Silva *et al.*, 2018). Le franchissement d'une passe à poissons peut en effet être appréhendé comme un processus en trois étapes : (i) l'approche du poisson (l'individu détecte ou non l'entrée du dispositif), (ii) l'entrée du poisson (l'individu a localisé l'entrée du dispositif et a décidé d'y pénétrer), et (iii) le passage du poisson. Contrôler individuellement ces trois phases peut permettre d'évaluer finement l'efficacité d'un dispositif de franchissement, de telle manière à identifier où sont situés les potentiels défauts. De fait, nous avons suivi une méthodologie semblable, et, grâce à notre système de détection à cinq antennes, nous avons pu dresser un constat assez précis des performances de la passe à poissons de Coö.

4.3.1 Temps de séjour au niveau des antennes et taux d'attractivité de la passe

Le taux d'approche total à l'entrée du système (nombre d'individus) est de 89,5% : hormis les deux ombres et deux truites perdus, tous les individus sont montés jusqu'au système de détection, ce qui est satisfaisant et équivalent à d'autres études menées sur les ombres, les barbeaux et les truites (Ovidio *et al.*, 2017).

Les temps de séjour passés au niveau de chaque antenne, individuellement et par espèce nous apportent respectivement deux grandes informations : (i) quelques individus ont passé beaucoup de temps dans le système de détection à explorer le site de la cascade de Coö (> 250 h), comparativement, un peu plus de la moitié des individus ont passé moins de 50h au niveau des antennes. (ii) Nos trois espèces ont passé plus de temps proche de la cascade que dans le canal de restitution où la passe est installée. Il y a en effet significativement plus d'individus qui sont allés au niveau de la cascade qu'au niveau du canal de restitution (seulement environ 50% des individus qui sont détectés à la cascade sont détectés au canal de fuite). Il a effectivement été observé que, concernant les individus qui s'étaient aventurés jusque dans le canal de fuite, tous étaient d'abord passé par la cascade avant de s'engager dans le canal de restitution.

Il en résulte un taux d'attraction de la passe (nombre d'individus entrés dans le système comparé au nombre d'individus en entrée de passe en dehors des truites) de seulement 25% (pour les ombres comme pour les barbeaux, et également de manière globale), ce qui est faible : les individus semblent peiner à trouver l'entrée de la passe. En période de reproduction, une passe (située dans le cours inférieur d'une rivière) peut être considérée comme attractive si son taux d'attraction est d'au moins 50% pour des espèces prioritaires comme les cyprinidés rhéophiles ou les salmonidés (Ovidio *et al.*, 2017). Cette même étude relève qu'une passe à bassins successifs sur le Bocq a également un taux

d'attraction des barbeaux insuffisant (41,2%). En compilant les données de 29 passes à fentes verticales, Bunt et al. (2012) en ont déduit que les taux d'attraction de ce type de passe allaient de 0 à 100% (moyenne : 63%).

La cascade semble beaucoup plus attractive que le canal de restitution, où est située la passe à poisson de Coo. Deux éléments clés qui ont dû grandement jouer sur l'attraction du canal de restitution sont que (i) les débits lors de l'étude ont été particulièrement faibles et que la micro-turbine de Coo ne fonctionnait pas, ce qui a pu impacter la motivation à migrer des individus. En effet, lors de la montaison de reproduction, les poissons sont stimulés à migrer à contre-courant (Bunt, 2001). Mais un débit trop faible peu annihiler cette stimulation et stopper les individus dans leur migration de reproduction (Maynard *et al.*, 2017). Pour la turbine rejetant l'eau de la CHE de Coo-dérivation dans le canal de restitution, elle ne fonctionnait pas durant notre suivi suite à un dysfonctionnement, seule une surverse amont alimentait ce canal. Ainsi, combiné aux faibles débits printaniers, cela a contribué au fait que le canal de fuite rejetait peu d'eau durant notre étude, l'entrée du canal (le premier mètre) étant parfois quasiment à sec. Enfin, une coulée était présente en rive gauche, juste après la fin du canal de restitution, ce qui attirait les poissons. Cependant, celle-ci a été colmatée lors des inondations de juillet 2021 pouvant impacter l'attractivité de la passe de Coo.

Le taux d'attraction de la passe étant faible (étant donné que le canal semble peu attractif), nous pouvons déjà supposer que les performances de la passe à poisson de Coo ne seront pas optimales. L'attraction semble souvent être le facteur limitant l'efficacité de nombreuses passes à poissons (Ovidio *et al.*, 2017; David *et al.*, 2022). Étant donné que les poissons sont plus attirés par la cascade (stimuli de montaison : remonter le courant), il faudrait optimiser l'attractivité du canal de fuite pour améliorer l'attractivité de la passe en elle-même. Augmenter le rejet d'eau de la CHE de Coo-dérivation pourrait être une solution.

4.3.2 Efficacité de franchissement de la passe

Il en résulte logiquement que l'efficacité de franchissement total de la passe (nombre d'individus capturés dans la cage de capture en fonction du nombre d'individus total suivis) n'est que de 7,9%, mais atteint les 40% une fois corrigée (nombre de poissons capturés vs. nombre de poissons détectés en entrée de passe), en ne tenant compte que des barbeaux et des ombres puisque nous ne n'avons pu obtenir les données relatives aux truites. En effet, parmi les cinq individus (1 ombre, 4 barbeaux) qui ont été détectés en entrée de passe, seuls quatre (barbeaux) ont été détectés à l'entrée de la cage de capture, et deux ont été capturés et déversés en amont.

L'efficacité de franchissement des barbeaux à Coo est de 12,5% (50% pour l'efficacité corrigée) et de 6,3% pour les truites, tandis qu'elle est respectivement de 2,9% (7,1% corrigée) et 42,5% (86,9% corrigée) pour le passage de la passe à bassins successifs sur le Bocq dans l'étude d'Ovidio et al. (2017) ; de 68% pour deux passes à fentes verticales sur le Rhône, aussi bien pour les truites que les barbeaux (David *et al.*, 2022) ; et de 66,7% (barbeaux) et 87,5% (truites) pour ce même type de passe sur la Meuse (Benitez *et al.*, 2018).

Une étude multi-spécifique sur une passe à fentes verticales au Québec a observé une efficacité de franchissement allant de 25 à 100% (Thiem *et al.*, 2013). La compilation de Bunt et al. (2012) indique quant à elle une efficacité de franchissement corrigée des passes à fentes verticales allant également de 0 à 100%, avec une moyenne de 45%. Ainsi, en se basant uniquement sur les ombres et barbeaux, l'efficacité de franchissement de la passe de Coo représente une valeur basse par rapport à celles obtenues sur d'autres sites en Wallonie (Benitez et al., 2018 ; Ovidio et al., 2017, 2022 et 2023, Sonny et al., 2020) ou celles répertoriées dans la littérature pour un même type de passe.

David et al. (2022) font remarquer que la probabilité de franchissement d'une passe est très variable selon les espèces et le type de dispositif de franchissement considéré. Ainsi, le taux de franchissement d'une passe est rarement prévisible (d'où les grands écarts d'efficacité rapportés par Bunt et al. (2012)). Cependant, Noonan et al. (2012) ont déterminés via une méta-analyse que l'efficacité de franchissement moyenne des salmonidés est de 62%, et celle des non-salmonidés est en moyenne de 21%. Dans notre étude, l'efficacité de franchissement des salmonidés (truites) était de 6,3% et de 12,5% pour les non-salmonidés (barbeaux). Il en résulte que l'efficacité de franchissement est plus faible que la moyenne (toutes passes confondues).

4.4 Recommandations

Suite à cette observation de la très faible efficacité de la passe à poissons de Coo , nous suggérons dans un premier temps d'améliorer certains points sur le site de la cascade de Coo, principalement basé sur l'attractivité :

- Augmenter l'attractivité du canal de fuite :
 - o Recréer la coulée profonde présente avant les inondations de 2021
 - o Favoriser l'écoulement par un coté du canal (possibilité de reboucher temporairement certaines échancrures entre les blocs de bétons présents en sortie de canal de fuite)
 - o Augmenter la proportion de débit passant par le canal de fuite
- Augmenter l'attractivité de la passe à poissons
 - o Favoriser un écoulement en rive droite du canal de fuite, rive où la passe est installée
 - o Augmenter le débit de la passe (retirer l'amas de galet présent juste en amont de la prise d'eau de la passe)

Bibliographie

- Benitez J-P, Dierckx A, Nzau Matondo B, Rollin X, Ovidio M. 2018. Movement behaviours of potamodromous fish within a large anthropised river after the reestablishment of the longitudinal connectivity. *Fish Res* 207: 140–149.
- Britton JR, Pegg J. 2011. Ecology of European Barbel *Barbus Barbus* : Implications for River, Fishery, and Conservation Management. *Reviews in Fisheries Science* 19: 321–330.
- Bunt CM. 2001. Fishway entrance modifications enhance fish attraction: FISHWAY ENHANCEMENT. *Fisheries Management and Ecology* 8: 95–105.
- Bunt CM, Castro-Santos T, Haro A. 2012. Performance of fish passage structures at upstream barriers to migration. *River Res Applic* 28: 457–478.
- Capra H, Pella H, Ovidio M. 2018. Individual movements, home ranges and habitat use by native rheophilic cyprinids and non-native catfish in a large regulated river. *Fish Manag Ecol* 25: 136–149.
- David G, Céline C, Morgane B, Franck C. 2022. Ecological connectivity of the upper Rhône River: Upstream fish passage at two successive large hydroelectric dams for partially migratory species. *Ecological Engineering* 178: 106545.
- De Leeuw JJ, Winter HV. 2008. Migration of rheophilic fish in the large lowland rivers Meuse and Rhine, the Netherlands. *Fish Manag Ecol* 15: 409–415.
- García-Vega A, Sanz-Ronda FJ, Fernandes Celestino L, Makrakis S, Leunda PM. 2018. Potamodromous brown trout movements in the North of the Iberian Peninsula: Modelling past, present and future based on continuous fishway monitoring. *Science of The Total Environment* 640–641: 1521–1536.
- Huet M. 1949. Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles des eaux courantes. *Schweiz Z Hydrol* 11: 332–351.
- Maynard GA, Kinnison MT, Zydlewski JD. 2017. Size selection from fishways and potential evolutionary responses in a threatened Atlantic salmon population. *River Res Applic* 33: 1004–1015.
- Noonan MJ, Grant JWA, Jackson CD. 2012. A quantitative assessment of fish passage efficiency: Effectiveness of fish passage facilities. *Fish Fish* 13: 450–464.
- Ovidio M, Baras E, Goffaux D, Birtles C, Philippart JC. 1998. Environmental unpredictability rules the autumn migration of brown trout (*Salmo trutta* L.) in the Belgian Ardennes. *Hydrobiologia* 263–274.
- Ovidio M, Parkinson D, Sonny D, Philippart J-C. 2004. Spawning movements of European grayling *Thymallus thymallus* in the River Aisne (Belgium). *Folia Zoologica* 87–98.

- Ovidio M, Parkinson D, Philippart J-C, Baras E. 2007. Multiyear homing and fidelity to residence areas by individual barbel (*Barbus barbus*). *Belg J Zool* 183–190.
- Ovidio M, Sonny D, Dierckx A, Watthez Q, Bourguignon S, de le Court B, Detrait O, Benitez JP. 2017. The use of behavioural metrics to evaluate fishway efficiency. *River Res Applic* 33: 1484–1493.
- Parkinson D, Philippart J-C, Baras E. 1999. A preliminary investigation of spawning migrations of grayling in a small stream as determined by radio-tracking. *Journal of Fish Biology* 55: 172–182.
- Penaz M, Baru V, Proke M, Homolka M. 2002. Movements of barbel, *Barbus barbus* (Pisces: Cyprinidae).
- Philippart J-C, Ovidio M. 2007. Identification des priorités d’action d’après les critères biologiques et piscicoles. *Rapport final au Ministère de la Région Wallonne, DGRNE-Division de l’Eau, Direction des Cours d’eau non navigables* 3: 71.
- Piecuch J, LOJKásek B, Lusk S, Marek T. 2007. Spawning migration of brown trout, *Salmo trutta* in the Morávka reservoir. *Folia Zoologica* 56: 201–212.
- Silva AT, Lucas MC, Castro-Santos T, Katopodis C, Baumgartner LJ, Thiem JD, Aarestrup K, Pompeu PS, O’Brien GC, Braun DC, Burnett NJ, Zhu DZ, Fjeldstad H-P, Forseth T, Rajaratnam N, Williams JG, Cooke SJ. 2018. The future of fish passage science, engineering, and practice. *Fish Fish* 19: 340–362.
- Thiem JD, Binder TR, Dumont P, Hatin D, Hatry C, Katopodis C, Stamplecoskie KM, Cooke SJ. 2013. Multispecies fish passage behaviour in a vertical slot fishway on the Richelieu River, Quebec, Canada. *River Res Applic* 29: 582–592.