

UTILISATION DE CORRIDORS MIGRATOIRES PAR LES POISSONS DU SAINT-LAURENT LORS DE LA DÉCONSTRUCTION DU PONT CHAMPLAIN

Par
Alexandra Kassatly

Mémoire présenté pour l'obtention du grade de
Maître ès Sciences (M.Sc.)
en sciences de l'eau

Jury d'évaluation

Président du jury et
examineur interne

Patrice Couture
INRS

Examineur externe

Marc Mingelbier
Direction principale de l'expertise sur la
faune aquatique
MELCCFP

Directeur de recherche

Normand Bergeron
INRS

Codirecteur de recherche

Eva Enders
INRS

REMERCIEMENTS

J'aimerais remercier toutes les personnes qui m'ont aidé à réaliser ce mémoire. D'abord Normand Bergeron et Eva Enders, mes directeurs de recherche, pour m'avoir confié ce projet de recherche. J'aimerais ensuite remercier Francis Bérubé, technicien de terrain, de m'avoir aidé sur le terrain. Savannah Turcotte, pour ton aide autant sur le terrain que dans le bureau. AECOM, PJCCI et toutes les personnes qui ont non seulement aidé avec la déconstruction du pont Champlain, mais qui ont aussi aidé pour l'échantillonnage des poissons. Un énorme merci à ma famille et mes amis qui m'ont encouragé à travers des moments difficiles et qui m'ont poussé à ne pas abandonner. Finalement, j'aimerais me remercier moi-même. Ceci est pour la jeune fille à qui l'on a dit qu'elle ne réussirait jamais en sciences.

RÉSUMÉ

Les corridors migratoires aménagés lors des travaux de construction dans les cours d'eau méritent d'être étudiés afin de tester leur efficacité à garantir un libre passage aux poissons. Ce mémoire a été réalisé dans le secteur de l'ancien « Pont Champlain », qui traverse le fleuve Saint-Laurent dans la région de Montréal (Québec, Canada). Comme ce pont était fortement détérioré, il a fallu le déconstruire, à la suite de la construction du nouvel ouvrage nommé « Pont Samuel-De Champlain ». La déconstruction a nécessité l'aménagement temporaire d'une jetée afin de permettre le déplacement de la machinerie lourde. Comme cette jetée pouvait limiter le déplacement des poissons, deux corridors migratoires traversant la jetée ont été aménagés durant les travaux afin de faciliter les déplacements des poissons. L'objectif de ce mémoire était d'analyser l'utilisation de ces deux corridors migratoires par les poissons. Afin d'observer les déplacements des poissons, deux techniques télémétriques ont été utilisées. La première utilisait des poissons marqués avec des transpondeurs passif (PIT-tags) et la deuxième utilisait des émetteurs acoustiques. Au total, 138 poissons ont été marqués avec des PIT-tags et 44 poissons avec des émetteurs acoustiques. Les résultats indiquent que seulement six poissons marqués avec les PIT-tags ont été détectés et qu'ils n'ont pas franchi avec succès les corridors migratoires. La télémétrie acoustique a mis en évidence que les poissons ont préféré contourner la jetée au lieu de franchir les corridors migratoires. Les limites techniques des deux méthodes télémétriques ont été détaillées dans ce mémoire. Les résultats de cette étude apportent un éclairage sur l'utilité des corridors migratoires lors de futurs travaux dans le milieu aquatique.

Mots-clés : jetée ; télémétrie RFID ; télémétrie acoustique ; PIT-tag ; pont Champlain ; déconstruction ; corridor migratoire.

ABSTRACT

Migratory corridors created during construction work in watercourses deserve to be studied to test their effectiveness in guaranteeing free passage for fish. This thesis was carried out in the area of the former “Champlain Bridge”, which crosses the St. Laurence River in the Montreal region (Quebec, Canada). As this bridge was severely deteriorated, it had to be deconstructed following the construction of the new “Samuel-De Champlain Bridge”. The deconstruction required the temporary construction of a jetty to allow the movement of heavy machinery. As this jetty could potentially restrict fish movement, two migratory corridors crossing the jetty were built during the construction work to facilitate fish movement. The aim of this thesis was to analyze fish use of these two migratory corridors. Two telemetric techniques were used to observe fish movements. The first used fish tagged with passive transponders (PIT-tags) and the second used acoustic transmitters. A total of 138 fish were tagged with PIT-tags and 44 with acoustic transmitters. The results indicate that only six fish tagged with PIT-tags were detected, and that they did not successfully cross the migratory corridors. Acoustic telemetry showed that fish preferred to bypass the jetty rather than cross the migratory corridors. The technical limitations of both telemetry methods are detailed in this report. The results of this study shed light on the usefulness of migratory corridors for future work in the aquatic environment.

Keywords: jetty; RFID telemetry; acoustic telemetry; PIT-tag; Champlain Bridge; deconstruction; migratory corridor.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	I
RÉSUMÉ	II
ABSTRACT	III
TABLE DES MATIÈRES	IV
LISTE DES FIGURES	V
LISTE DES TABLEAUX	VII
1 INTRODUCTION	1
2 MÉTHODOLOGIE	4
2.1 SITE D'ÉTUDE D'ÉCHANTILLONNAGE	4
2.1.1 Fleuve Saint-Laurent à la hauteur de l'île des Sœurs	4
2.1.2 Jetée et corridors migratoires	5
2.1.3 Habitat dans le fleuve Saint-Laurent à la hauteur de l'île des Sœurs	6
2.1.4 Espèces de poissons présentes dans cette section du fleuve Saint-Laurent	6
2.2 MARQUAGE DES POISSONS	7
2.2.1 Télémétrie RFID	7
2.2.2 Télémétrie acoustique	11
2.2.3 Séances de capture et de marquage	13
2.2.4 Analyse des données de télémétrie RFID	21
2.2.5 Analyse des données de télémétrie acoustique	21
3 RESULTATS	22
3.1 ATTRACTIVITE DES CORRIDORS MIGRATOIRES PAR LES POISSONS MARQUES	22
3.1.1 Données de détection de la télémétrie RFID	22
3.1.2 Données de détection de la télémétrie acoustique	26
3.2 SUCCES DE FRANCHISSEMENT DES POISSONS DANS LES CORRIDORS MIGRATOIRES	26
3.2.1 Télémétrie RFID	26
3.2.2 Télémétrie acoustique	26
4 DISCUSSION	30
4.1 ATTRACTIVITE DES CORRIDORS MIGRATOIRES PAR LES POISSONS MARQUES	30
4.1.1 Télémétrie RFID	30
4.2 SUCCES DE FRANCHISSEMENT DES POISSONS DANS LES CORRIDORS MIGRATOIRES	32
4.2.1 Télémétrie RFID	32
4.2.2 Télémétrie acoustique	33
5 CONCLUSION	35
6 BIBLIOGRAPHIE	36

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1. CARTE DE LA ZONE D'ETUDE. LE SITE SE RETROUVE AU SUD-EST DE MONTREAL, A L'EST DE L'ILE-DES-SŒURS. EN BLEU SE TROUVE LE PONT CHAMPLAIN, EN ROUGE SE TROUVE L'ETENDUE DE LA ZONE D'ECHANTILLONNAGE, ET EN JAUNE SE TROUVE LA JETEE AVEC LES CORRIDORS MIGRATOIRES.	4
FIGURE 2. VUE AERIENNE DE LA JETEE DEPUIS L'ILE DES SŒURS. LA STATION C1 CORRESPOND AU CORRIDOR MIGRATOIRE 1, ET LA STATION C2 CORRESPOND AU CORRIDOR MIGRATOIRE 2 (SOURCE : DELCOURT, 2021).	5
FIGURE 3. DEUX CORRIDORS MIGRATOIRES DANS LA JETEE DE L'ILE DES SŒURS.	6
FIGURE 4. EXEMPLE DE TRANSPONDEURS PASSIFS INTEGRES (PIT) UTILISES PAR LA TELEMETRIE RFID.	8
FIGURE 5. PROCESSUS DE DETECTION DES POISSONS MARQUES PAR UN PIT-TAG PASSANT SUR UNE ANTENNE. ...	8
FIGURE 6. ANTENNE DE DETECTION DES PIT-TAG DE TYPE « PASS-OVER ».....	9
FIGURE 7. SYSTEME D'ANTENNES DE TELEMETRIE RFID DANS LES CORRIDORS MIGRATOIRES, LES ANTENNES SONT EN ROUGE (LAUZON, 2021).	10
FIGURE 8. SYSTEME D'ANTENNES DE TELEMETRIE RFID CONTOURNANT LA JETEE, LES ANTENNES SONT EN ROUGE.	10
FIGURE 9. A : RESEAU D'HYDROPHONES PERMETTANT LA DETECTION D'INDIVIDUS EN TROIS DIMENSIONS. B : UN HYDROPHONE.....	11
FIGURE 10. ÉMETTEURS ACOUSTIQUES DE DIFFERENTES TAILLES.....	12
FIGURE 11. CARTE DE LOCALISATION DES HYDROPHONES UTILISES POUR LE SUIVI DE TELEMETRIE ACOUSTIQUE EN 2022. LA LIGNE NOIRE INDIQUE LE CONTOUR DE LA JETEE ET LA POSITION DES CORRIDORS MIGRATOIRES.	13
FIGURE 12. BATEAU DE PECHE ELECTRIQUE.....	14
FIGURE 13. TRANSECTS EFFECTUES AVEC LE BATEAU DE PECHE ELECTRIQUE D'AECOM (GOOGLE MAPS, 2023).	15
FIGURE 14. LONGUEUR A LA FOURCHE (MM) DES ESPECES MARQUEES DURANT L'ECHANTILLONNAGE (N = 138). 16	
FIGURE 15. MASSE (G) DES ESPECES MARQUEES DURANT L'ECHANTILLONNAGE (N = 138).	17
FIGURE 16. VUE AERIENNE DU SITE AVEC LES VIVIER ENTRE LES DEUX PONTS. L'ENCADRE ROUGE DELIMITE LA ZONE DE RELACHE (GOOGLE MAPS, 2023).....	18
FIGURE 17. VIVIER UTILISE POUR ENTREPOSER LES POISSONS PECHEES.	18
FIGURE 18. INSERTION D'UN PIT-TAG AVEC UNE SERINGUE.....	18
FIGURE 19. BACS POUR ANESTHESIER LES POISSONS AVANT LA PROCEDURE CHIRURGICALE.	19
FIGURE 20. TABLE D'OPERATION POUR L'INSERTION DES PIT-TAGS ET DES EMETTEURS ACOUSTIQUES.....	19

FIGURE 21. INCISION FAITE AVEC UN BISTOURI POUR L'INSERTION DES PIT-TAGS ET EMETTEURS ACOUSTIQUES.	20
FIGURE 22. REMISE A L'EAU DES POISSONS DANS LES CORRIDORS MIGRATOIRES APRES LE MARQUAGE.....	21
FIGURE 23. DATE DE DETECTION DES DIFFERENTS INDIVIDUS MARQUES PAR UN PIT-TAG (ID ; N = 6). LES LIGNES POINTILLÉES REPRÉSENTENT LA DATE DE DÉTECTION DE CHAQUE INDIVIDU.....	24
FIGURE 24. SOMMAIRE DE L'ANALYSE DE L'UTILISATION DES CORRIDORS MIGRATOIRES VERSUS LE CONTOURNEMENT DE LA JETEE EN 2022. LA FLECHE ROUGE REPRESENTE UN DEPLACEMENT DANS LE CORRIDOR MIGRATOIRE 1, LA FLECHE JAUNE UN DEPLACEMENT DANS LE CORRIDOR MIGRATOIRE 2, ET LA FLECHE VERTE UN CONTOURNEMENT DE LA JETEE.	29
FIGURE 25. EXEMPLE DES ANTENNES DECALEES DANS UN CORRIDOR MIGRATOIRE.....	32

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1. ESPECES DE POISSONS SUSCEPTIBLES D'ETRE PRESENTES DANS LE FLEUVE SAINT-LAURENT A LA HAUTEUR DE MONTREAL.	7
TABLEAU 2. ESPECES RECENSEES LORS DE L'ECHANTILLONNAGE DU FLEUVE SAINT-LAURENT A LA HAUTEUR DU PONT CHAMPLAIN, A L'AUTOMNE 2021 ET AU PRINTEMPS/ETE 2022.	16
TABLEAU 3. NOMBRE DE POISSON PAR ESPECES MARQUEES AVEC UN PIT-TAG ET DETECTIONS PAR LES ANTENNES RFID (N = 138).	23
TABLEAU 4. HEURES DE DETECTION RFID DES INDIVIDUS MARQUES AVEC UN PIT-TAG (N = 6).	25
TABLEAU 5. TEMPS ECOULE ENTRE LA REMISE A L'EAU ET LA DETECTION DES POISSONS (N=6).	26
TABLEAU 6. ILLUSTRATION DE LA CHRONOLOGIE DE RESIDENCE D'UN ACHIGAN A PETITE BOUCHE (P181423). ...	27
TABLEAU 7. EXEMPLE DE L'ANALYSE DES TRANSITIONS AVAL-AMONT DES CHEVALIERS ROUGES EN 2022.	28
TABLEAU 8. SOMMAIRE DE L'ANALYSE DE L'UTILISATION DES CORRIDORS MIGRATOIRES VERSUS LE CONTOURNEMENT DE LA JETEE EN 2022.	29

1 INTRODUCTION

La survie des populations de nombreuses espèces aquatiques dépend de leur capacité à se déplacer librement dans les cours d'eau (Bunn et Arthington, 2002 ; Calles, 2005). Les poissons se déplacent pour se reproduire, se nourrir ou trouver des conditions environnementales plus favorables (Cowx et Welcomme, 1998 ; Katopodis et al., 2001). Schlosser (1991) a décrit les divers types de déplacements qu'un poisson doit effectuer afin de compléter son cycle de vie.

La fragmentation des cours d'eau est une menace sérieuse pour la diversité, l'abondance et la persistance d'une variété d'espèces aquatiques. Des obstacles naturels et anthropiques existent, ce qui peut modifier le déplacement des poissons. Les poissons ont, pendant des millénaires, réussi à franchir une multitude d'obstacles naturels, soit des troncs d'arbres ou bien des cascades (Bunt, 1999 ; Castro-Santos et Haro, 2010). Les activités humaines sont responsables des pertes de connectivité en installant des barrières physiques au mouvement, qui peuvent être particulièrement préjudiciables pour les faibles nageurs (Kemp et O'Hanley, 2010 ; Williams et al., 2012). Selon le type et la taille de la barrière, les conditions environnementales, la morphologie des organismes et leur capacité physiologique et comportementale, certaines barrières peuvent être infranchissables pour les poissons en déplacement (Katopodis et Aadland, 2006). Ce ne sont pas tous les poissons qui réussissent à franchir les barrières ; ceux qui réussissent peuvent aussi subir des retards de migration (Bates, 2000 ; Calles, 2005 ; Roscoe et Hinch, 2010 ; Noonan et al., 2011). C'est pourquoi les corridors migratoires existent. Pour quantifier leur succès d'utilisation, l'attractivité et le franchissement des poissons est utilisé.

Le pont Champlain, situé entre l'île de Montréal et la Rive-Sud, était le pont le plus achalandé au Canada. Environ 60 millions de véhicules (Transports Canada, 2013) et environ 20 milliards de dollars en marchandises (BVGC, 2018) y transitaient chaque année entre l'île de Montréal, la Rive Sud de Montréal, l'est des États-Unis et l'ouest du continent nord-américain (Transports Canada, 2012 ; PJCCI, 2019). L'utilisation intensive de ce pont a fait en sorte qu'il s'est détérioré, et ce, depuis sa mise en service en 1962. Plusieurs rénovations ont eu lieu lors de la vie du pont. Cependant, pour garder le pont sécuritaire et à jour avec les normes de sécurité, il était plus économique de construire un nouveau pont (Transports Canada, 2013). C'est pour cette raison que les gouvernements du Canada et du Québec ont décidé de construire le pont Samuel-De Champlain en aval du pont Champlain et ensuite de déconstruire le pont Champlain. Cependant, il était primordial de garder ce pont en fonction jusqu'à la finalisation du pont Samuel-De Champlain, puisque les autres ponts de la région auraient été incapables d'absorber le trafic sans

créer une congestion accrue (BVGC, 2018). Le pont Champlain fut mis hors service le 28 juin 2019, après l'ouverture du pont Samuel-De Champlain, et a été démantelé à partir de 2020 (PJCCI, 2020).

La déconstruction du pont Champlain, qui a duré trois ans (PJCCI, 2019), s'est déroulée dans le fleuve Saint-Laurent. Il fut donc nécessaire, pour accéder au chantier de construction, d'implanter une jetée perpendiculaire à l'île des Sœurs pour permettre le passage de la machinerie lourde et des employés sur le chantier et pour accoster les barges de déconstruction (PJCCI, 2019). En effet, les profondeurs de l'eau au littoral n'étaient pas assez grandes pour permettre l'accès de la barge à la rive du fleuve.

Comme tout chantier de construction, ceux du pont Champlain et du pont Samuel-De Champlain étaient susceptibles d'engendrer une multitude d'effets négatifs sur le milieu aquatique, par exemple sur la qualité de l'eau, l'habitat du poisson, les populations de poissons, les oiseaux migrateurs et les habitats protégés (Calles, 2005 ; Calles et Greenberg, 2009 ; PJCCI, 2019). Ces jetées empiétaient sur l'habitat des poissons et auraient pu entraver leurs mouvements. Les études environnementales préliminaires ont révélé une grande diversité d'habitats favorables à la fraie, à l'alimentation et à la croissance de nombreuses espèces de poissons dans le site des travaux (PJCCI, 2019 ; Delcourt, 2021). Par exemple, douze habitats de fraie distincts ont été recensés dans un rayon de 8 km du pont Champlain. Les déplacements vers les sites de fraie s'effectuent généralement le long des littoraux dans le secteur où est construite la jetée. Les poissons effectuent d'autres déplacements importants, soit pour l'alimentation ou pour la recherche d'habitats propices à la survie. C'est pour cette raison que le ministère des Pêches et Océans Canada a demandé d'implanter deux corridors migratoires afin de permettre le passage des poissons à travers la jetée (Transports Canada, 2013 ; PJCCI, 2019 ; Delcourt, 2021 ; Lauzon, 2021).

Afin d'étudier le déplacement des poissons à travers les corridors migratoires dans la jetée, nous avons utilisé la télémétrie *Radio-Frequency Identification Device* (RFID) et la télémétrie acoustique. La télémétrie RFID a été utilisée avec succès dans maintes études de suivi de poissons d'eau douce (Muir et al., 2001 ; Burke et Jepson, 2011 ; Rous, 2023). En effet, cette méthode a été utilisée pour valider l'efficacité des passes migratoires (Hatry et al., 2014 ; Silva et al., 2015 ; Hatry et al., 2016) ou bien pour valider le succès de passage dans des ponceaux (MacLeod et Gagen, 2018). Similairement, la télémétrie acoustique a été utilisée avec succès dans des études de suivi de poissons d'eau douce (Sandford et Smith, 2002 ; Veilleux et al., 2018).

Le projet a pour objectifs d'évaluer (1) l'attractivité des corridors migratoires pour les poissons marqués, (2) le succès de franchissement des poissons marqués dans les deux corridors migratoires et les comparer.

2 MÉTHODOLOGIE

2.1 Site d'étude d'échantillonnage

2.1.1 Fleuve Saint-Laurent à la hauteur de l'île des Sœurs

L'étude s'est déroulée entre le pont Samuel-De Champlain et l'estacade du pont Champlain, du côté ouest (où se situe la jetée de l'île des Sœurs), en aval des Rapides Lachine, dans un secteur étroit du fleuve Saint-Laurent (Québec, Canada ; Figure 1). Du côté de l'île des Sœurs, la profondeur du fleuve varie de 0 à 3 m, rendant la navigation par chaloupe difficile à certains moments de l'année (Transports Canada, 2013). Son débit médian annuel était de 8 500 m³/s (Lauzon, 2021). Cette partie du fleuve Saint-Laurent abrite plusieurs espèces d'oiseaux, de plantes et de poissons.



Figure 1. Carte de la zone d'étude. Le site se retrouve au sud-est de Montréal, à l'est de l'île-des-Sœurs. En bleu se trouve le pont Champlain, en rouge se trouve l'étendue de la zone d'échantillonnage, et en jaune se trouve la jetée avec les corridors migratoires.

2.1.2 Jetée et corridors migratoires

La zone d'étude était d'environ 800 m de longueur et 1 000 m de largeur. La jetée se trouvant sous le pont Champlain avait des dimensions de 500 x 100 m (Pont Samuel-de-Champlain, 2015 ; Figure 2).



Figure 2. Vue aérienne de la jetée depuis l'île des Sœurs. La Station C1 correspond au corridor migratoire 1, et la Station C2 correspond au corridor migratoire 2 (Source : Delcourt, 2021).

Deux corridors migratoires ont été aménagés dans la jetée du côté de l'île des Sœurs (Figure 3). Les corridors migratoires conçus dans le projet avaient une coupe transversale en forme de trapèze dont le fond correspondait au lit naturel du fleuve (Lauzon, 2021). Pour ralentir les vitesses d'écoulement afin de créer des zones propices au repos des poissons en montaison, trois chicanes ont été aménagées dans chaque couloir, une à l'extrémité aval (chicane 1) et deux dans la partie centrale (chicanes 2 et 3) (Delcourt, 2021).



Figure 3. Deux corridors migratoires dans la jetée de l'île des Sœurs.

2.1.3 Habitat dans le fleuve Saint-Laurent à la hauteur de l'île des Sœurs

Le substrat aquatique est composé de sable, gravier, argile silteuse et silt. Sur la rive sud de l'île des Sœurs, des îlots formés de roches sédimentaires se retrouvent sous le pont Champlain, ainsi que des plantes terrestres et aquatiques, tels que des peupliers, des friches herbacées, des étangs, des marécages et des marais riverains. Seulement les marais riverains sont considérés comme des habitats propices pour les poissons. 67 espèces de poissons ont été recensées dans ces habitats (étude de Mongeau et al., 1980), incluant des Cyprinidae, des Percidae et des Catostomidae, étant les familles les plus présentes. L'anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*) a un statut préoccupant et le bar rayé (*Morone saxatilis*) a un statut précaire, selon le gouvernement fédéral (Transports Canada, 2013).

2.1.4 Espèces de poissons présentes dans cette section du fleuve Saint-Laurent

Les espèces de poissons présentes dans le site d'étude sont l'anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*), le meunier noir (*Catostomus commersonii*), le chevalier blanc (*Moxostoma anisurum*), le chevalier rouge (*Moxostoma macrolepidotum*), l'achigan à petite bouche (*Micropterus dolomieu*), la barbotte brune (*Ameiurus nebulosus*), le bar rayé (*Morone saxatilis*), le doré jaune (*Sander canadense*), le doré noir (*Sander vitreus*), l'esturgeon jaune (*Acipenser fulvescens*),

l'alse savoureuse (*Alosa sapidissima*) et le grand brochet (*Esox lucius*). Ce recensement d'espèces provient du travail de synthèse effectué par Transports Canada (2013). Cependant, lors de l'échantillonnage dans le cadre de cette étude, aucun esturgeon jaune, alose savoureuse, bar rayé, ni de grand brochet n'a été capturé.

Tableau 1. Espèces de poissons susceptibles d'être présentes dans le fleuve Saint-Laurent à la hauteur de Montréal.

Famille	Nom scientifique	Nom commun
Acipenseridae	<i>Acipenser fulvescens</i>	Esturgeon jaune
Anguillidae	<i>Anguilla rostrata</i>	Anguille d'Amérique
Catastomidae	<i>Catostomus commersonii</i>	Meunier noir
	<i>Moxostoma anisurum</i>	Chevalier blanc
	<i>Moxostoma macrolepidotum</i>	Chevalier rouge
Centrarchidae	<i>Micropterus dolomieu</i>	Achigan à petite bouche
Clupeidae	<i>Alosa sapidissima</i>	Alose savoureuse
Cyprinidae	<i>Tinca tinca</i>	Tanche
Esocidae	<i>Esox Lucius</i>	Grand brochet
Ictaluridae	<i>Ameiurus nebulosus</i>	Barbotte brune
Moronidae	<i>Morone saxatilis</i>	Bar rayé
Percidae	<i>Sander canadensis</i>	Doré noir
	<i>Sander vitreus</i>	Doré jaune

2.2 Marquage des poissons

Deux méthodes ont été utilisées pour le marquage des poissons. La première méthode était la télémétrie RFID, soit l'implantation de PIT-tags. Cette méthode a été utile pour observer le déplacement des poissons dans les corridors migratoires. La seconde méthode était l'utilisation de la télémétrie acoustique, soit l'implantation d'émetteurs acoustiques. Cette méthode a été utile pour observer les déplacements des poissons autour des corridors migratoires et de la jetée.

2.2.1 Télémétrie RFID

La télémétrie RFID utilise un transpondeur passif intégré (PIT-tag e.g., TIRIS *half duplex* (HDX) 32 mm) ayant un identifiant unique (Figure 4).

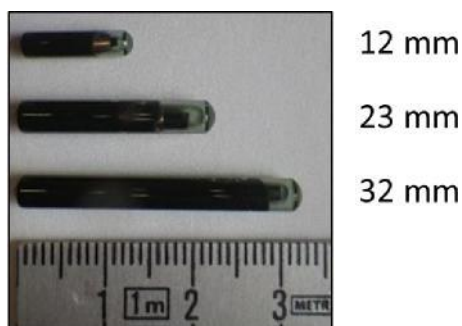


Figure 4. Exemple de transpondeurs passifs intégrés (PIT) utilisés par la télémétrie RFID.

Les PIT-tags HDX fonctionnent à une longueur d'onde de 134,2 kHz. Ils sont encapsulés dans du verre et sont adaptés au marquage biologique. Lorsque le poisson marqué passe près des antennes RFID, il est détecté par le système de contrôle qui enregistre le numéro de l'identifiant, le numéro de l'antenne, la date et l'heure de sa détection (Prentice et al., 1990 ; Roussel et al., 2000 ; Zydlewski et al., 2006 ; Hall, 2014) (Figure 5).

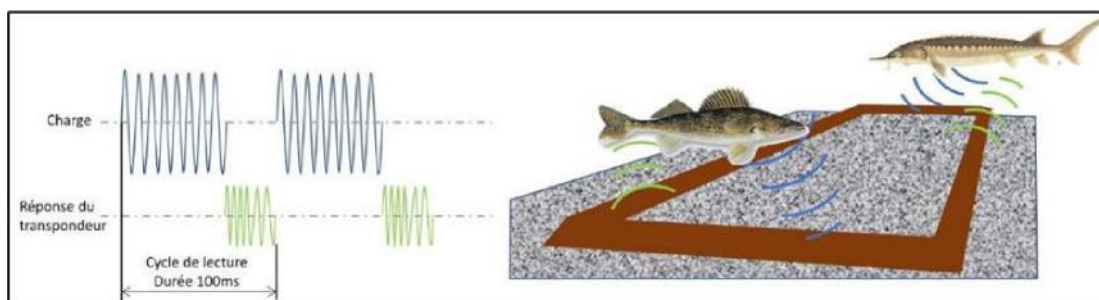


Figure 5. Processus de détection des poissons marqués par un PIT-tag passant sur une antenne.

Le transpondeur est dit passif, car l'émetteur n'a pas d'énergie interne (pile) qui l'alimente. Son énergie provient d'une impulsion magnétique transmise par l'antenne en continu. Lorsque le tag est dans la zone de détection de l'antenne, il est chargé et retourne son identifiant. Plusieurs types d'antennes sont utilisées, les plus courantes sont les antennes de type stationnaire. Elles sont de forme rectangulaire et sont installées soit verticalement (« pass-through ») ou au fond de la zone à l'étude (« pass-over »). Plusieurs antennes sont souvent placées dans la zone d'étude pour suivre le déplacement des poissons marqués. La télémétrie RFID comporte plusieurs avantages, soit son faible coût et sa durée de vie illimitée, mais comporte aussi des désavantages, soit sa portée de détection de maximum deux mètres (Prentice et al., 1990 ; Roussel et al., 2000 ; Zydlewski et al., 2006 ; Hall, 2014).

Le développement d'un système d'antennes dans les corridors migratoires avait pour objectif de détecter la présence de poissons dans ces derniers. Les PIT-tag utilisés étaient TIRIS HDX de 23 mm (dimensions 23,0 mm x 3,65 mm, poids 0,6 g) ou 12 mm (dimensions 12,0 mm x 2,12 mm, poids 0,1 g). Les antennes utilisées étaient d'environ 2 m x 10 m (Figure 6).



Figure 6. Antenne de détection des PIT-tag de type « pass-over ».

Chaque corridor était équipé de quatre antennes de type « pass-over » : deux en amont et deux en aval pour déterminer la direction dans laquelle le poisson se déplaçait. Les antennes étaient l'une en face de l'autre pour couvrir toute la largeur du corridor (Figure 7).

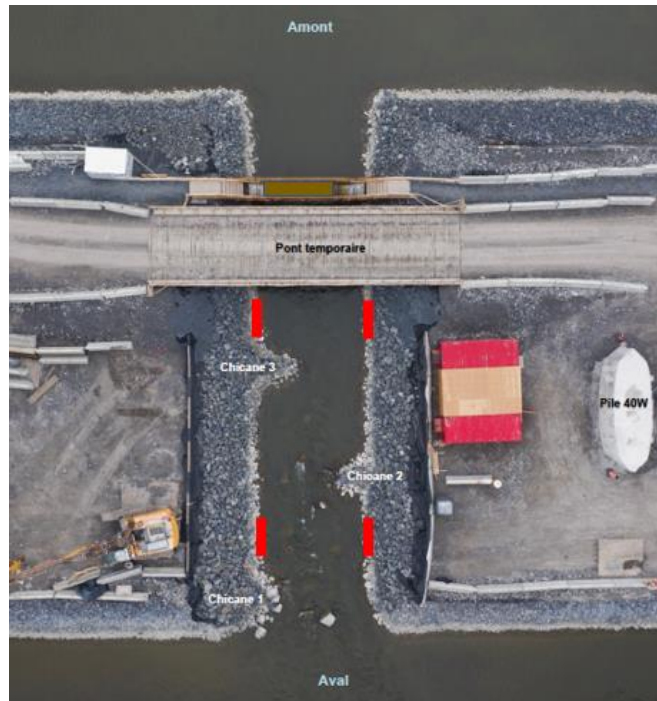


Figure 7. Système d'antennes de télémétrie RFID dans les corridors migratoires, les antennes sont en rouge (Lauzon, 2021).

Un système qui a pour objectif de déterminer si les poissons contournaient la jetée a aussi été développé, soit les antennes de type « pass-through » (Figure 8). Ces antennes ont été ancrées au fond de l'eau par la base et maintenues verticalement par deux bouées. Sept antennes ont été installées dans l'eau perpendiculairement à la jetée pour que les poissons puissent passer à l'intérieur de ces dernières. Chaque antenne formait un cadre de 4 m de long par 1,1 m de haut. La validation du système a été effectuée à chaque sortie de terrain en passant un PIT-tag manuellement près d'une antenne. Cela était utile pour s'assurer que les antennes étaient fonctionnelles avant chaque remise à l'eau des poissons marqués.

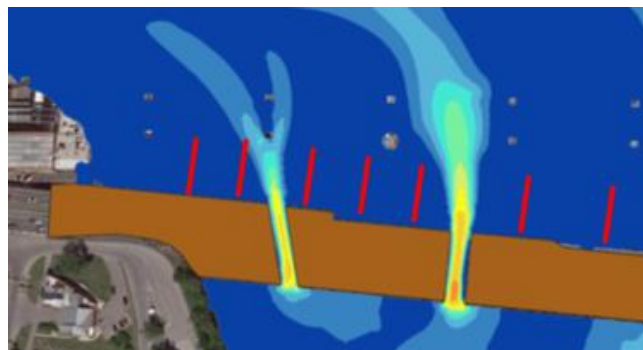


Figure 8. Système d'antennes de télémétrie RFID contournant la jetée, les antennes sont en rouge.

Pendant les deux années de l'étude, les déplacements des poissons marqués ont été suivis en continu dans le temps par toutes les antennes dans les deux corridors. En passant près des antennes, les poissons marqués se faisaient détecter (date, heure, numéro d'antenne, numéro d'identification du poisson). Lors des mois d'hiver, donc lorsque l'eau du fleuve gèle (entre novembre et mars), les antennes ont été retirées de l'eau pour ne pas les endommager. De plus, le système de détection a été débranché du 21 juin au 29 juin 2022 par un membre de l'équipe de construction. Des changements ont été effectués pour que cela ne se reproduise plus.

2.2.2 Télémétrie acoustique

En comparaison, la télémétrie acoustique consiste à marquer des poissons avec un émetteur acoustique ayant un identifiant unique. Lorsqu'un poisson passe près des hydrophones, le numéro d'identifiant, l'heure et la date de détection sont enregistrés directement dans les hydrophones (Crossin et al., 2017 ; Hellstrom et al., 2022 ; Jacoby et Piper, 2023) (Figure 9).

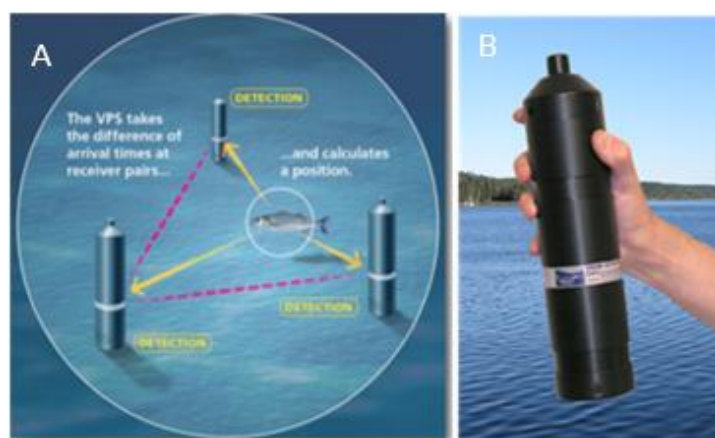


Figure 9. A : Réseau d'hydrophones permettant la détection d'individus en trois dimensions. B : Un hydrophone.

La durée de vie d'un émetteur varie entre quelques mois et quelques années et la distance de détection de 100 à 300 mètres, ce qui rend cette méthode efficace pour étudier le déplacement des poissons sur de plus grandes distances. Ces caractéristiques sont fonction du modèle de l'émetteur, la taille de sa batterie et du type de milieu (Crossin et al., 2017 ; Hellstrom et al., 2022) (Figure 10).



Figure 10. Émetteurs acoustiques de différentes tailles.

Les hydrophones et les émetteurs utilisés proviennent d'InnovaSea. Les hydrophones étaient de type « transpondeurs » VHTx-69k. Les émetteurs acoustiques insérés dans les poissons étaient des InnovaSea V9-1x (69 kHz) ou V13-1x (69 kHz). Les émetteurs V9-1x avaient un diamètre de 9 mm et une longueur de 24 mm avec un poids dans l'eau de 2 g, de plus leur durée de vie était entre 274 jours et 650 jours. Les émetteurs V13-1x avaient un diamètre de 13 mm et une longueur de 30,5 mm avec un poids dans l'eau de 5,1 g, de plus leur durée de vie était entre 911 et 1825 jours (InnovaSea, 2021). Les émetteurs ont été insérés chirurgicalement dans la cavité abdominale des poissons (les méthodes de marquage sont expliquées dans la section 2.2.3).

En 2022, 13 hydrophones ont été déployés dans le fleuve de part et d'autre de la jetée (8 en aval et 4 en amont) afin de former un réseau de détection des poissons marqués d'un émetteur acoustique (Figure 11). Ils ont été répartis de cette manière pour déterminer à quelle fréquence les poissons effectuent des traversées. 8 hydrophones ont été munis d'un Sync-tag afin de permettre la reconstruction de la trajectoire des 44 poissons marqués à l'intérieur du réseau d'hydrophones. Les Sync-tags permettent la synchronisation des horloges internes des hydrophones. Seuls les hydrophones munis de Sync-tag permettent d'effectuer la triangulation des trajectoires des poissons. Les hydrophones ont été en fonction du 9 juin 2022 au 20 décembre 2022. Ils ont ensuite été retirés pour ne pas rester sous la glace lors de l'hiver.



Figure 11. Carte de localisation des hydrophones utilisés pour le suivi de télémétrie acoustique en 2022. La ligne noire indique le contour de la jetée et la position des corridors migratoires.

La triangulation fut la méthode utilisée afin de tracer les parcours effectués par les poissons marqués. Afin d'utiliser cette méthode, il est impératif que la détection soit effectuée sur plus de trois hydrophones au même moment. Cependant, une grande proportion de détections étaient effectuées seulement sur un ou deux hydrophones à la fois. Pour remédier à cela, une autre méthode de positionnement a été utilisée : le temps de résidence. C'est le fait d'associer la position d'un poisson à l'hydrophone qui le détecte le plus souvent pendant un certain laps de temps. L'intervalle de temps utilisé lors des analyses était de 15 minutes. Donc, toutes les 15 minutes, un hydrophone a été déterminé pour le positionnement du poisson à ce moment dans le temps. Dans le cas d'une égalité de détections entre plusieurs hydrophones, la résidence était assignée à l'hydrophone de résidence de la tranche du 15 minutes précédent. Avec cette méthode, les déplacements de chaque poisson ont pu être déterminés.

2.2.3 Séances de capture et de marquage

Les séances de capture, de marquage et de remise à l'eau des poissons se sont déroulées sur deux ans, soit à l'automne 2021 (18-21 octobre ; 10-12 novembre) et au printemps/été 2022 (31 mai ; 2-3 juin ; 16-17 et 25 août).

Capture

En 2021, seulement la pêche sportive scientifique a été utilisée. 71 poissons ont été capturés avec cette technique, dont 41 achigans à petite bouche et 30 dorés jaunes. La technique n'a pas été

réutilisé l'année suivante étant donné la faible diversité de poisson et la quantité de temps requis afin de capturer des poissons qui était trop grande pour le temps total alloué sur le terrain.

En 2022, deux filets maillants et un filet verveux ont été installés et testés, mais n'ont pas été efficace dans cette partie du fleuve à cause du fort débit et de la présence de débris ; ils n'ont capturé aucuns individus. Afin de remédier au faible rendement obtenu jusqu'à présent, nous avons engagé AECOM (Architecture, Engineering, Construction, Operations, and Management). AECOM détient d'un bateau de pêche électrique (Figure 12) et d'autres techniques de pêche qui ont été loué dans le cadre du projet. Une trappe Alaska a été mis à l'eau par AECOM et huit poissons ont été capturés, quatre achigans à petite bouche et quatre chevaliers blancs. Finalement, la pêche électrique par bateau a été testé et a été la méthode la plus fructueuse, soit 20 prises en 55 minutes avec des chevaliers blancs, des chevaliers rouges, des achigans à petite bouche et des anguilles d'Amérique. Les tailles et masses des poissons capturés et marqués sont inscrites aux figures 14 et 15, respectivement.



Figure 12. Bateau de pêche électrique.

La pêche électrique par bateau est une méthode de capture de poissons qui peut être utilisée dans des rivières peu profondes, comme le fleuve Saint-Laurent à la hauteur de l'île des Sœurs. C'est une méthode utile pour capturer une grande quantité et diversité de poissons dans un court intervalle de temps. Il est important de bien mesurer la conductivité nécessaire pour ne pas blesser les poissons, tout en étant capable de les immobiliser. De plus, la température de l'eau est à considérer lors de la pêche électrique par bateau. En effet, lorsque la température de l'eau augmente, la conductivité de l'eau augmente aussi. Ce dispositif comprend deux anodes et deux cathodes qui génèrent un champ électrique. Ce dernier immobilise le poisson, sans toutefois être

un danger pour sa santé. Une fois le poisson immobilisé, il peut être capturé avec une puipe et déposé dans un contenant ayant de l'eau fraîche dans le bateau. Ces derniers sont ensuite relocalisés dans des viviers se trouvant dans le fleuve. Pour ne pas repousser les poissons, des « pulsions » électriques ont été effectuées, cela signifie que l'on allumait et fermait le courant périodiquement à une fréquence de quelques secondes pour éviter de garder le poisson immobile trop longtemps. Des transects ont été effectués en amont et en aval du site d'étude (Figure 13).



Figure 13. Transects effectués avec le bateau de pêche électrique d'AECOM (Google Maps, 2023).

Plusieurs poissons n'ont pas été marqués, soit à cause de leur taille ou de leur statut (en danger ou envahissante). Les poissons retenus ont été déposés dans un vivier pour ensuite être marqués ; ils sont listés au tableau 2.

Tableau 2. Espèces recensées lors de l'échantillonnage du fleuve Saint-Laurent à la hauteur du pont Champlain, à l'automne 2021 et au printemps/été 2022.

Nom commun	Nombre d'individus (n = 146)	Marqué avec un PIT-tag (n = 138)	Marqué avec un émetteur acoustique (n = 22)
Anguille d'Amérique	1	1	0
Meunier noir	2	2	0
Chevalier blanc	29	28	11
Chevalier rouge	12	12	4
Achigan à petite bouche	66	62	6
Tanche	2	0	0
Barbotte brune	1	1	0
Doré noir	1	1	0
Doré jaune	32	31	1

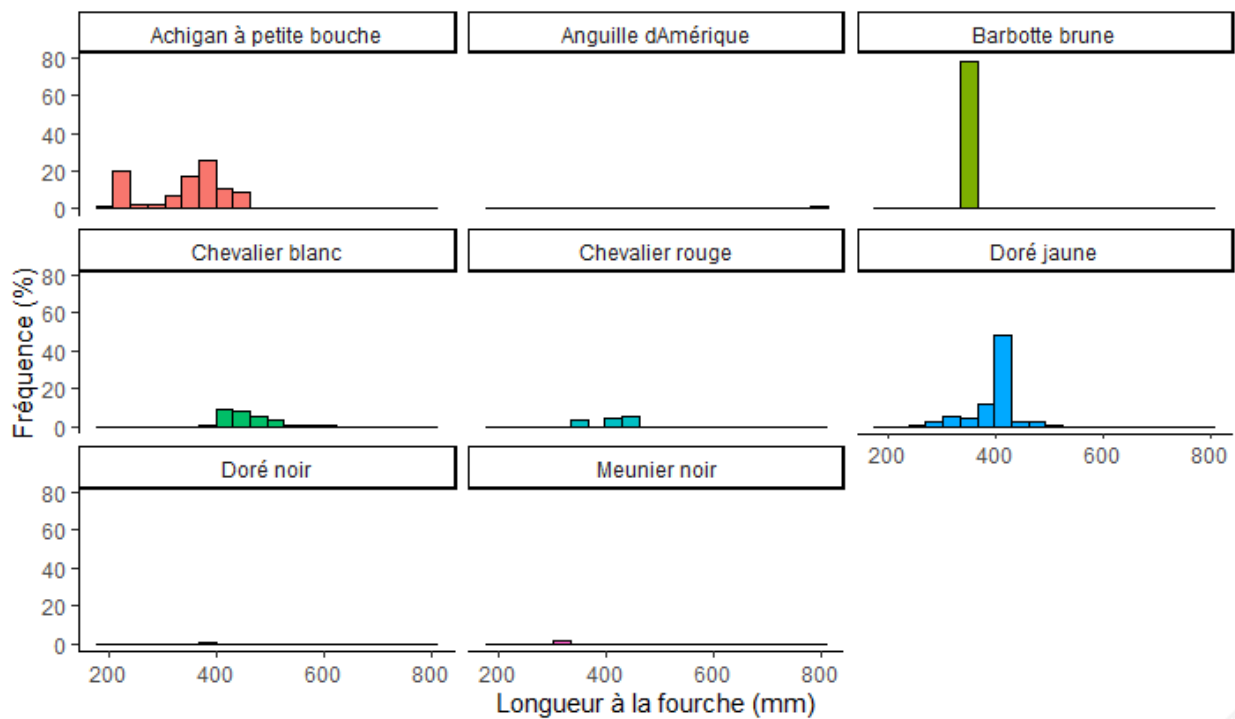


Figure 14. Longueur à la fourche (mm) des espèces marquées durant l'échantillonnage (n = 138).

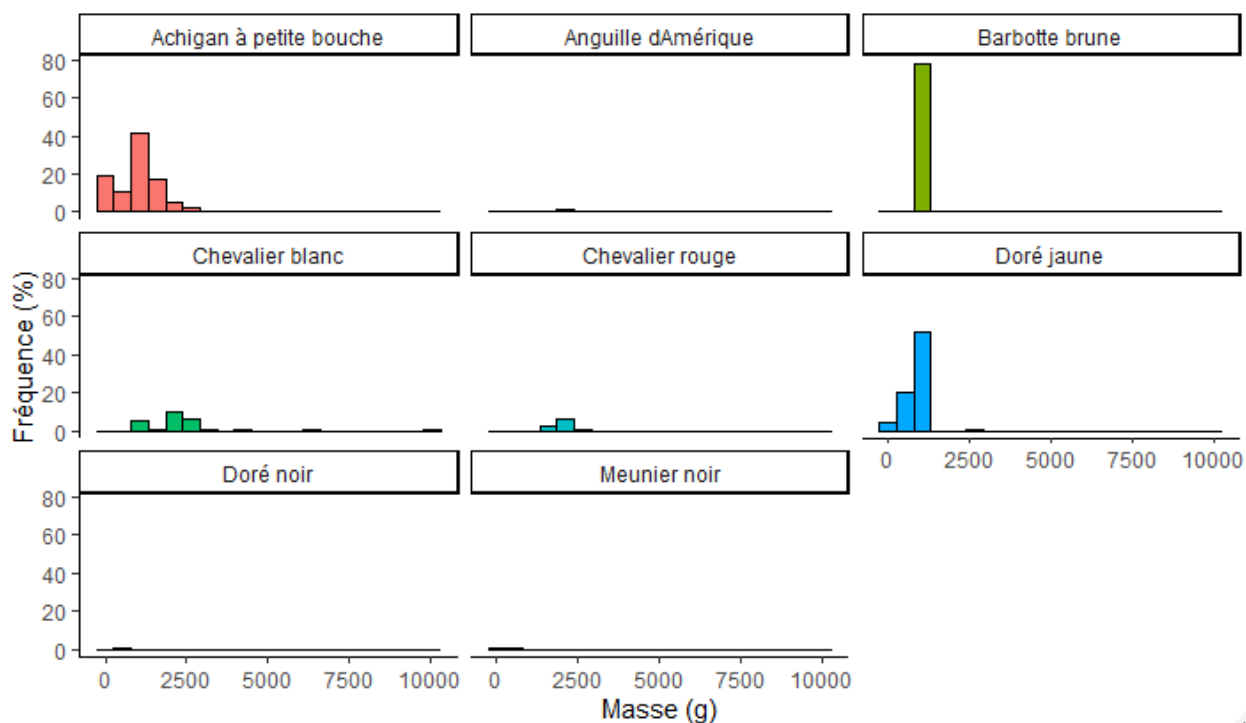


Figure 15. Masse (g) des espèces marquées durant l'échantillonnage (n = 138).

Marquage

Lors des sorties de terrain allant du 18 octobre 2021 au 3 juin 2022, seulement le marquage par PIT-tag a été effectué. En effet, les émetteurs acoustiques n'avaient pas encore été reçus. Au total, 138 poissons ont été marqués avec un PIT-tag, et 22 avec un émetteur acoustique. 22 individus ont été marqués simultanément avec les deux méthodes télémétriques. Tous les poissons lors de ces sorties de terrain ont été marqués sans anesthésie avec un PIT-tag d'une taille de 23 mm. Ensuite, du 16 août au 25 août 2022, tous les poissons ont été marqués avec un PIT-tag de 12 mm pour faciliter l'implantation d'un PIT-tag et d'un tag acoustique simultanément, sous l'effet de l'anesthésie.

À la suite de la pêche électrique, les poissons ont été placés dans des viviers entre deux corridors du pont, dans l'ombre, dans l'eau plus profonde (Figure 16 et 17).



Figure 16. Vue aérienne du site avec les viviers entre les deux ponts. L'encadré rouge délimite la zone de relâche (Google Maps, 2023).



Figure 17. Vivier utilisé pour entreposer les poissons pêchés.

Chaque poisson a ensuite été extrait du vivier avec une puipe, pesé et mesuré. Lorsque le poisson était seulement marqué avec un PIT-tag, l'anesthésie n'était pas nécessaire et ce dernier était marqué avec une seringue et remis à l'eau directement (Figure 18).



Figure 18. Insertion d'un PIT-tag avec une seringue.

Lorsque le poisson était marqué simultanément avec un PIT-tag et un émetteur acoustique, il était déposé dans un bain anesthésique (Figure 19). Le bain anesthésique contenait une concentration d'huile de clou de girofle entre 30-40 mg/l dans de l'eau provenant du fleuve. Pour déterminer si le poisson était correctement anesthésié, ce dernier devait être immobile avec l'abdomen vers le haut.



Figure 19. Bacs pour anesthésier les poissons avant la procédure chirurgicale.

Le poisson était ensuite déposé sur la table d'opération (Figure 20). Un tube alimentait le poisson en eau dans l'opercule, et le débit était contrôlé. La longueur totale et la longueur à la fourche étaient ensuite mesurées.



Figure 20. Table d'opération pour l'insertion des PIT-tags et des émetteurs acoustiques.

Une incision avec un bistouri était faite sur l'abdomen du poisson (Figure 21). Le PIT-tag était inséré en même temps que l'émetteur acoustique. L'incision était ensuite fermée avec de la colle chirurgicale (cyanoacrylate glue) de marque Vetbond 3M. L'intervention chirurgicale prenait entre 3-5 minutes.



Figure 21. Incision faite avec un bistouri pour l'insertion des PIT-tags et émetteurs acoustiques.

Remise à l'eau

Du 18 octobre 2021 au 3 juin 2022, tous les poissons marqués (donc seulement au PIT-tag) ont été relâchés directement à la suite de leur insertion du PIT-tag sur bord de la chaloupe. Cette remise à l'eau se faisait dans de l'eau peu profonde, avec un courant très faible pour non seulement faciliter le marquage, mais aussi la remise à l'eau (Figure 16). Du 16 au 25 août 2022, tous les poissons ont été relâchés dans un corridor migratoire derrière une chicane afin de faciliter leur repos, mais aussi pour obtenir des données sur leur direction de nage une fois dans le corridor migratoire (Figure 22). Il était nécessaire de changer la méthode de remise à l'eau au courant de l'été, car il y avait très peu de détections enregistrées. Pour obtenir plus de détections, les poissons ont été ensuite relâchés directement dans les corridors migratoires. Cette deuxième méthode de remise à l'eau s'effectuait une fois que les poissons n'étaient plus sous l'effet de l'anesthésie après quelques heures. Les poissons marqués le 16 et 17 août 2022 ont été relâchés le 17 août. La moitié des poissons marqués étaient relâchés dans le corridor 1 et la seconde moitié dans le corridor 2. Le même principe s'appliquait pour la remise à l'eau du 25 août 2022.



Figure 22. Remise à l'eau des poissons dans les corridors migratoires après le marquage.

2.2.4 Analyse des données de télémétrie RFID

Les détections ont été classées par ordre chronologique et ensuite divisées en deux catégories (succès ou échec de franchissement du corridor). Un succès signifiait que l'individu passait par les antennes en aval (1 et/ou 2) et en amont (3 et/ou 4), ou bien qu'il était détecté seulement en amont (antenne 3 et/ou 4). Un échec signifiait que l'individu avait été détecté seulement aux antennes en aval (1 et/ou 2) ou qu'il n'avait pas été détecté du tout. Les détections de chaque individu ont été analysées. Dans cette étude, des évènements distincts de détection ont été définis comme étant des regroupements de détections qui ont été séparés par au moins une minute.

2.2.5 Analyse des données de télémétrie acoustique

Les données de détections provenant des hydrophones ont d'abord été traitées afin d'extraire la trajectoire des poissons à travers le réseau d'hydrophones. La triangulation était peu concluante (voir section résultats), alors, une autre approche robuste et courante a été utilisée, soit la résidence. Cette procédure a donc permis d'établir avec confiance la chronologie de résidence d'un poisson sur les différents hydrophones du réseau.

3 Résultats

3.1 Attractivité des corridors migratoires par les poissons marqués

Pour qu'un corridor migratoire ait une bonne attractivité, il est nécessaire que ce dernier ait une entrée attrayante pour les poissons, soit que l'entrée soit facile à repérer et que le chemin pour s'y rendre n'offre pas une grande résistance. L'attractivité des corridors migratoires s'évalue par le nombre de poissons qui sont détectés sur une antenne.

3.1.1 Données de détection de la télémétrie RFID

Les antennes de détection RFID étaient fonctionnelles à partir de l'automne 2021 jusqu'à l'automne 2022. Il y a eu une interruption entre le 21 et 29 juin 2022, à la suite de la déconnexion accidentelle du système. Au total, il y a eu 158 détections de PIT-tag durant la période d'étude. Il y a seulement eu des détections par PIT-tags sur l'antenne 2 du corridor 1 et l'antenne 4 du corridor 2.

Détection des poissons

Sur les 138 poissons marqués avec un PIT-tag et remis à l'eau (Tableau 3), 133 n'ont jamais été détectés. Parmi eux on compte une anguille d'Amérique, deux meuniers noirs, 58 achigans à petite bouche, 28 chevaliers blancs, 12 chevaliers rouges, un doré noir et 30 dorés jaunes. Seulement 6 des 138 poissons marqués ont été détectés à la suite de leur remise à l'eau, soit une barbotte brune (la seule marquée détectée en aval du corridor 1), quatre achigans à petite bouche en aval du corridor 1 et un doré jaune en amont du corridor 2.

Tableau 3. Nombre de poisson par espèces marquées avec un PIT-tag et détections par les antennes RFID (n = 138).

Espèce	Nombre marqué	Nombre détecté	Corridor 1		Corridor 2	
			Aval	Amont	Aval	Amont
Achigan à petite bouche	62	4	X			
Anguille d'Amérique	1	0				
Barbotte brune	1	1	X			
Chevalier blanc	28	0				
Chevalier rouge	12	0				
Doré jaune	31	1				X
Doré noir	1	0				
Meunier noir	2	0				

Dates et heures de détection des poissons

Des 6 individus détectés, 1 a été détecté au mois de mai 2022 (ID49 = achigan à petite bouche), 5 ont été détectés au mois de juin 2022 (ID49 = achigan à petite bouche ; ID91 = barbotte brune ; ID90 = achigan à petite bouche ; ID58 = achigan à petite bouche ; ID11 = achigan à petite bouche), et 1 a été détecté au mois d'août (ID88 = doré jaune). Il est à noter que 2 individus ont été détectés à plus d'une date, soit ID49 (achigan à petite bouche) qui a été détecté au mois de mai et au mois de juin, ainsi que ID88 (doré jaune) qui a été détecté deux fois au mois d'août. Toutes espèces confondues, il semble y avoir une tendance vers des détection à la fin du printemps et au début de l'été (Figure 23).

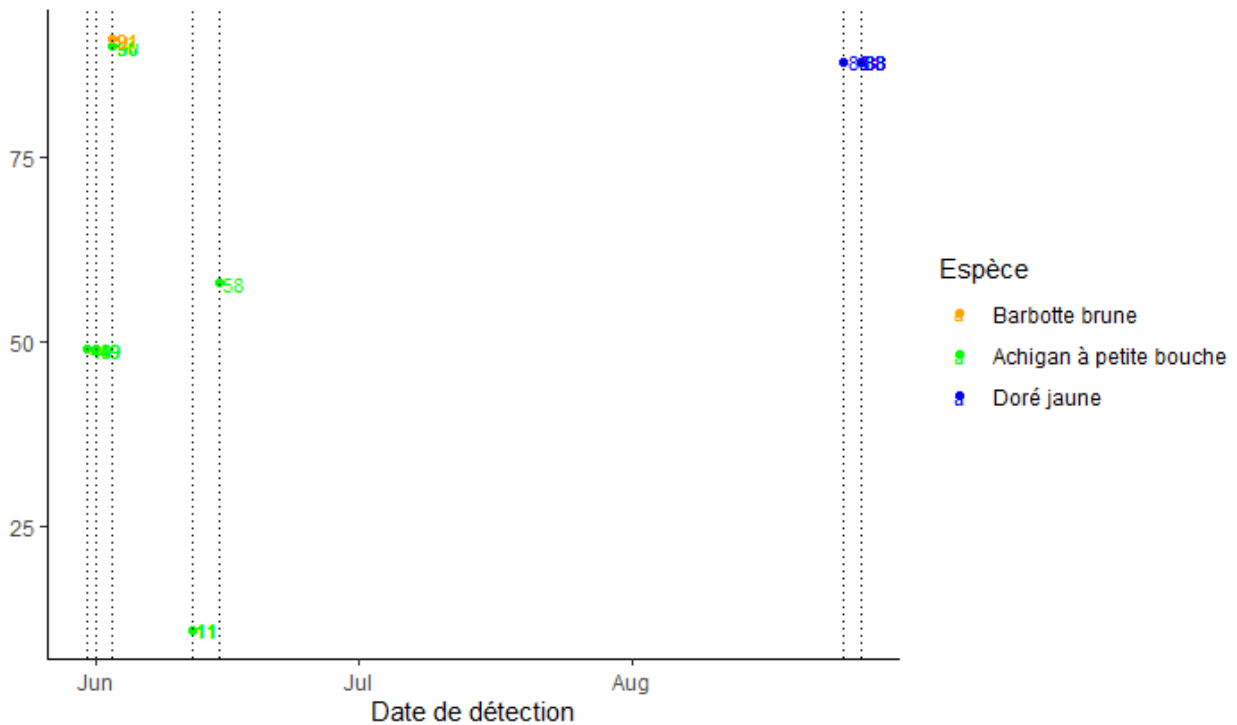


Figure 23. Date de détection des différents individus marqués par un PIT-tag (ID ; n = 6). Les lignes pointillées représentent la date de détection de chaque individu.

La seule barbotte brune marquée a été détectée à quatre reprises différentes, soit à 3h07, 3h12, 17h44 et 21h44. Quatre achigans à petite bouche ont été détectés, soit l'individu 11, l'individu 49, l'individu 58 et l'individu 90. L'individu 11 a seulement été détecté une fois, à 13h10. L'individu 49 a été détecté à trois reprises, soit à 8h02, 8h12 et 6h20. L'individu 58 a été détecté à 6h43 et l'individu 90 a été détecté à 3h51. Un seul doré jaune a été détecté, et ce, à 3h13 et 8h59. Toutes espèces et dates confondues, il semble y avoir une tendance vers des détections tôt le matin (Tableau 4).

Tableau 4. Heures de détection RFID des individus marqués avec un PIT-tag (n = 6).

Espèce	ID	Heure de détection
Barbotte brune	91	3h07
		3h12
		17h44
		21h44
Achigan à petite bouche	11	13h10
	49	8h02
		8h12
		6h20
	58	6h43
Doré jaune	90	3h51
	88	3h13
		8h59

Temps entre la remise à l'eau et la détection des poissons

Chez la barbotte brune, il y a eu un jour entre sa remise à l'eau et sa détection. Pour ce qui est de l'achigan à petite bouche (individu 11), 214 jours se sont écoulés entre sa remise à l'eau et sa détection. L'achigan à petite bouche 49 a eu 200 jours entre sa remise à l'eau et sa détection. Chez l'achigan à petite bouche (individu 58), il y a eu 215 jours entre sa remise à l'eau et sa détection. Le dernier achigan à petite bouche détecté, soit l'individu 90, a eu 1 jour entre sa remise à l'eau et sa détection. Chez le doré jaune, il y a eu 84 jours entre sa remise à l'eau et sa détection. Tous les poissons marqués en 2021 ont seulement été détectés en 2022. Tous les poissons marqués en 2022 ont été détectés dans un intervalle maximal de trois mois (Tableau 5). Il est intéressant de comprendre le temps écoulé entre la remise à l'eau et la détection afin d'établir le portrait des déplacements des poissons. L'attractivité des corridors migratoires est plus forte lorsque le temps entre la remise à l'eau et la détection des poissons est court. En effet, ces derniers ont un intérêt à vouloir traverser les corridors migratoires à la suite d'un moment de stress.

Tableau 5. Temps écoulé entre la remise à l'eau et la détection des poissons (n=6).

Espèce	ID	Date de remise à l'eau	Date de la première détection	Jours entre la remise à l'eau et la première détection
Barbotte brune	91	2 juin 2022	3 juin 2022	1
Achigan à petite bouche	11	10 novembre 2021	12 juin 2022	214
	49	12 novembre 2021	31 mai 2022	200
	58	12 novembre 2021	15 juin 2022	215
Doré jaune	90	2 juin 2022	3 juin 2022	1
	88	2 juin 2022	25 août 2022	84

3.1.2 Données de détection de la télémétrie acoustique

Les hydrophones étaient en fonction du 9 juin 2022 au 20 décembre 2022. Les hydrophones ayant détectés le plus d'individus étaient situés en aval de la jetée. Tous les individus ont été détectés.

3.2 Succès de franchissement des poissons dans les corridors migratoires

3.2.1 Télémétrie RFID

Des poissons marqués par un PIT-tag et détectés par les antennes RFID, aucun d'entre eux n'a réussi à franchir les corridors migratoires, malgré le fait qu'il y a eu quelques détections. Cependant, tous les individus détectés l'ont seulement été sur une antenne à une extrémité d'un seul corridor migratoire.

3.2.2 Télémétrie acoustique

La chronologie de résidence (exemple au tableau 6) a été utilisée pour déterminer le déplacement des poissons par rapport à la jetée et aux corridors migratoires. Le tableau 6 illustre la chronologie de résidence d'un achigan à petite bouche suivant sa première détection. L'intervalle utilisé entre chaque détection était de 15 minutes, les cases bleues représentent l'hydrophone avec le plus de détection pour le poisson en question, et les cases gris pâle représentent les autres hydrophones ayant eu des détections. La colonne grise correspond à la jetée et est présente pour séparer les hydrophones en aval (gauche) et en amont (droite). Par exemple, le 25 août 2022 à 18h06, l'individu s'est déplacé de l'aval vers l'amont et a été détecté par les hydrophones 544 et 518 du corridor migratoire 1.

Tableau 6. Illustration de la chronologie de résidence d'un achigan à petite bouche (P181423).

Tranche (15 min)	Hydrophones Aval								JETÉE	Hydrophones Amont				
	531	535	536	530	540	544	243	520		518	538	533	532	541
2022-08-25 14:51:00	0	0	5	0	0	9		0		0	0	0		0
2022-08-25 15:06:00	0	0	6	1	0	9		0		0	0	0		0
2022-08-25 15:21:00	0	0	7	0	0	7		0		0	0	0		0
2022-08-25 15:36:00	0	0	4	1	0	8		0		0	0	0		0
2022-08-25 15:51:00	0	0	3	0	0	12		0		0	0	0		0
2022-08-25 16:06:00	0	0	4	0	0	7		0		0	0	0		0
2022-08-25 16:21:00	0	0	3	0	0	9		0		0	0	0		0
2022-08-25 16:36:00	0	0	1	0	0	7		0		0	0	0		0
2022-08-25 16:51:00	0	0	1	0	0	11		0		0	0	0		0
2022-08-25 17:06:00	0	0	0	0	0	5		0		0	0	0		0
2022-08-25 17:21:00	0	0	0	0	0	8		0		0	0	0		0
2022-08-25 17:36:00	0	0	0	0	0	5		0		0	0	0		0
2022-08-25 17:51:00	0	0	0	0	0	5		0		0	0	0		0
2022-08-25 18:06:00	0	0	0	0	0	1		0		0	0	0		0
2022-08-25 18:36:00	0	0	0	0	0	0		0		2	0	0		0
2022-08-25 18:51:00	0	0	0	0	0	0		0		9	0	0		0
2022-08-25 19:06:00	0	0	0	0	0	0		0		14	0	0		0
2022-08-25 19:21:00	0	0	0	0	0	0		0		12	0	0		0
2022-08-25 19:36:00	0	0	0	0	0	0		0		10	0	0		0
2022-08-25 19:51:00	0	0	0	0	0	0		0		0	0	1		0
2022-08-25 20:06:00	0	0	0	0	0	0		0		0	0	8		0
2022-08-25 20:21:00	0	0	0	0	0	0		0		0	0	2		0
2022-08-29 18:06:00	0	0	0	0	0	0		0		0	2	1		0
2022-08-29 18:21:00	0	0	0	0	0	0		0		0	3	0		0
2022-08-29 18:51:00	0	0	0	0	0	0		0		0	3	0		0
2022-08-29 19:06:00	0	0	0	0	0	0		0		0	0	5		0
2022-08-29 19:36:00	0	0	0	0	0	0		0		0	1	1		0
2022-08-29 20:06:00	0	0	0	0	0	0		0		0	0	1		0
2022-08-31 18:51:00	0	0	0	0	0	0		0		0	2	3		0
2022-08-31 19:06:00	0	0	0	0	0	0		0		0	3	0		0
2022-08-31 19:21:00	0	0	0	0	0	0		0		0	1	0		0
2022-08-31 19:51:00	0	0	0	0	0	0		0		0	0	1		0
2022-09-01 11:36:00	0	0	0	0	0	0		0		0	0	0		4
2022-09-02 13:36:00	0	0	0	0	0	0		0		0	2	6		0
2022-09-02 14:06:00	0	0	0	0	3	0		3		0	0	0		0
2022-09-02 14:21:00	0	0	0	0	7	0		5		0	0	0		0
2022-09-02 15:21:00	0	1	0	0	0	0		0		0	0	0		0
2022-09-02 18:06:00	0	2	0	0	0	0		0		0	0	0		0
2022-09-02 19:06:00	0	2	0	0	0	0		0		0	0	0		0

Le tableau 7 est un exemple pour le chevalier rouge des transitions effectuées aval-amont ou amont-aval. On retrouve la direction de déplacement du poisson (aval-amont ou amont-aval) et les informations sur son départ et son arrivée (date, heure et hydrophone de détection). Comme énoncé dans la section 2.2.5., les résultats de la triangulation ont cependant été peu concluants, alors, une autre approche robuste et courante a été utilisée, soit la résidence. À la suite de l'analyse de tous les déplacements des poissons avec les chroniques de résidence, il a été possible de déterminer (à l'aide des hydrophones) si le poisson était passé par le corridor migratoire 1 ou 2, s'il avait contourné la jetée, ou encore si son trajet était incertain. On attribuait le code C/2 aux trajets impossible à déterminer (« Contournement/2 » signifiait une certitude de seulement 50 % que le poisson ait contourné la jetée). Grâce à la figure 24, il a été possible de déterminer le trajet le plus plausible pour chaque individu.

Tableau 7. Exemple de l'analyse des transitions aval-amont des chevaliers rouges en 2022.

Poisson	Direction	Départ			Arrivée			Par où ?	Certitude %
		Date	Temps	Hydrophone	Date	Temps	Hydrophone		
137	Aval-Amont	2022-10-31	19h12	540	2022-10-31	19h27	533	C/2	50
137	Amont-Aval	2022-10-31	19h27	533	2022-10-31	21h27	540	C/2	50
137	Aval-Amont	2022-11-02	11h27	540	2022-11-02	11h42	533	C/2	50
121	Aval	2022-08-17	16h32	544	2022-08-17	21h02	536	NA	NA
124	Aval-Amont	2022-08-25	18h04	544	2022-08-25	18h49	518	1	100
125	Aval-Amont	2022-08-25	18h17	544	2022-08-25	18h47	518	1	100
125	Amont-Aval	2022-08-29	07h47	533	2022-08-29	08h02	520	C/2	50
131	Aval-Amont	2022-08-25	18h49	544	2022-08-25	19h04	538	C/2	50
131	Amont-Aval	2022-08-27	02h34	541	2022-08-27	04h04	540	Imp	0
131	Aval-Amont	2022-11-18	22h04	540	2022-11-18	22h19	533	Imp	0

« C/2 » signifie un contournement de la jetée ; « 1 » signifie corridor 1 et « imp » signifie impossible.

Des deux corridors migratoires, seulement le corridor 1 a été utilisé par les poissons. Dans ce corridor, il y a eu 9 passages d'achigans à petite bouche, 2 passages de chevalier rouge et 1 passage de doré jaune, tout individu confondu. Une majorité des poissons ont contourné la jetée, soit 15 détections achigans à petite bouche, 4 chevaliers blancs et 6 chevaliers rouges. Une grande proportion de trajets de poissons étaient impossibles à déterminer, et ce pour 12 détections d'achigans à petite bouche, 4 chevaliers blancs et 1 chevalier rouge. Comme ces passages « C/2 » sont en fait des contournements, on estime que 78 % des passages ne sont pas passés par les corridors migratoires (Tableau 8).

Tableau 8. Sommaire de l'analyse de l'utilisation des corridors migratoires versus le contournement de la jetée en 2022.

Espèce	Corridor		Contournement	C/2
	1	2	C	
Achigan à petite bouche	9	0	15	12
Chevalier blanc	0	0	4	4
Chevalier rouge	2	0	6	1
Doré jaune	1	0	0	0

Dans la figure 24, les flèches de couleur représentent les trois chemins possibles que les poissons auraient pu emprunter pour faire le trajet amont-aval ou aval-amont. La flèche rouge à gauche représente la traversée du corridor migratoire 1, la flèche jaune au centre la traversée du corridor migratoire 2, et la flèche verte à droite le contournement de la jetée.



Figure 24. Sommaire de l'analyse de l'utilisation des corridors migratoires versus le contournement de la jetée en 2022. La flèche rouge représente un déplacement dans le corridor migratoire 1, la flèche jaune un déplacement dans le corridor migratoire 2, et la flèche verte un contournement de la jetée.

4 DISCUSSION

4.1 Attractivité des corridors migratoires par les poissons marqués

4.1.1 Télémétrie RFID

Dans ces expériences, il y a eu un très faible taux de détections avec la télémétrie RFID, soit seulement 6 individus détectés sur 138 individus marqués. Les seules espèces qui ont été détectées à une des antennes situées dans les corridors migratoires sont la barbotte brune, l'achigan à petite bouche et le doré jaune. La détection de ces individus est survenue majoritairement en aval du corridor migratoire 1, qui se retrouve le plus près du littoral. D'après Schlosser (1995), plusieurs espèces se déplacent près du littoral pour éviter les courants plus forts.

La détection des individus s'est effectuée tôt le matin ou en soirée. Les heures de détection correspondent aux heures d'alimentation de plusieurs espèces de poissons dans les zones tempérées (Helfman, 1986), mais aussi à leurs pics d'activités (Bahr, 1977 ; Gerber et Haynes, 1988 ; Peterson et Myhr, 1988 ; Bunt, 1999 ; Brown et al., 2009 ; Bernatchez et Giroux, 2012). Cependant, il se peut que les poissons aient été plus attirés par les corridors migratoires hors des heures de fonction du chantier de construction (Kynard, 1993), étant donné le bruit qu'effectuait les pelles mécaniques afin de démanteler les matériaux se trouvant dans la structure du pont Champlain.

Les données démontrent que le printemps et l'été sont les saisons où les poissons sont plus enclins à franchir les corridors migratoires, puisque la majorité des détections ont été observées entre le mois de juin et de septembre. En Amérique du Nord, les déplacements pour la reproduction se font normalement en mai et juin (Bunt et al. 1999), ce qui coïncide avec les déplacements des poissons qui s'effectuent majoritairement au printemps (Barrett et Mallen-Cooper, 2007). Quelques individus ont été détectés à plus d'une reprise, ce qui démontre une attirance pour les corridors migratoires.

L'achigan à petite bouche est la seule espèce qui a été détectée à plus d'une reprise lors de l'étude. L'achigan à petite bouche est une espèce qui utilise les corridors migratoires et qui est curieuse de son environnement, les mouvements exploratoires sont alors communs (Bunt, 1999). Les détections des achigans à petite bouche ont culminé du 31 mai au 15 juin, ce qui concorde avec la période de reproduction au Québec (Brown et al., 2009 ; Bernatchez et Giroux, 2012), et aussi avec leur abondance et déplacement maximaux (Gerber et Haynes, 1988 ; Fresh et al.,

2003). Bunt (1999) a aussi noté que l'utilisation des corridors migratoires survient la dernière semaine de mai et la première de juin.

Afin d'améliorer l'attractivité des corridors migratoires, plusieurs changements peuvent être effectués. En effet, pour plusieurs espèces marquées, la vitesse du courant dans les corridors était trop forte pour augmenter leurs chances d'être attiré par ces derniers (Bunt, 1999; Brown et al., 2009; Hatry et al., 2014; Silva et al., 2015; Hatry et al., 2016). La vitesse d'écoulement dans les deux corridors migratoires ne dépassait pas 1,2 m/s (Lauzon, 2021). Cependant, toute espèce confondue, leur écoulement préférable aux déplacements ne dépasse pas 0,70 m/s. En effet, les Catostomidae préfèrent des vitesses d'écoulement entre 0,30-0,59 m/s (Aadland, 1993), les achigans à petite bouche de 0,30 cm/s (Aadland, 1993), et les dorés jaunes de moins de 0,30 m/s (Aadland, 1993). Ajouter plus de blocs métriques et de chicanes pourrait diminuer la vitesse d'écoulement dans les corridors migratoires, et ainsi rendre l'attractivité plus forte pour les espèces de poisson présente dans le fleuve.

Deuxièmement, améliorer le protocole d'insertion des PIT-tag est crucial pour s'assurer qu'ils restent bien sous la peau de certains poissons (Gibbons et Andrews, 2004). En effet, quelques pertes ont été observé au moment de la remise à l'eau. Afin de remédier à cela, des périodes de formation, ainsi que l'utilisation d'une colle chirurgicale pourrait être à considérer.

Troisièmement, améliorer l'emplacement et le fonctionnement des antennes est aussi important pour détecter les poissons passant dans les corridors migratoires. En effet, étant sur un chantier de construction, les antennes ont pu manquer d'efficacité à cause d'une proximité accrue à du métal (Greenberg et Giller, 2000; Aarestrup. 2003; Gibbons et Andrews, 2004). Cependant, les tests d'efficacité des antennes ont démontré que ces derniers détectaient les PIT-tags. De plus, une baisse du niveau d'eau dans les corridors (Connolly et al., 2008), une présence de champs électromagnétiques à la même fréquence que les tags (Bond et al., 2007 ; Connolly et al., 2008), une accumulation de débris de bois (Bunt, 1999 ; Bubb et al., 2002 ; Cucherousset et al., 2008) causé par la présence de la jetée, une présence de plusieurs poissons marqués devant la même antenne au même moment (Brannas et al. 1994; Castro-Santos et al., 1996 ; Greenberg et Giller, 2000 ; Zydlewski et al., 2001 ; Aarestrup. 2003 ; Bond et al., 2007 ; Aymes et Rives, 2009) ou une orientation parallèle à l'antenne du tag (Zydlewski et al., 2001 ; Bond et al., 2007 ; Aymes et Rives, 2009) sont tous des raisons pouvant expliquer le peu de données de détections. De plus, les antennes n'étaient pas exactement une en face de l'autre, il y avait donc un espace où les poissons pouvaient passer entre les antennes sans être détectés (Figure 25).



Figure 25. Exemple des antennes décalées dans un corridor migratoire.

Quatrièmement, il se peut qu'il y ait eu des interactions agressives entre les poissons qui se retrouvent au même endroit du corridor (Armstrong et al. 1999), ce qui peut faire rebrousser chemin à plusieurs individus, et donc diminuer les détections aux antennes.

Étant donné le faible nombre de détections, il n'est pas possible de tirer des conclusions sur l'attractivité des corridors migratoires. Il est seulement possible de conclure que certaines espèces ont été détectées, tandis que d'autres non.

4.2 Succès de franchissement des poissons dans les corridors migratoires

4.2.1 Télémétrie RFID

Les quatre achigans à petite bouche, la barbotte brune, et le doré jaune détecté n'ont pas réussi à franchir avec succès le corridor migratoire. Chez le doré jaune, il est courant d'observer un faible taux de passage en amont, attribué probablement à un débit élevé de l'eau et à une turbulence importante (Bunt, 1999). Comme mentionné à la section 4.1.1., la vitesse d'écoulement de l'eau était trop forte pour le passage de cette espèce. De plus, la majorité des corridors sont inefficaces pour le passage des dorés, comme énoncé dans Dexter et Ledet (1997). Selon Brown et al. (2009), les achigans à petite bouche ont une faible capacité à franchir des barrières à leurs déplacements d'aval vers l'amont. Encore une fois, les corridors migratoires existants ne sont pas bien adaptés pour cette espèce. Il y a malheureusement un manque d'informations sur les corridors migratoires et la barbotte brune. Cependant, l'étude de Mallen-

Cooper et Brand (2007) dit que les chercheurs ont enregistré un très petit nombre de barbottes brunes dans leurs corridors migratoires.

Il était difficile d'avoir une bonne représentation des espèces présentes dans le site d'étude, puisque la capture des poissons s'est effectuée tard dans la saison. Il se peut donc que plusieurs individus et espèces différentes non marqués aient traversé avec succès les corridors migratoires. Dans une étude ultérieure, il serait intéressant de marquer les poissons dès la fonte des glaces, et ce, jusqu'à la formation subséquente de ces derniers plus tard dans l'année. Par la suite, diminuer le stress engendré par la capture, le marquage et la remise à l'eau pourrait aider les poissons à franchir les corridors migratoires (Schreck et al., 2001 ; Mulcahy, 2003 ; AFS, 2004 ; Cooke et al., 2005 ; Ross et Ross, 2008 ; Cooke et Hinch, 2013). En effet, à la suite de la capture et au marquage, les comportements varient largement d'une espèce à l'autre et aussi d'un individu à l'autre. Certains peuvent rester à proximité et d'autres peuvent partir à plusieurs kilomètres.

Optimiser les corridors pour permettre à une plus grande diversité d'espèces de les franchir est une option intéressante. En effet, les espèces présentes ont des morphologies et des capacités de nage différentes. Concentrer les efforts d'étude afin de trouver des alternatives de corridors migratoires pour toutes les espèces de poissons effectuant des déplacements dans les cours d'eau est crucial. En effet, la majorité des études sur ce sujet se concentrent sur les salmonidés, et sont donc loin de la réalité rencontrée sur le terrain.

Il se peut aussi que les poissons aient été découragés ou non motivés d'effectuer l'ascension du corridor (Haro et Kynard, 1997 ; Aerstrup et al. 2003 ; Parsley et al, 2007 ; Schilt, 2007 ; Calles et Greenberg, 2009 ; Castro-Santos et Haro, 2010 ; Bunt et al, 2011 ; Hatry et al., 2013) à cause d'une désorientation ou d'un manque de capacités physiques ; cela se nomme le « fallback » (Calles et Greenberg, 2009 ; McLaughlin et al., 2012).

Il n'est pas possible d'établir une conclusion quant au succès de franchissement des corridors migratoires avec seulement la télémétrie RFID, puisqu'aucun poisson n'a été détecté sur deux paires d'antennes en un trajet.

4.2.2 Télémétrie acoustique

La triangulation a été peu fructueuse, à cause d'une faible profondeur de l'eau, mais aussi par un nombre d'hydrophones insuffisants pour effectuer la triangulation. En effet, il est nécessaire d'avoir des données de détections sur plus de trois hydrophones simultanément pour pouvoir

effectuer la triangulation. De plus, la faible profondeur a fait en sorte que les poissons n'ont pas été détectés par les hydrophones autant qu'espérés.

Bien qu'il y ait eu peu de détections avec la télémétrie RFID, la télémétrie acoustique a pu fournir plus de résultats. En effet, il y a eu 54 déplacements répertoriés avec cette méthode, soit 12 déplacements certains à travers le corridor migratoire 1, aucun déplacement à travers le corridor migratoire 2, 25 déplacements où les poissons ont contourné avec certitude la jetée, et 17 déplacements où le trajet n'est pas certain.

Plusieurs raisons peuvent expliquer le faible nombre de passages enregistrés par les hydrophones dans les corridors migratoires. Premièrement, le bruit ambiant aurait pu masquer le signal des émetteurs près des corridors migratoires (Casto-Yerty et Bettoli, 2009). En effet, la jetée avait beaucoup de bruit ambiant, à cause de la machinerie lourde qui circulait dessus. De plus, les pelles mécaniques auraient pu causer des vibrations dans l'eau ambiante. En effet, ces dernières donnaient des coups sur les débris de l'ancien pont afin de les casser en plus petits morceaux. Il serait intéressant dans une étude ultérieure de prendre en compte cette variable pour mieux expliquer les résultats obtenus. Bien que le but du présent projet était d'évaluer la performance des corridors migratoires à travers une jetée, plusieurs études par le passé ont déterminé qu'il est important de déposer les hydrophones à des endroits calmes (Clements et al., 2005), donc pas à proximité de chantiers de construction. De plus, il se peut qu'avec le fort courant, des obstructions aient diminué l'efficacité des hydrophones (Clements et al., 2005). Cela peut aussi être le cas à cause de la jetée elle-même, des chicanes, ou bien des blocs de grande dimension. Des vidéos ont révélé que les poissons étudiés par Bunt (1999) choisissent les itinéraires présentant le moins de résistance. Étant donné cela, il est possible que les poissons aient contourné les corridors pour faciliter leurs déplacements.

Il est possible de conclure que les poissons se sont plus déplacés en contournant la jetée qu'en traversant les corridors migratoires. Étant donné le peu de documentation disponible sur les capacités de nage des différentes espèces présentes dans la portion fluviale du Saint-Laurent, il serait intéressant de concentrer les études futures sur cet aspect.

5 CONCLUSION

En conclusion, les différentes méthodes de télémétrie utilisées lors de l'étude confirment que les déplacements des poissons ont été modifiés avec la déconstruction du pont Champlain. En effet, la jetée a eu l'effet d'une barrière contre le déplacement de ces derniers. Les poissons optaient soit pour un contournement de la jetée ou rebroussaient chemin vers l'aval. Plusieurs études quantifiant l'effet des jetées de construction sur l'habitat des poissons concluent qu'elles ont un effet négatif puisque l'habitat qu'elles procurent est sous-optimal pour la croissance et les déplacements. En effet, la diversité des espèces est moindre que dans les habitats naturels sans jetée, les poissons se nourrissent moins ou aucunement et les déplacements sont retardés (Able et al., 1998 ; 1999 ; Munsch et al., 2014).

L'attractivité des corridors migratoires était faible, cela est probablement dû aux conditions hydriques qui n'étaient pas optimales pour les espèces présentes. Le succès de franchissement des corridors migratoires était aussi faible, et cela était probablement dû au fait qu'il était plus simple pour les poissons de contourner la jetée, puisqu'il y avait moins de résistance.

Des études sur les capacités de nage des poissons, sur leurs préférences d'habitat ainsi que des études portant sur l'effet des jetées sur le déplacement des poissons seraient importantes à effectuer pour de futurs projets semblables à celui-ci.

6 BIBLIOGRAPHIE

Aadland LP (1993) Stream habitat types: their fish assemblages and relationship to flow. *North American Journal of Fisheries Management* 13: 790–806.

Able KW, Manderson JP, Studholme AL (1998) The distribution of shallow water juvenile fishes in an urban estuary: the effects of manmade structures in the Lower Hudson River. *Estuaries* 21: 731–744.

Able KW, Manderson JP, Studholme AL (1999) Habitat quality for shallow water fishes in an urban estuary: the effects of man-made structures on growth. *Marine Ecology Progress Series* 187: 227–235.

Bahr DM (1977) *Homing, swimming behaviour, range, activity patterns and reactions to increasing water levels of walleyes (Stizostedion vitreum vitreum) as determined by radio-telemetry in navigational pools 7 and 8 of the Upper Mississippi River during spring, 1976*. Maîtrise (MSc.) en biologie (University of Wisconsin, La Crosse, Wisconsin). 82 p.

Bates K (2000) *Fishway guidelines for Washington state*. Washington Department of Fish and Wildlife, Washington, DC. 57 p.

Bernatchez L, Giroux M (2012) Les poissons d'eau douce du Québec et leur répartition dans l'est du Canada. Broquet inc., Ottawa, 348 p.

Brown TG, Runciman B, Pollard S, Grant ADA, Bradford MJ (2009) *Biological synopsis of smallmouth bass (Micropterus dolomieu)*. Fisheries and Oceans Canada, Canada, 58 p.

Bunn SE, Arthington AH (2002) Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management* 30: 492–507.

Bunt CM (1999) Fishways for warmwater species: utilization patterns, attraction efficiency, passage efficiency, and relative physical output. Philosophiae Doctor (Ph.D.) en biologie (University of Waterloo, Ontario). 175 p.

Bunt CM, Castro-Santos T, Haro A (2011) Performance of fish passage structures at upstream barriers to migration. *River Research and Applications* 28: 457–478.

Bureau du Vérificateur général du Canada (BVGC) (2018) *Replacing Montréal's Champlain Bridge — Infrastructure Canada*. Canada, 36 p.

Burke BJ, Jepson MA (2011) Performance of Passive Integrated Transponder Tags and Radio Tags in Determining Dam Passage Behavior of Adult Chinook Salmon and Steelhead. *North American Journal of Fisheries Management* 26: 742–752.

Calles O (2005) Re-establishment of connectivity for fish populations in regulated rivers. Department of Biology, Karlstad University, Sweden, 58 p.

Calles O, Greenber, L (2009) Connectivity is a two-way street—the need for a holistic approach to fish passage problems in regulated rivers. *River Research and Applications* 25: 1268–1286.

Casto-Yerty M, Bettoli PW (2009) *Range assessment and detection limitations of bridge-mounted hydroacoustic telemetry arrays in the Mississippi River*. USGS Tennessee Cooperative Fishery Research Unit and Tennessee Technological University, 19 p.

Castro-Santos T, Haro A (2010). Fish guidance and passage at barriers. 1–28.

Clements S, Jepsen D, Karnowski M, Schreck CB (2005) Optimization of an acoustic telemetry array for detecting transmitter-implanted fish. *North American Journal of Fisheries Management* 25: 429–436.

Cooke SJ, Bunt CM, Hamilton SJ, Jennings CA, Pearson MP, Cooperman MS, Markle DF (2005) Threats, conservation strategies, and prognosis for suckers (Catostomidae) in North America: insights from regional case studies of a diverse family of non-game fishes. *Biological Conservation* 121: 317–331.

Cowx IG, Welcomme RL (1998) *Rehabilitation of rivers for fish*. Alden Press, Oxford and Northampton, Great Britain, 119 p.

Crossin GT, Heupel MR, Holbrook CM, Hussey NE, Lowerre-Barbieri SK, Nguyen VM, Raby GD, Cooke SJ (2017) Acoustic telemetry in fisheries management. *Ecological Applications* 27(4): 1031–1049.

Delcourt C (2021) *Suivi biologique et hydraulique dans les couloirs de migration en 2021*. NHSL, Canada, 112 p.

Dexter JL, Ledet ND (1997) *Estimates of fish passage on the St-Joseph River in 1993 using time-lapse video recording*. Michigan DNR, Michigan, 56 p.

Fresh KL, Rothaus D, Mueller KW, Waldbillig C (2003) *Habitat utilization by smallmouth bass in the littoral zones of Lake Washington and Lake Union/Ship Canal*. Greater Lake Washington Chinook Workshop.

Gerber GP, Haynes JM (1988) Movements and behavior of smallmouth bass, *Micropterus dolomieu*, and rock bass, *Ambloplites rupestris*, in Southcentral Lake Ontario and two tributaries. *Journal of Freshwater Ecology* 4: 425–440.

Google Maps (2023) Pont Champlain. https://www.google.com/maps/place/Pont+Champlain,+Montreal,+QC/@45.4696075,-73.5359379,16.25z/data=!4m6!3m5!1s0x4cc9100bcf94e899:0x3a68449244c6c2cd!8m2!3d45.4696231!4d-73.5392017!16s%2Fg%2F11f1n3z8tp?entry=tту&g_ep=EgoyMDI0MTAxNi4wIKXMDSOASAFAQAw%3D%3D (3 août 2023).

Hall DA (2014) Conventional and radio frequency identification (RFID) tags. *Applications in Fishery Science* 31: 365–395.

Hatry C, Thiem JD, Binder TR, Hatin D, Dumont P, Stamplecoskie KM, Molina JM, Smokorowski KE, Cooke SJ (2014) Comparative physiology and relative swimming performance of three redhorse (*Moxostoma* spp.) species: associations with fishway passage success. *Physiological and Biochemical Zoology* 87: 148–159.

- Hatry C, Thiem JD, Hatin D, Dumont P, Smokorowski KE, Cooke SJ (2016) Fishway approach behaviour and passage of three redhorse species (*Moxostoma anisurum*, *M. carinatum*, and *M. macrolepidotum*) in the Richelieu River, Quebec. *Environmental Biology of Fishes* 99: 249–263.
- Helfman GS (1986) *The behaviour of teleost fishes*. Springer, Boston, Massachusetts.
- Hellstrom G, Lennox RJ, Bertram MG, Brodin T (2022) Acoustic telemetry. *Current Biology* 32: 863–865.
- INNOVASEA (2021) Coded transmitters—69 kHz. Innovasea, 2 p.
- Jacoby DM, Piper A (2023) What acoustic telemetry can and cannot tell us about fish biology. *Journal of Fish Biology*: 1–25.
- Katopodis C, Aadland LP (2006). Effective dam removal and river channel restoration approaches. *International Journal of River Basin Management* 4: 153–168.
- Katopodis C, Kells JA, Acharya M (2001) Nature-like and conventional fishways: alternative concepts? *Canadian Water Resources Journal* 26 : 211-232.
- Kemp PS, O'Hanley JR (2010) Procedures for evaluating and prioritizing the removal of fish passage barriers: a synthesis. *Fisheries Management and Ecology* 17: 297–322.
- Lauzon D (2021) *Pont Champlain — Service de conception — Construction, dans le cadre de la déconstruction du Pont Champlain d'origine (2019-2023)*. NHSL, Canada, 42 p.
- MacLeod IR, Gagen CJ (2018) New applications of radio frequency identification stations for monitoring fish passage through headwater road crossings and natural reaches. *Journal of the Arkansas Academy of Science* 72: 109–122.
- Mallen-Cooper M, Brand DA (2007) Non-salmonids in a salmonid fishway: what do 50 years of data tell us about past and future fish passage? *Fisheries Management and Ecology* 14: 319–332.
- Muir WD, Smith SG, Williams JG, Sandford BP (2001) Survival of Juvenile Salmonids Passing through Bypass Systems, Turbines, and Spillways with and without Flow Deflectors at Snake River Dams. *North American Journal of Fisheries Management* 21: 135–146.
- Munsch SH, Cordell JR, Toft JD, Morgan EE (2014) Effects of Seawalls and Piers on Fish Assemblages and Juvenile Salmon Feeding Behavior. *North American Journal of Fisheries Management* 34: 814–827.
- Noonan MJ, Grant JWA, Jackson CD (2011) A quantitative assessment of fish passage efficiency. *Fish and Fisheries*: 1–15.
- Peterson DC, Myhr AI (1988) *Ultrasonic tracking of smallmouth bass in Center Hill Reservoir, Tennessee*. Proceedings of the Annual Conference of Southeastern Fish and Wildlife Agencies.
- PJCCI (2019) *Déconstruction du pont Champlain d'origine*. PJCCI, Canada, 17 p.
- PJCCI (2020). *Atelier de co-conception Héritage Champlain*. PJCCI, Canada, 10 p.

Pont Samuel-De Champlain (2015) *Pourquoi construire des jetées ?* <https://www.nouveauchamplain.ca/2015/09/pourquoi-construire-des-jetees/> (3 août 2023).

Prentice EF, Flagg TA, McCutcheon CS, Brastow DF, Cross DC (1990) Equipment, methods, and an automated data-entry station for PIT tagging. *American Fisheries Society Symposium* 7: 335–340.

Roscoe DW, Hinch SG (2010) Effectiveness monitoring of fish passage facilities: historical trends, geographic patterns and future directions. *Fish and Fisheries* 11: 12–33.

Rous A (2023) Biotelemetry-based monitoring of fish-habitat interactions as an informative window into habitat management in a multi-species fish community in Toronto Harbour. Philosophiae Doctor (Ph.D.) en biologie (Carleton University, Ottawa, Canada). 207 p.

Roussel J-M, Haro A, Cunjak RA (2000) Field test of a new method for tracking small fishes in shallow rivers using passive integrated transponder (PIT) technology. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 57: 1326–1329.

Sandford BP, Smith SG (2002) Estimation of smolt-to-adult return percentages for Snake River Basin anadromous salmonids, 1990–1997. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics* 7: 243–263.

Schlosser IJ (1991) Stream fish ecology: a landscape perspective. *BioScience* 41(10): 704–712.

Schlosser IJ (1995) Critical landscape attributes that influence fish population dynamics in headwater streams. *Hydrobiologia* 303: 71–81.

Silva AT, Hatry C, Thiem JD, Gutowsky LF, Hatin D, Zhu DZ, Dawson JW, Katopodis C, Cooke SJ (2015) Behaviour and locomotor activity of a migratory catostomid during fishway passage. *PLoS One* 10(4): 1–15.

Transports Canada (2012) *Environmental Assessment Guidelines (including Scope) – New Bridge for the St. Lawrence, Canada*, 23 p.

Transports Canada (2013) *Nouveau pont pour le Saint-Laurent : évaluation environnementale*, Canada, 574 p.

Veilleux MAN, Midwood JD, Boston CM, Lapointe NWR, Portiss R, Wells M, Doka SE, Cooke SJ (2018) Assessing occupancy of freshwater fishes in urban boat slips of Toronto Harbour. *Aquatic Ecosystem Health & Management* 21: 331–341.

Williams JG, Armstrong G, Katopodis C, Larinier M, Travade F (2012) Thinking like a fish: a key ingredient for development of effective fish passage facilities at river obstructions. *River Research and Applications* 28: 407–417.

Zydlewski GB, Horton G, Dubreuil T, Letcher BH, Casey S, Zydlewski J (2006) Remote monitoring of fish in small streams. *Fisheries* 31: 492–502.