

Estimation de l'abondance et caractérisation des anguilles d'Amérique (*Anguilla rostrata*) provenant des transferts dans la pêche commerciale de l'estuaire du Saint-Laurent en 2022



Coordination et rédaction

Cette publication a été réalisée par la Direction de la gestion de la faune du Bas-Saint-Laurent (DGFa-01) du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP). Elle a été éditée par la Direction des communications du MELCCFP

Référence à citer

LANDRY-MASSICOTTE, L., et J. DUSSUREAULT (2023). Estimation de l'abondance et caractérisation des anguilles d'Amérique (*Anguilla rostrata*) provenant des transferts dans la pêche commerciale de l'estuaire du Saint-Laurent en 2022. Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs, Direction de la gestion de la faune du Bas-Saint-Laurent, 18 pages

Photographie de la page titre

Bibliothèque et Archives nationales du Québec

Renseignements

Téléphone : 418 521-3830

1 800 561-1616 (sans frais)

Formulaire : www.environnement.gouv.qc.ca/formulaires/renseignements.asp

Internet : www.environnement.gouv.qc.ca

Dépôt légal – 2023

Bibliothèque et Archives nationales du Québec

ISBN (PDF) : 978-2-550-94875-9

Tous droits réservés pour tous les pays.

© Gouvernement du Québec – 2023

Équipes de réalisation

Rédaction et analyse

Louis Landry-Massicotte¹
Johanne Dussureault¹

Équipes de terrain et de laboratoire

Johanne Dussureault¹
Léane Gamache¹
Martine Tremblay¹

Révision

Philippe Brodeur²
Jean-François Dumont³

¹ Direction de la gestion de la faune du Bas-Saint-Laurent, ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP)

² Direction de la gestion de la faune de la Mauricie et du Centre-du-Québec, MELCCFP

³ Direction de l'expertise sur la faune aquatique, MELCCFP

Résumé

Des travaux d'échantillonnage de la pêche commerciale d'anguilles d'Amérique (*Anguilla rostrata*) de l'estuaire du Saint-Laurent ont été réalisés en 2022. Le projet consistait à estimer la proportion d'anguilles argentées en avalaison qui provenaient des transferts de 6,8 millions de civelles réalisés au Québec et en Ontario entre 2005 et 2010. La caractérisation de la récolte commerciale a permis d'estimer les débarquements des 10 pêcheurs actifs dans l'aire d'étude à 16,8 tonnes métriques ou 10 945 anguilles argentées au cours de l'automne 2022. Les captures par unité d'effort (CPUE) ont été estimées à 5,8 kg d'anguilles par mètre de tenture (effort de pêche) en 2022, une valeur divergeant significativement de la moyenne de la période 2009-2021 ($4,4 \pm 1,5$ kg/m). La tendance à la hausse des CPUE observées depuis 2009 s'est maintenue pour l'année 2022. La proportion d'anguilles transférées lors de la migration automnale de 2022 était de 24,3 %, en hausse par rapport à celle établie au terme de la saison de pêche 2021 (16,3 %). À partir de la proportion de 2022, il a été estimé qu'environ 45 856 (27 418 - 63 325) anguilles argentées provenant des transferts ont migré par l'estuaire en 2022, contribuant au stock reproducteur de l'espèce et surpassant les débarquements totaux déclarés par les pêcheurs commerciaux. Malgré une hausse de la proportion d'anguilles issues des transferts comparativement à l'année précédente, il est probable que la contribution des anguilles transférées diminue progressivement au cours des prochaines années. L'âge et la taille moyens des anguilles d'origine naturelle en avalaison ($14,1 \pm 2,7$ ans et $902,9 \pm 94,8$ mm) étaient significativement plus élevés que ceux des anguilles transférées ($13,6 \pm 1,3$ ans et $857,6 \pm 125,0$ mm). Les différences morphologiques entre les deux groupes d'anguilles sont dorénavant négligeables, et les anguilles issues des transferts ont le potentiel d'atteindre des tailles importantes. La présence du parasite exotique *Anguillicola crassus* a été confirmée dans la vessie natatoire de 27 anguilles, menant l'infestation à une prévalence de 8,11 % et à une abondance moyenne de $2,0 \pm 2,0$ parasites par sujet infecté. La majorité des anguilles parasitées par le nématode étaient d'origine naturelle (81,5 %). Malgré la hausse graduelle de la prévalence du nématode chez les anguilles, l'abondance moyenne du parasite par sujet infecté est demeurée relativement stable. L'abondance des anguilles en avalaison dans l'estuaire du Saint-Laurent ne représentait en 2022 que 31,6 % (27,7 - 35,7) des effectifs estimés en 1996 et 1997. Sans une hausse importante du recrutement, l'abondance des anguilles produites en amont de Québec demeure préoccupante pour l'avenir.

Abstract

The St. Lawrence estuary silver eel (*Anguilla rostrata*) commercial fishery was sampled in 2022 in order to estimate the proportion of transferred eels among individuals migrating downstream to their oceanic spawning sites. These transferred eels originated from approximately 6.8 million elvers transferred in the Richelieu River, the upper St. Lawrence River and Lake Ontario between 2005 and 2010. In 2022, 10 commercial fishers were active and landings were estimated at 16.8 metric tons or 10 945 silver eels. The captures per unit of effort (CPUE) was estimated at 5.8 kg per meter of tidal weir. This estimate differed significantly from the 2009-2021 average ($4,4 \pm 1,5$ kg/m), and a significant relationship suggests an increase through time of annual CPUE since 2009. We estimated that transferred eels now represented 24.3 % of total downstream migrants, which represents a small increase compared to the previous season. Based on this proportion, it was estimated that 45 856 (27 418 - 63 325) transferred silver eels out-migrated from the St. Lawrence system this year, which are likely contributing to the spawning stock and compensating for the commercial harvest (10 945). Despite an increase in the proportion of transferred eels in the fishery in 2022 compared to the previous year, it is expected that their presence will continue to gradually decrease in the coming years. Even though the age and length differences tend to decrease over the year between transferred ($13,6 \pm 1,3$ years and $857,6 \pm 125,0$ mm) and natural individuals ($14,1 \pm 2,7$ years et $902,4 \pm 94,8$ mm), natural eels were still significantly older and longer than the transferred ones. The exotic swim bladder parasite *Anguillicola crassus* was found in 27 eels representing a prevalence rate of 8.11 % and a mean intensity of 2.0 ± 2.0 parasites per infected eel. 22 of the 27 infected eels were wild migrants. Despite the increase in prevalence over the years, the mean amount of parasite by infected individual remains relatively stable. The abundance of downstream eel in the St. Lawrence estuary now only represents 31.6% (27,7 – 35,7) of the numbers established in 1996-1997. The trajectory of eel abundance in the St. Lawrence system and Lake Ontario is worrisome without an increase in eel recruitment

Table des matières

Équipes de réalisation	I
Résumé	II
Abstract	III
Table des matières	i
Liste des tableaux	i
Liste des figures	ii
Remerciements	ii
1. Introduction	1
2. Matériel et méthodes	2
2.1 Aire d'étude	2
2.2 Paramètres halieutiques	2
2.3 Caractérisation des anguilles en dévalaison capturées dans la pêche	4
3. Résultats	6
3.1 Paramètres halieutiques	6
3.2 Caractéristiques des anguilles en dévalaison capturées dans la pêche	8
4. Discussion	13
4.1 Paramètres halieutiques	13
4.2 Caractérisation des anguilles en dévalaison capturées dans la pêche	14
5. Conclusion	15
6. Références bibliographiques	16

Liste des tableaux

Tableau 1. Protocole appliqué au traitement des anguilles récupérées en 2022	5
Tableau 2. Paramètres halieutiques de la pêche commerciale d'anguilles argentées de 2011 à 2022 dans l'estuaire du Saint-Laurent	7
Tableau 3. Scénario moyen de l'abondance des anguilles en avalaison dans l'estuaire du Saint-Laurent de 2015 à 2022, stratifiée en fonction de leur origine. Les valeurs des taux d'exploitation moyens présentés en italique ont été estimées à partir d'une relation taux d'exploitation–effort de pêche. La même séquence de calcul a été réalisée à partir des estimations de taux d'exploitation optimiste et pessimiste et est présentée entre parenthèses.	9
Tableau 4. Caractéristiques des anguilles argentées échantillonnées dans l'estuaire du Saint-Laurent en 2022	10
Tableau 5. Prévalence et intensité de l'infestation d' <i>Anguillicola crassus</i> dans la pêche commerciale de l'estuaire de 2015 à 2022	12

Liste des figures

Figure 1. Localisation des sites d'échantillonnage (points bleus) des anguilles argentées dans l'estuaire du Saint-Laurent en 2022. _____ 2

Figure 2. (A) Captures par unité d'effort (CPUE; kg d'anguilles par mètre de tenture), (B) effort de pêche (mètre de tenture), (C) nombre de trappes fixes en opération et (D) débarquements totaux d'anguilles argentées estimés entre 2009 et 2022 dans la pêcherie commerciale de l'estuaire du Saint-Laurent. ____ 6

Figure 3. Relation entre l'effort de pêche déployé par les pêcheurs commerciaux de l'estuaire du Saint-Laurent (mètres de tentures des trappes fixes) et le taux d'exploitation (méthode Peterson regroupée) mesuré en 1996, 1997, 2010, 2011, 2020, 2021 et 2022. Trois scénarios sont présentés, soit un scénario optimiste (bleu) prenant en compte la borne inférieure de l'intervalle de confiance (IC 95 %) de l'estimation du taux d'exploitation, un scénario pessimiste (gris) prenant en compte la borne supérieure et un scénario moyen (noir) basé sur l'estimation moyenne du taux d'exploitation. _____ 7

Figure 4. Contribution des captures quotidiennes (%) d'anguilles argentées dans la pêcherie commerciale de l'estuaire du Saint Laurent en 2020, 2021 et 2022. Les données de 2020, 2021 et 2022 présentées dans cette figure concernent respectivement 9 pêcheurs sur 11, 9 pêcheurs sur 11 et 9 pêcheurs sur 10. ____ 8

Figure 5. Modèles optimiste, moyen et pessimiste du nombre d'anguilles argentées en dévalaison dans l'estuaire du Saint-Laurent entre 2015 et 2022. La droite, l'intervalle de confiance (IC 95 %) et les points présentés en gris représentent l'abondance totale des anguilles en dévalaison (transférées et naturelles), tandis que ceux présentés en bleu représentent les anguilles d'origine naturelle. _____ 9

Figure 6. Distribution des fréquences de taille (gauche) et d'âge (droite) des anguilles capturées lors de la caractérisation de la récolte commerciale en 2022, selon leur origine. _____ 11

Figure 7. Nombre d'anguilles d'origine naturelle et transférée dans la pêcherie commerciale de l'estuaire du Saint Laurent pour chaque date d'échantillonnage en 2022. La courbe représente l'évolution temporelle de la proportion d'anguilles transférées. _____ 11

Remerciements

Plusieurs personnes ont participé à ce projet et nous tenons à souligner leur implication. Nous tenons premièrement à remercier tout particulièrement les 10 pêcheurs commerciaux d'anguilles de l'estuaire du Saint-Laurent. Leur collaboration s'est avérée essentielle pour la réalisation de cette étude. Merci à David Stanley, d'OPG, pour son soutien et ses commentaires tout au long des travaux. Les auteurs tiennent finalement à remercier Philippe Brodeur et Jean-François Dumont pour leur contribution à une version préliminaire de ce rapport, qui auront permis de bonifier grandement sa qualité.

1. Introduction

L'anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*), une espèce largement répandue dans l'est du Canada, a connu des déclin d'abondance marqués dans certaines régions de son aire de répartition, notamment au lac Ontario et dans le cours supérieur du fleuve Saint-Laurent (Caron et collab., 2007; COSEPAC, 2012). En 2007, l'Ontario a déclaré l'anguille comme espèce menacée en vertu de sa *Loi sur les espèces en voie de disparition* (L.O. 2007, chap. 6). Une des principales causes de mortalité identifiées dans ce secteur est associée au passage des anguilles dans les turbines de deux principaux ouvrages hydroélectriques : les barrages de Moses-Saunders (État de New York et Ontario) et ceux de Beauharnois (Québec). Il a été estimé que 40 % des anguilles migratrices qui transitent par ces deux ouvrages meurent lors de leur passage (Verreault et Dumont, 2003).

Le Comité scientifique canadien sur l'anguille d'Amérique a élaboré un plan d'action visant à mettre un frein à l'important déclin de l'anguille et à favoriser le rétablissement de l'espèce (GTCA, non publié). Les actions proposées dans ce plan comptent un programme expérimental de transfert d'anguilles. De 2006 à 2010, l'Ontario Power Generation (OPG) a transféré plus de 4 millions de civelles et d'anguillettes en amont du barrage de Moses-Saunders. Les programmes de recherche et de suivi concernant les transferts sont inscrits au Plan d'action 2019-2023 de l'OPG visant à compenser les mortalités induites par la centrale hydroélectrique R. H. Saunders à Cornwall. Parallèlement à ces mesures, 2,8 millions de civelles capturées en Nouvelle-Écosse ont été transférées dans la rivière Richelieu entre 2005 et 2008 dans le cadre d'un projet indépendant des transferts de civelles mené par l'OPG. Au total, 6,8 millions de civelles ont été transférées dans le système Saint-Laurent de 2005 à 2010. Bien qu'il ait été envisagé de distinguer les anguilles transférées dans ces deux secteurs dans le but d'évaluer la performance respective des deux campagnes, il n'a pas été possible de distinguer le lieu de transfert des anguilles.

L'objectif de la présente étude était de caractériser les anguilles argentées provenant des deux initiatives de transferts et d'évaluer leur abondance à l'intérieur du segment de population d'anguilles migrant par l'estuaire du Saint-Laurent. Ce suivi, mis en place en 2015, a permis d'évaluer annuellement la performance globale de ces deux programmes comme moyen d'augmenter le nombre de femelles reproductrices produites dans le système Saint-Laurent et le lac Ontario.

2. Matériel et méthodes

2.1 Aire d'étude

L'échantillonnage a été réalisé dans la pêcherie commerciale d'anguilles argentées située majoritairement sur la rive sud de l'estuaire moyen du Saint-Laurent. En 2022, les stations de capture se situaient entre l'île aux Coudres en amont et la municipalité de Saint-Germain-de-Kamouraska en aval (figure 1).

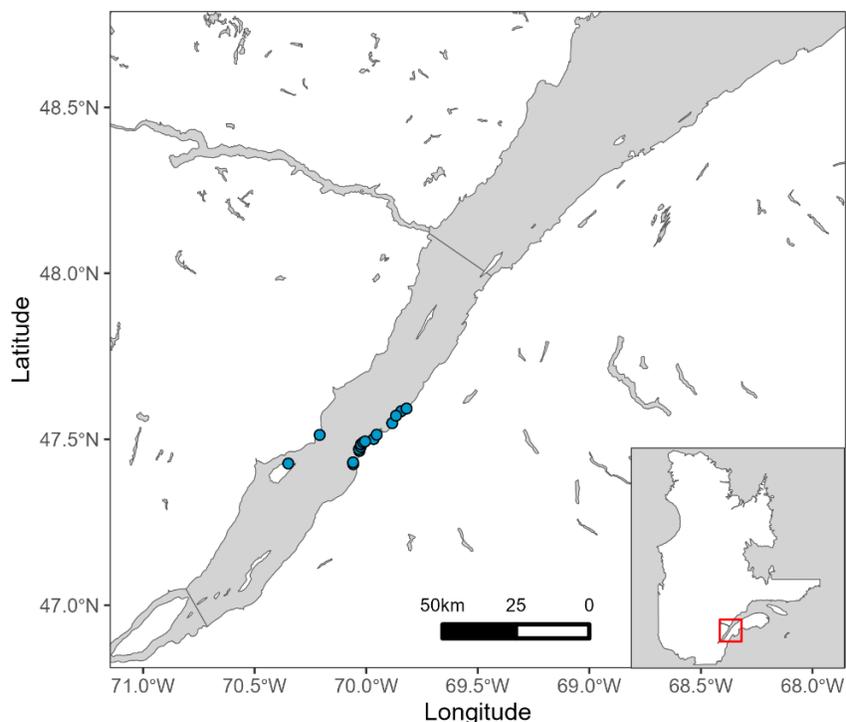


Figure 1. Localisation des sites d'échantillonnage (points bleus) des anguilles argentées dans l'estuaire du Saint-Laurent en 2022.

2.2 Paramètres halieutiques

La trappe fixe représente le seul type d'engin de pêche à l'anguille utilisé dans les eaux à marées du Saint-Laurent en aval de Québec, sur les deux rives du fleuve. Les engins sont mis en place sur l'estran à la fin de l'été ou au début de l'automne et demeurent au même endroit durant toute la saison de pêche, qui se déroule habituellement du début du mois d'août à la mi-novembre. Ceux-ci sont composés d'un guideau (mailles de 3,2 à 5,1 cm) installé de manière perpendiculaire à la rive, qui permet de diriger les poissons vers une trappe de rétention que le pêcheur visite deux fois par jour à marée basse, lorsque les conditions le permettent. La totalité des détenteurs de permis de pêche actifs dans l'aire d'étude en 2022 ont été échantillonnés, et seules les anguilles argentées ont été échantillonnées durant toute la saison de pêche. Bien que les captures totales des pêcheurs commerciaux aient pu être comptabilisées pour la saison de pêche 2022, seules les captures quotidiennes de 9 des 10 pêcheurs actifs ont été suivies dans le but

d'établir la chronoséquence de dévalaison des anguilles argentées dans l'estuaire du Saint-Laurent. Le débarquement total d'anguilles de la pêche, exprimé en tonnes métriques, a été estimé en fonction du nombre d'anguilles capturées et de leur poids moyen, en utilisant l'équation suivante :

$$Dt = \frac{Ac/P}{1000}$$

où :

- Dt* débarquement total (tonnes métriques);
- Ac* nombre total d'anguilles capturées par la pêche commerciale de l'estuaire du Saint-Laurent;
- P* poids moyen (kg) estimé à partir des captures de cinq pêcheurs commerciaux.

Les captures par unité d'effort (CPUE) ont été calculées à partir du débarquement total (kg) divisé par l'effort de pêche (m de tenture). Cet indicateur permet de suivre les fluctuations de rendement de la pêche commerciale au fil des années.

Les travaux de capture-marquage-recapture (CMR) effectués par le ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) ont permis d'estimer le taux d'exploitation des anguilles argentées récoltées par la pêche commerciale à 20 % en 1996 et à 25 % en 1997 dans l'ensemble de l'estuaire du Saint-Laurent (Caron et collab., 2000; Caron et collab., 2003). Pour ce faire, des anguilles argentées en dévalaison ont d'abord été marquées en amont de la zone de pêche commerciale de l'estuaire, soit à Cap-Santé, à l'aide de transpondeurs passifs intégrés (*PIT tags*). L'ensemble des anguilles capturées par les pêcheurs commerciaux de l'estuaire ont ensuite été examinées à l'aide d'un lecteur à main T4S (*Handheld Reader*), dans le but d'estimer le nombre de recaptures. Afin d'estimer le taux d'exploitation, la récolte commerciale totale a été comparée au nombre total d'anguilles argentées en dévalaison, estimé à l'aide de la méthode Peterson regroupée (Seber, 1982; Arnason et collab., 1996). Les travaux de CMR ont été repris en 2010 et 2011, suite à une campagne de rachat de permis de pêche commerciale, ayant fait décliner de 48 % l'effort de pêche déployé en 2009 (MELCCFP, données non publiées). Les taux d'exploitation estimés en 2010 et 2011 ont été établis à 10,5 % et 7,8 %, respectivement (Talbot et collab., 2011; Daigle et Julien, 2012). Plus récemment, le MELCCFP a actualisé l'estimation du taux d'exploitation lors des saisons de pêche de 2020, 2021 et 2022, établissant celui-ci à 4,9 %, 6,1 % et 5,8 %, respectivement (Desbois-Bédard et Daigle, 2020, 2021; Daigle et Emond, 2022). La relation entre le taux d'exploitation moyen et l'effort déployé par les pêcheurs commerciaux, exprimé en mètres de tenture, a été utilisée pour estimer le taux d'exploitation pour les années où il n'y avait pas eu de campagne de CMR (Landry-Massicotte et collab., 2022) :

$$\text{Taux d'exploitation moyen (\%)} = 4,99 + 0,000508 \cdot \text{Effort de pêche (m de tenture)}$$

Considérant qu'il était possible d'estimer l'intervalle de confiance associé aux taux d'exploitation moyens en divisant le nombre d'anguilles capturées lors de la campagne de CMR par les bornes des intervalles de confiance de l'effectif total estimé par différentes méthodes (Daigle et Julien, 2012), trois scénarios ont pu être établis. La borne inférieure des intervalles de confiance (IC 95 %) a été utilisée afin de représenter le scénario optimiste et la borne supérieure afin de représenter le scénario pessimiste. Les formules suivantes ont été utilisées pour estimer les taux d'exploitation dans ces deux scénarios :

$$\text{Taux d'exploitation optimiste (\%)} = 3,29 + 0,000458 \cdot \text{Effort de pêche (m de tenture)}$$

$$\text{Taux d'exploitation pessimiste (\%)} = 8,89 + 0,000532 \cdot \text{Effort de pêche (m de tenture)}$$

2.3 Caractérisation des anguilles en dévalaison capturées dans la pêche

L'effectif total d'anguilles en dévalaison (N) annuellement a été déterminé à l'aide de la récolte commerciale totale (n) et des taux d'exploitation, en utilisant la formule suivante :

$$\text{Nombre total d'anguilles en migration (N)} = \frac{\text{Récolte commerciale (n)} \cdot 100}{\text{Taux d'exploitation (\%)}}$$

L'exercice a été réalisé pour les trois scénarios énumérés précédemment (optimiste, moyen et pessimiste), en remplaçant les valeurs de taux d'exploitation.

Dans le but d'estimer la proportion et l'abondance des anguilles provenant des transferts de 2005-2010 parmi le contingent total en dévalaison dans l'estuaire, un sous-échantillon d'anguilles argentées capturées dans la trappe fixe d'un pêcheur commercial a été récupéré pour analyse en laboratoire (n = 333). Une fois par semaine pendant dix semaines (entre le 11 septembre et le 14 novembre), les quarante premières anguilles argentées capturées par le pêcheur commercial étaient conservées. Les anguilles ont été choisies aléatoirement dans le but de refléter la structure de taille des anguilles récoltées par la pêche commerciale et d'estimer la proportion d'anguilles transférées. Les anguilles ont ensuite été conservées dans un bassin oxygéné avant de procéder à leur euthanasie à l'aide d'une solution d'eugénol (300 mg/L; Hilltech Canada™), puis à leur dissection. Elles ont ensuite été traitées selon le protocole présenté au tableau 1. Les otolithes *sagittae* ont été extraits dans le but d'estimer l'âge des spécimens et de déterminer s'ils provenaient des transferts. L'estimation de l'âge a été réalisée simultanément par deux lecteurs, et certains spécimens ont été rejetés lorsqu'aucun consensus n'était atteint. La technique du craquage-brûlage (ICES, 2011) a été utilisée pour un des deux otolithes de chacun des individus. Lorsque le résultat de la première lecture semblait incertain, la méthode développée par Tardif (2012) a été utilisée afin d'augmenter la précision des lectures. Cette méthode se résume à couler les otolithes dans une résine d'époxy et à les couper transversalement à l'aide d'une scie à révolution lente (IsoMet™) munie d'une lame au diamant, dans le but d'exposer le cœur de l'otolithe. Les tranches d'otolithes ont par la suite été polies et colorées

avec du bleu de toluidine dans le but de faciliter l'estimation de l'âge des spécimens. Préalablement au montage et à la lecture d'âge, les otolithes ont été examinés sous une lampe UV afin de détecter les traces d'oxytétracycline (OTC). Comme l'ensemble des anguilles transférées dans le cadre des programmes québécois et ontarien avaient été préalablement plongées dans une solution d'OTC, la présence de marques d'OTC dans les otolithes permettait de déterminer l'origine de chaque individu (transférées ou naturelles). Ce type de marquage est considéré comme étant sans risque de mortalité pour l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*; Simon et Dörner, 2005) et présentant une efficacité élevée, notamment estimée à 100 % chez la perchaude (*Perca flavescens*) et le doré jaune (*Sander vitreus*; Unkenholz et collab., 1997; Meerbeek, 2018).

Tableau 1. Protocole appliqué au traitement des anguilles récupérées en 2022

1	Mesure du poids à l'aide d'une balance électronique Denver Instrument S-8001 ($\pm 0,1$ g).
2	Mesure de la taille (± 1 mm) prise de l'extrémité de la tête au bout de la queue sur une planche à mesurer graduée en millimètres.
3	Détermination du sexe, prélèvement et dissection de la vessie natatoire pour la détection macroscopique du nématode <i>Anguillicola crassus</i> .
4	Prélèvement d'une paire d'otolithes (<i>sagittae</i>) pour la détermination de l'âge et l'observation sous un binoculaire Leica MZ16F équipé d'un éclairage à fluorescence muni d'un filtre violet Leica (désignation V) pour la détection des marques d'OTC.

3. Résultats

3.1 Paramètres halieutiques

En 2022, 10 pêcheurs d'anguilles étaient actifs dans l'aire d'étude. Ceux-ci ont opéré 17 trappes fixes totalisant 2 918 mètres de tenture, ce qui représente le plus faible effort de pêche observé depuis 2009 (tableau 2). Les mesures de biomasse recueillies chez les pêcheurs commerciaux ont permis d'estimer le poids moyen des anguilles argentées à $1,54 \pm 0,05$ kg. La récolte commerciale dans l'estuaire du Saint-Laurent a été estimée à 10 945 anguilles argentées en 2022 par l'ensemble des pêcheurs, totalisant un débarquement estimé à 16,8 tonnes métriques. Cette biomasse était significativement plus faible que la moyenne de la période 2009-2021 ($19,7 \pm 4,4$ tonnes; test de t; $t_{1,12} = 3,61$; $p = 0,004$). Les captures par unité d'effort (CPUE) étaient de 5,8 kg/m de tenture en 2022, soit une valeur significativement supérieure à la moyenne de la période 2009-2021 située à $4,4 \pm 1,5$ kg/m de tenture (tableau 2; test de t; $t_{1,12} = -3,4$; $p = 0,005$). Une légère tendance à la hausse des CPUE a été observée depuis 2009 (figure 2A; $R^2 = 0,29$; $p = 0,047$). Cette légère augmentation pourrait notamment être liée à la baisse constante de l'effort de pêche (figure 2B; $R^2 = 0,83$; $p < 0,001$) et du nombre de trappes fixes en opération (figure 2C; $R^2 = 0,64$; $p < 0,001$) ainsi qu'à la stabilité des débarquements annuels (figure 2D; $R^2 = 0,17$; $p = 0,143$) observée depuis 2009. L'effort de pêche déployé en 2022 était le plus bas enregistré depuis le début du suivi.

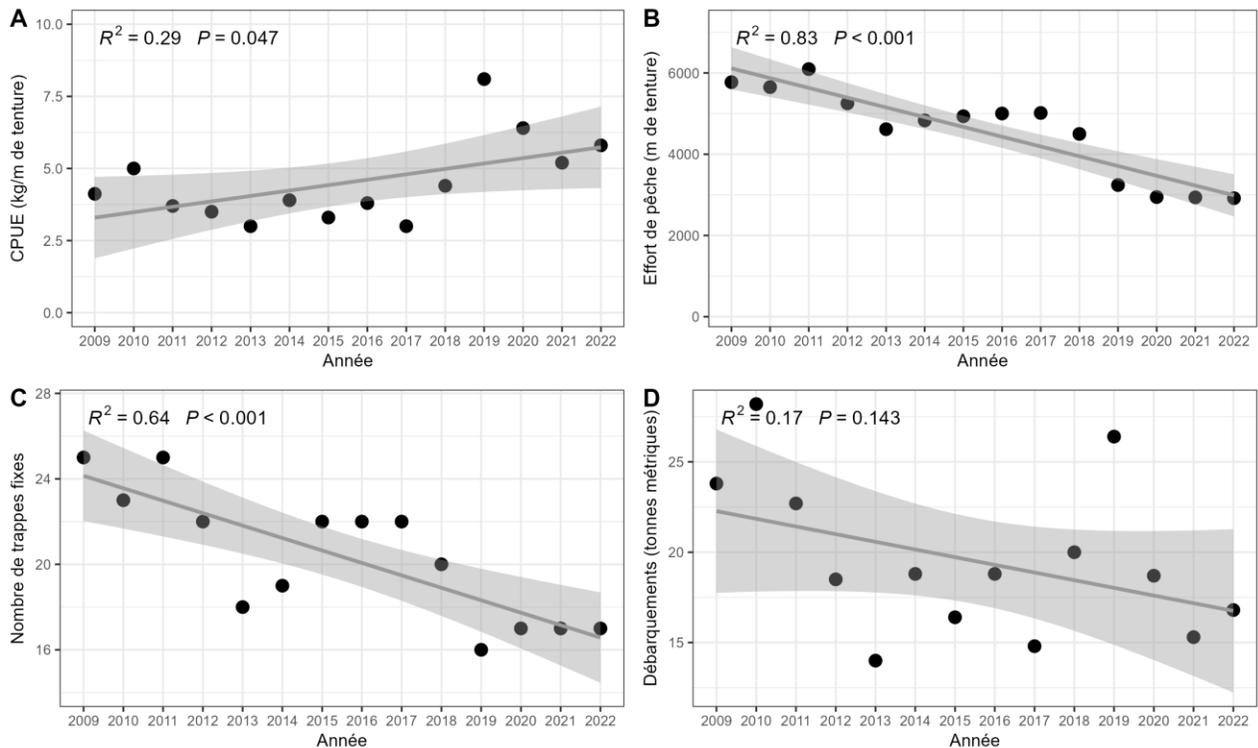


Figure 2. (A) Captures par unité d'effort (CPUE; kg d'anguilles par mètre de tenture), (B) effort de pêche (mètre de tenture), (C) nombre de trappes fixes en opération et (D) débarquements totaux d'anguilles argentées estimés entre 2009 et 2022 dans la pêcherie commerciale de l'estuaire du Saint-Laurent.

Tableau 2. Paramètres halieutiques de la pêche commerciale d'anguilles argentées de 2011 à 2022 dans l'estuaire du Saint-Laurent

Paramètres d'exploitation	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Moyenne 2009-2021 (± é-t)	2022
Effort de pêche total (m de tentures) ¹	5774	5652	6096	5253	4617	4832	4935	5003	5016	4500	3242	2946	2938	4677,2 (± 1037,9)	2918
Trappes fixes (n)	25	23	25	22	18	19	22	22	22	20	16	17	17	20,6 (± 3,0)	17
Pêcheurs actifs (n)	13	14	14	12	11	9	12	12	11	11	10	11	11	11,6 (± 1,5)	10
Débarquement (t)	23,8	28,2	22,7	18,5	14,0	18,8	16,4	18,8	14,8	20,0	26,4	18,7	15,3	19,7 (± 4,4)	16,8
CPUE (kg/m de tenture)	4,1	5	3,7	3,5	3,0	3,9	3,3	3,8	3,0	4,4	8,1	6,4	5,2	4,4 (± 1,5)	5,8

¹ L'effort de pêche correspond à la longueur cumulée de l'ensemble des guideaux déployés, en mètres.

L'effort de pêche déployé par les pêcheurs de l'estuaire du Saint-Laurent en 1996, 1997, 2010, 2011, 2020, 2021 et 2022 était significativement corrélé aux taux d'exploitation mesurés lors de ces saisons de pêche (figure 3). La relation a également été établie à partir des bornes supérieures et inférieures des intervalles de confiance (IC 95%) dans le but d'estimer les taux d'exploitation selon des scénarios pessimistes et optimistes, respectivement (figure 3). Pour les trois scénarios, les taux d'exploitation étaient significativement corrélés à l'effort déployé (figure 3; $p < 0,001$, $R^2 = 0,94$, $0,89$ et $0,92$, respectivement).

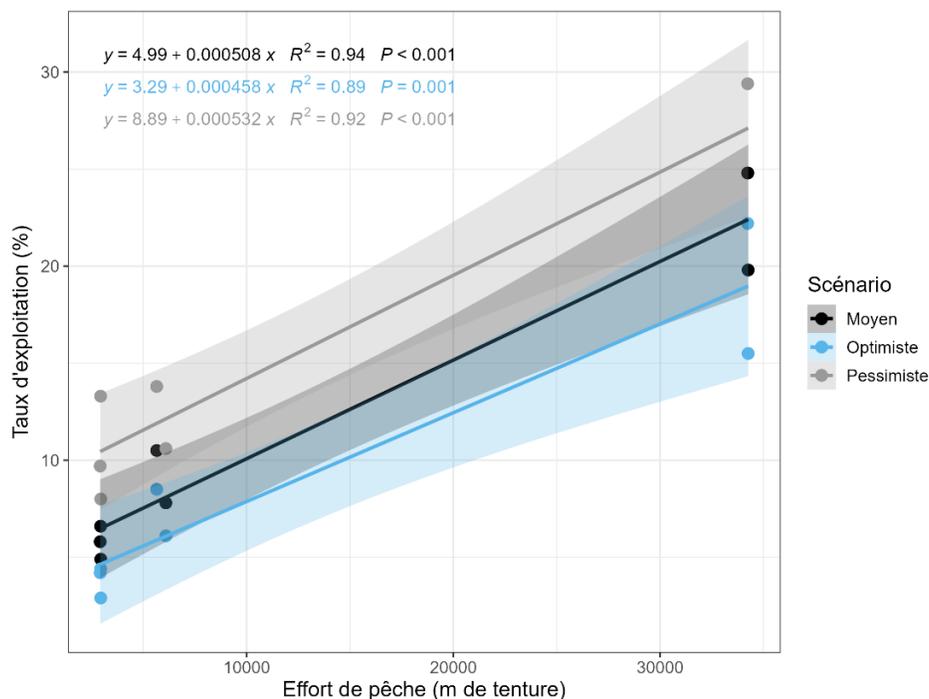


Figure 3. Relation entre l'effort de pêche déployé par les pêcheurs commerciaux de l'estuaire du Saint-Laurent (mètres de tentures des trappes fixes) et le taux d'exploitation (méthode Peterson regroupée) mesuré en 1996, 1997, 2010, 2011, 2020, 2021 et 2022. Trois scénarios sont présentés, soit un scénario optimiste (bleu) prenant en compte la borne inférieure de l'intervalle de confiance (IC 95 %) de l'estimation du taux d'exploitation, un scénario pessimiste (gris) prenant en compte la borne supérieure et un scénario moyen (noir) basé sur l'estimation moyenne du taux d'exploitation.

Lors de la saison de pêche de 2022, certaines trappes étaient effectives dès le 1^{er} septembre, mais l'ensemble des trappes n'ont été effectives qu'à partir du 27^e jour du même mois. Les captures d'anguilles étaient marginales avant la semaine du 9 octobre et ont culminé entre le 19^e et le 22^e jour de ce mois (figure 4). Les trappes ont été maintenues effectives par certains pêcheurs jusqu'au 21 novembre, alors que la majorité d'entre elles ont été retirées avant le 10 novembre. À cette date, 96 % des captures de la saison avaient été réalisées. Une variation temporelle des pics de capture selon les saisons 2020, 2021 et 2022 est observable. En 2020, les captures étaient étalées sur la majorité de la saison, tandis que la saison 2021 a été caractérisée par un pic de capture tardif se manifestant au début de novembre (Doucet-Caron et Dussureault, 2021; Landry-Massicotte et collab., 2022).

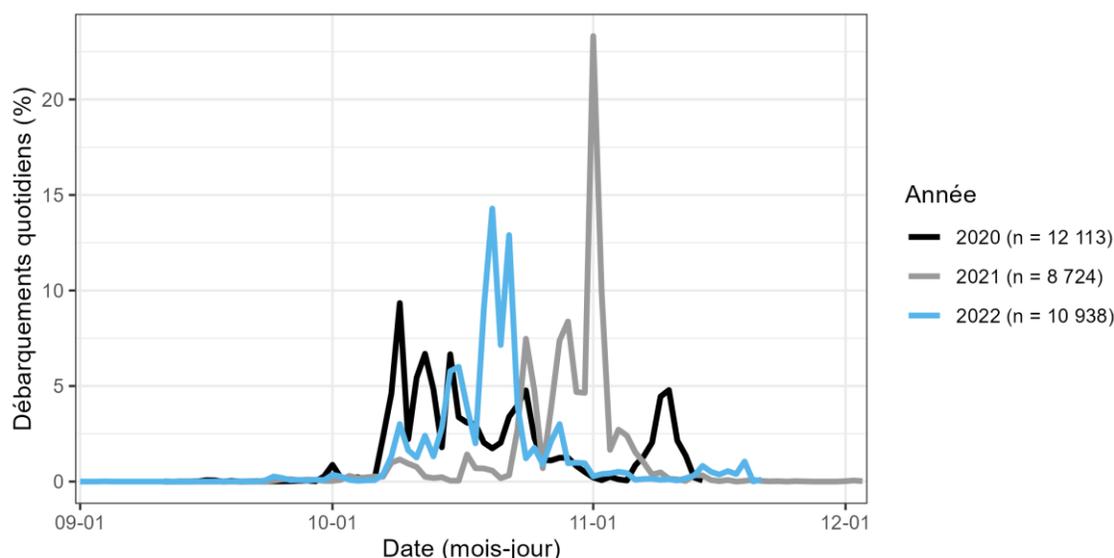


Figure 4. Contribution des captures quotidiennes (%) d'anguilles argentées dans la pêche commerciale de l'estuaire du Saint Laurent en 2020, 2021 et 2022. Les données de 2020, 2021 et 2022 présentées dans cette figure concernent respectivement 9 pêcheurs sur 11, 9 pêcheurs sur 11 et 9 pêcheurs sur 10.

3.2 Caractéristiques des anguilles en dévalaison capturées dans la pêche

Au cours de la saison de pêche de 2022, un sous-échantillon de 333 anguilles a été récolté afin de mesurer leurs caractéristiques morphologiques, leur origine (transférée ou naturelle) et leur âge. L'ensemble des 333 anguilles récupérées dans la pêche entre le 9 septembre et le 14 novembre 2022 étaient des femelles. Sur l'ensemble des anguilles échantillonnées en 2022, les otolithes de 24,3 % des spécimens présentaient des marques d'OTC, indiquant qu'elles provenaient des transferts réalisés entre 2005 et 2010 (tableau 3). En appliquant cette proportion aux 188 707 (112 835 – 260 595) femelles matures qui auraient transité par l'estuaire du Saint-Laurent lors de la migration d'avalaison de 2022, 45 856 (27 419 - 63 325) d'entre elles seraient des représentantes des juvéniles transférées dans le Richelieu et en Ontario au cours de la période 2005-2010. Cette valeur est supérieure à la proportion observée lors de l'année précédente (16,3 %), mais inférieure à celle enregistrée en 2020 (34,5 %).

Tableau 3. Scénario moyen de l'abondance des anguilles en avalaison dans l'estuaire du Saint-Laurent de 2015 à 2022, stratifiée en fonction de leur origine. Les valeurs des taux d'exploitation moyens présentés en italique ont été estimées à partir d'une relation taux d'exploitation–effort de pêche. La même séquence de calcul a été réalisée à partir des estimations de taux d'exploitation optimiste et pessimiste et est présentée entre parenthèses.

Année	Récolte commerciale (n)	Taux d'exploitation moyen (%)	Nombre total d'anguilles en migration	Proportion marquée à l'OTC (%)	Nombre total d'anguilles marquées à l'OTC	Nombre total d'anguilles non marquées
2015	11 347	<i>7,50</i> (5,55 – 11,52)	151 293 (98 537 – 204 442)	10,3	15 589 (10 149 – 21 058)	135 765 (88 388 – 183 384)
2016	12 473	<i>7,53</i> (5,58 – 11,55)	165 610 (107 976 – 223 475)	27,4	45 387 (29 585 – 61 232)	119 807 (78 391 – 162 243)
2017	9 933	<i>7,54</i> (5,59 – 11,56)	131 770 (85 937 – 177 777)	33,5	44 143 (28 789 – 59 555)	87 627 (57 148 – 118 222)
2018	12 751	<i>7,28</i> (5,35 – 11,28)	175 247 (113 001 – 238 292)	30,3	53 100 (34 239 – 72 202)	122 147 (78 761 – 166 089)
2019	16 923	<i>6,64</i> (4,77 – 10,61)	254 982 (159 429 – 354 421)	33,0	84 144 (52 612 – 116 959)	170 838 (106 818 – 237 462)
2020	12 190	<i>4,90</i> (2,9 – 8)	248 776 (152 375 – 420 345)	34,5	85 828 (52 569 – 145 019)	162 948 (99 806 – 275 326)
2021	9 626	<i>6,60</i> (4,4 – 13,5)	145 849 (71 304 – 218 773)	16,3	23 773 (11 623 – 35 660)	122 075 (59 681 – 183 113)
2022	10 945	<i>5,80</i> (4,2 – 9,7)	188 707 (112 835 – 260 595)	24,3	45 856 (27 419 – 63 325)	142 851 (85 416 – 197 271)

Les trois scénarios (optimiste, moyen et pessimiste) ont été élaborés afin d'estimer la trajectoire temporelle du nombre d'anguilles argentées en dévalaison dans l'estuaire moyen depuis 2015 (figure 5). Bien qu'aucun des modèles n'ait été significatif, une tendance à la hausse a été observée entre 2015 et 2022 parmi l'effectif d'anguilles naturelles et l'effectif total des individus en dévalaison (transférés et naturels) d'après les modèles optimiste et moyen. Le modèle pessimiste ne suggérait aucune tendance temporelle.

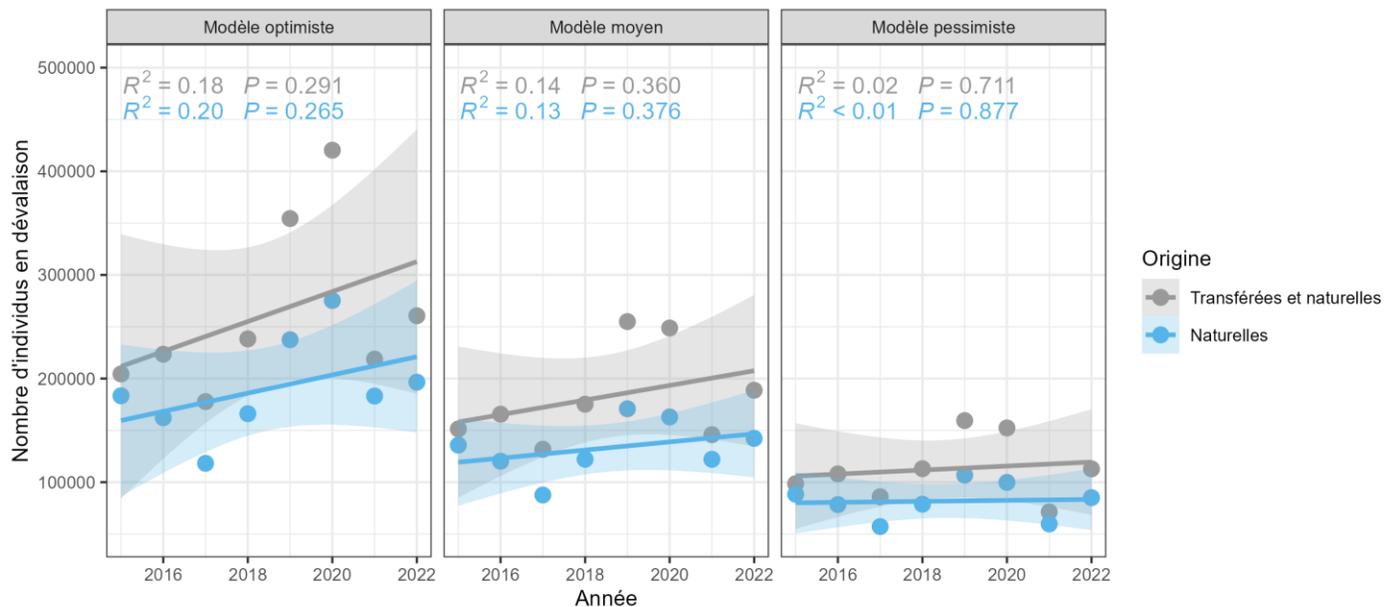


Figure 5. Modèles optimiste, moyen et pessimiste du nombre d'anguilles argentées en dévalaison dans l'estuaire du Saint-Laurent entre 2015 et 2022. La droite, l'intervalle de confiance (IC 95 %) et les points présentés en gris représentent l'abondance totale des anguilles en dévalaison (transférées et naturelles), tandis que ceux présentés en bleu représentent les anguilles d'origine naturelle.

La taille moyenne des anguilles transférées était de $857,6 \pm 125,0$ mm en 2022, soit une valeur légèrement supérieure à celle des anguilles transférées capturées lors de la saison 2021 ($817,2 \pm 114,4$ mm; tableau 4). En 2022, les anguilles transférées étaient significativement plus petites que les individus d'origine naturelle dont la taille moyenne était de $902,9 \pm 94,8$ mm (test de t; $t_{1,332} = -3,02$; $p = 0,003$; figure 6; tableau 4). Les anguilles d'origine naturelle capturées en 2022 montraient un poids moyen de $1\,624,3 \pm 552,8$ g, soit une valeur significativement supérieure à celle des individus provenant des transferts ($1\,451,9 \pm 711,7$ g; test de t; $t_{1,332} = -2,0$; $p = 0,048$). Sur la base des observations réalisées depuis le début du suivi, ces différences morphologiques s'atténuent lentement avec les années.

Tableau 4. Caractéristiques des anguilles argentées échantillonnées dans l'estuaire du Saint-Laurent en 2022

Paramètres	Transférées (n = 81)		Naturelles (n = 252)	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Longueur totale (mm)	857,6	125,0	902,9	94,8
Poids (g)	1451,9	711,7	1624,3	552,8
Âge ¹	13,6	1,3	14,1	2,7

¹ L'estimation de l'âge a été réalisée sur 80 anguilles provenant des transferts et 228 anguilles d'origine naturelle.

Les anguilles provenant des transferts avaient un âge moyen de $13,6 \pm 1,3$ ans en 2022, soit un âge significativement inférieur à celui des anguilles d'origine naturelle âgées en moyenne de $14,1 \pm 2,7$ ans (test de Wilcoxon; $W = 7\,325$; $p = 0,008$). Les anguilles provenant des transferts étaient d'une taille comprise entre 617 et 1 155 mm et âgées de 12 à 17 ans. Les poissons issus du recrutement naturel présentaient des tailles réparties entre 658 et 1 160 mm et âgées entre 7 et 24 ans (figure 6). Les structures d'âge et de taille des deux groupes d'anguilles divergeaient significativement (test de Kolmogorov-Smirnov; $D = 0,23$; $p = 0,004$ et $D = 0,30$; $p < 0,001$, respectivement). En 2022, la proportion d'individus issus de la première année de transferts en 2005 était marginale; elle représentait moins de 2 % des captures totales d'anguilles transférées. Les anguilles provenant des transferts de 2006 et 2007 totalisaient près de 25 % des individus transférés, une proportion similaire à celle observée lors de la saison de pêche de 2021. Les individus transférés en 2008 étaient les plus représentés parmi les anguilles marquées retrouvées dans le sous-échantillon de 2022 (30 %), suivis de près par les individus transférés en 2010 (26 %).

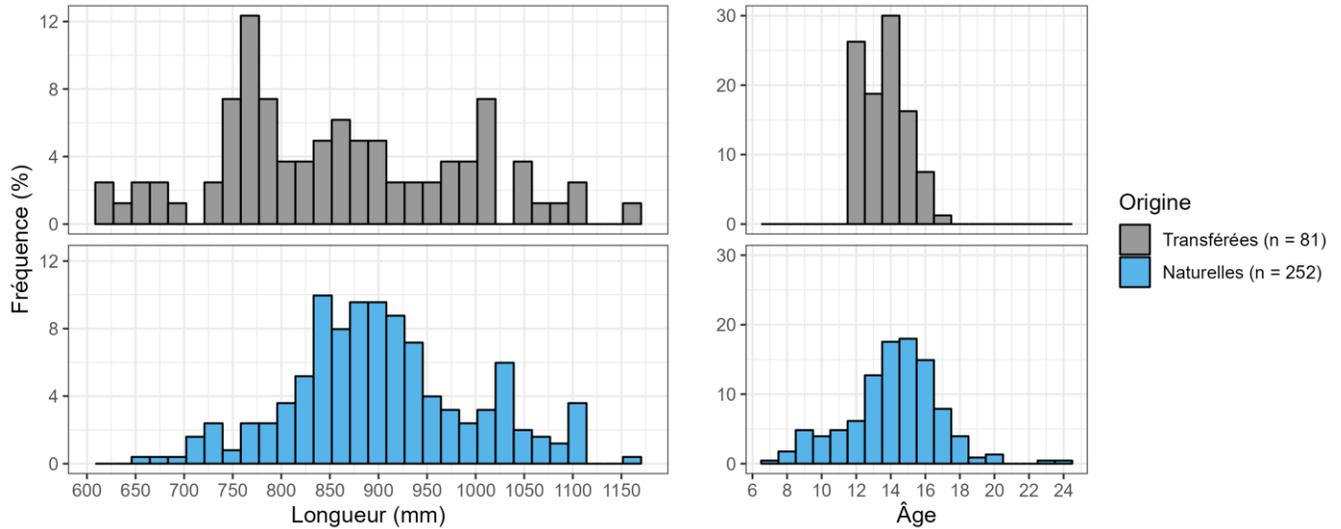


Figure 6. Distribution des fréquences de taille (gauche) et d'âge (droite) des anguilles capturées lors de la caractérisation de la récolte commerciale en 2022, selon leur origine.

Une différence a été observée en 2022 quant à la chronoséquence de la dévalaison des individus d'origine naturelle et transférée (figure 7). Les individus d'origine naturelle ont majoritairement été capturés au début de la saison de pêche, tandis que les individus transférés ont principalement été capturés vers la fin de la saison. En 2022, les individus transférés ont été capturés dans la pêcherie à partir de la semaine du 16 octobre, et leur présence a graduellement augmenté jusqu'à totaliser 90 % des captures lors de la semaine du 14 novembre.

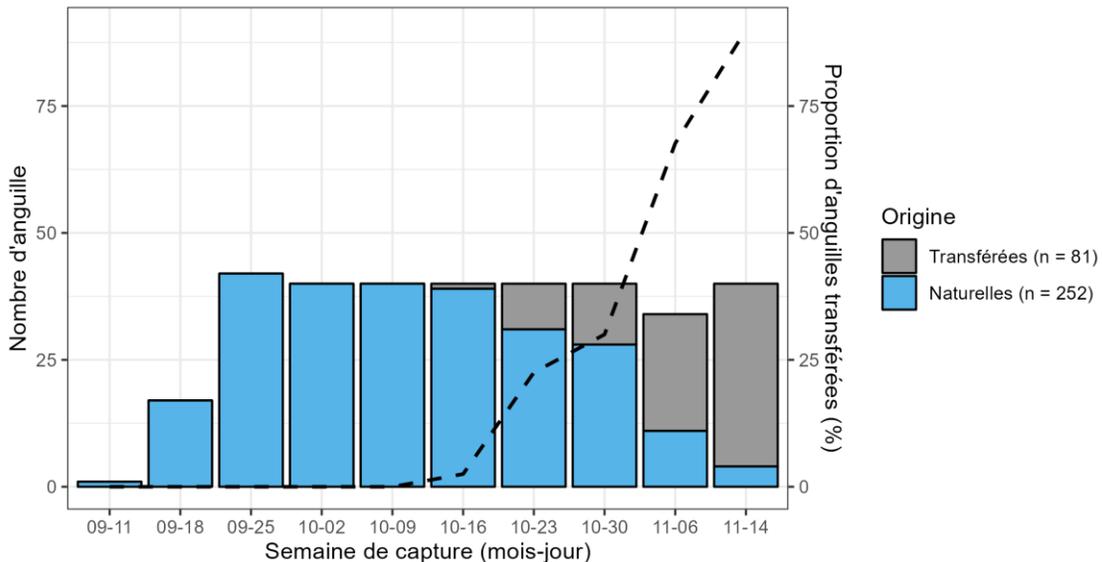


Figure 7. Nombre d'anguilles d'origine naturelle et transférée dans la pêcherie commerciale de l'estuaire du Saint Laurent pour chaque date d'échantillonnage en 2022. La courbe représente l'évolution temporelle de la proportion d'anguilles transférées.

Parmi les 333 anguilles argentées échantillonnées en 2022, le nématode *Anguillicola crassus* a été observé à l'intérieur de la vessie natatoire de 27 spécimens, 5 provenant des transferts et 22 d'origine naturelle. La prévalence du parasite a été estimée à 8,1 % et l'intensité moyenne des infestations à $2,3 \pm 2,4$ parasites par sujet infecté. Il s'agit, en 2022, de la sixième année consécutive au cours de laquelle ce parasite exotique a été observé dans une anguille d'origine naturelle. Bien que la prévalence de l'infestation soit à la hausse, l'intensité de cette dernière reste constante au fil des années.

Tableau 5. Prévalence et intensité de l'infestation d'<i>Anguillicola crassus</i> dans la pêcherie commerciale de l'estuaire de 2015 à 2022				
Année	Naturelles		Transférées	
	Prévalence (%)	Intensité (nombre moyen par sujet \pm écart-type)	Prévalence (%)	Intensité (nombre moyen par sujet \pm écart-type)
2015	0,0	0,0	0,3	1,0 \pm 1,0
2016	0,0	0,0	0,9	10,3 \pm 6,1
2017	0,8	1,3 \pm 0,6	0,8	2,0 \pm 1,0
2018	0,3	2,0	1,0	11,0 \pm 17,3
2019	0,7	3,0	1,4	9,5 \pm 12,0
2020	2,3	1,3 \pm 0,6	3,1	3,0 \pm 1,4
2021	2,6	1,0	1,1	3,0 \pm 1,4
2022	6,6	2,0 \pm 2,0	1,5	3,8 \pm 3,7

4. Discussion

4.1 Paramètres halieutiques

Dix pêcheurs actifs opérant 2 918 mètres de tentures dans l'estuaire du Saint-Laurent en 2022 ont capturé 16,8 tonnes d'anguilles, une valeur significativement inférieure à la moyenne de la période 2009-2021. Les CPUE de 2022 étaient quant à elles significativement supérieures à la moyenne de la période 2009-2021, mais inférieures à celles de 2019 et de 2020. Une diminution marquée de l'effort de pêche a été observée de 2007 à 2009, en lien avec les différents programmes de rachat de permis de pêche commerciale. Il demeure que cette tendance à la baisse est toujours perceptible de 2009 à 2022. Celle-ci serait notamment attribuable au vieillissement des pêcheurs commerciaux, à la diminution de l'engouement pour la pratique de cette activité et à la difficulté d'identifier une relève active au sein de la communauté de pêcheurs. La diminution constante du nombre de trappes et de la longueur totale de tentures a pu contribuer à l'augmentation des CPUE moyens des trappes résiduelles. Il est plausible que les pêcheurs aient conservé les trappes les plus efficaces après le programme de rachat et que les captures d'anguilles, anciennement réparties dans l'ensemble des trappes, se concentrent dorénavant dans les trappes résiduelles. Une analyse connexe au présent rapport mettant en relation le nombre de captures, l'effort déployé en mètres de tentures et la hauteur de la marée haute précédant la levée a permis de confirmer la stabilité du nombre d'individus capturés depuis 2009 (données non présentées). La constante diminution de l'âge moyen des anguilles argentées d'origine naturelle à la migration pourrait avoir contribué à la légère diminution des débarquements des pêcheurs commerciaux (Verreault et collab., 2017; Lecomte et collab., 2018). Ces constats sont similaires à ceux proposés dans la méta-analyse de Cornic et collab. (2021), qui suggèrent une stabilité de l'abondance des anguilles argentées en dévalaison dans l'estuaire du Saint-Laurent depuis 2000.

Bien que les trappes soient généralement installées avant le début du mois de septembre, les captures importantes d'anguilles ne débutent habituellement qu'à la fin de ce mois (Verreault, 2019; Doucet-Caron et Dussureault, 2021; Landry-Massicotte et collab., 2022). En 2022, les captures d'anguilles ont été majoritairement concentrées en octobre, tandis qu'elles ont été plus tardives en 2021 et plus hâtives en 2020. Plusieurs auteurs ont démontré l'influence des facteurs abiotiques dans la chronologie des pics de migration chez les anguilles de l'Atlantique (Verreault et collab., 2012; Cullen et McCarthy, 2003; Durif, 2003). L'ampleur des captures est aussi fonction du nombre de trappes effectives, pouvant partiellement expliquer pourquoi le pic de capture varie entre les années. Comme le moment de l'installation des trappes varie entre les pêcheurs en fonction de l'ampleur des marées et de la main-d'œuvre disponible, la période où la pression de pêche est à son maximum et la durée de la saison de pêche varient entre les années. À titre comparatif, la saison de pêche fut plus courte en 2022 qu'en 2021, année où certaines trappes sont restées effectives jusqu'à la fin de novembre en raison des températures clémentes (Landry-Massicotte et collab., 2022).

4.2 Caractérisation des anguilles en dévalaison capturées dans la pêcherie

Contrairement à ce qui était attendu, la proportion d'anguilles transférées dans la pêcherie en 2022 (24,3 %) n'a pas diminué comparativement à l'année précédente (16,3 %). Ce constat soulève des questionnements quant à l'incidence des facteurs abiotiques (hauteur de la marée haute précédant la levée, température et force et direction des vents) sur l'efficacité des trappes fixes de pêche à l'anguille, pouvant avoir eu influence sur l'abondance des captures tard en saison et par le même fait sur la proportion d'anguilles transférées capturée par les pêcheurs. Soulignons toutefois que l'échantillonnage réalisé en 2022 s'est déroulé sur dix semaines en comparaison à sept semaines en 2021. Considérant que les anguilles transférées sont reconnues pour migrer majoritairement en fin de saison (Verreault 2019; Doucet-Caron et Dussureault, 2021; Landry-Massicotte et collab., 2022), en raison possiblement de la grande distance qui sépare les sites de transfert et l'estuaire du Saint-Laurent (Hodson et collab., 1994), il est plausible que celles-ci n'aient été que partiellement représentées en 2021. En 2022, la proportion élevée d'individus provenant des transferts de 2008 serait probablement attribuable au fait que 65,6 % des civelles ont été transférées lors de cette année (Verreault et collab., 2010; Pratt et Threader, 2011; Stacey et collab., 2015). Comme en 2021, la proportion élevée d'individus marqués provenant des transferts de 2010 (26 %), couplée au faible effectif de civelles transférées en 2010 (143 000 ou 3,4 % des transferts totaux de la période 2005-2010), pourrait suggérer une diminution progressive de l'effectif d'anguilles transféré dans les prochaines années. Néanmoins, puisque l'occurrence des individus transférés dans la pêcherie peut être influencée par des facteurs indépendants des efforts de transfert, notamment par le recrutement naturel et le taux de survie, il est difficile de prédire l'évolution de la proportion des individus transférés en dévalaison.

L'élaboration de modèles pessimiste, moyen et optimiste aura permis en 2022 de comparer les trajectoires temporelles les plus probables de l'ensemble du stock reproducteur et des anguilles d'origine naturelle en dévalaison dans l'estuaire. Bien qu'ils ne soient pas soutenus statistiquement, les modèles optimiste et moyen suggèrent une tendance à la hausse des anguilles naturelles en dévalaison dans l'estuaire, tandis que le modèle pessimiste suggère une stabilité de l'abondance du stock d'anguilles argentées de l'estuaire depuis 2015. Une tendance à l'augmentation légèrement plus prononcée de l'effectif total du stock en dévalaison a également été observée lorsque les anguilles issues des transferts étaient considérées dans les modèles. Bien qu'il soit actuellement impossible de juger de la réelle influence des transferts d'anguille sur le recrutement observé lors des années subséquentes, les résultats de la présente étude suggèrent que les transferts d'anguilles ont permis de bonifier le potentiel reproducteur en provenance du système Saint-Laurent.

La prévalence du parasite *Anguillicola crassus* est en constante augmentation depuis le début du présent suivi en 2015. L'examen visuel des vessies natatoires a révélé que la prévalence du parasite atteignait 8,1 % des anguilles sous-échantillonnées en 2022, dont 6,6 % étaient d'origine naturelle. Bien que la

prévalence ait été plus élevée chez les individus d'origine naturelle en 2022, l'intensité moyenne de l'infestation était plus élevée chez les individus provenant des transferts ($3,8 \pm 3,7$ parasites par anguille infectée comparativement à $2,0 \pm 2,0$ parasites par anguille infestée chez les individus issus des transferts et d'origine naturelle, respectivement). Les vessies natatoires d'un sous-échantillon d'anguilles récolté dans la pêcherie commerciale du lac Saint-Pierre en 2020 et 2021 ont été examinées visuellement afin de déterminer la prévalence du parasite dans ce secteur. Des prévalences estimées à 0,0 % en 2020 et 0,7 % en 2021 ont été observées. Un échantillon complémentaire d'anguilles récoltées à la pêche électrique en 2022 au lac Saint-Pierre a été analysé visuellement et par amplification en chaîne par polymérase (PCR) des vessies natatoires. Les deux analyses combinées ont révélé que la prévalence du parasite était de 47,5 % (19 individus positifs sur 40; Philippe Brodeur, biologiste, comm. pers.). Ces résultats suggèrent que la proportion d'individus affectés dans ce plan d'eau est élevée et qu'une validation par PCR est souhaitable dans le but de déterminer si les anguilles sont infectées par le nématode et si elles l'ont été dans le passé, tel que le révèle l'analyse PCR. Bien qu'*Anguillicola crassus* puisse entraîner des dommages physiologiques (Dezfuli et collab., 2021), son impact réel sur la dynamique du stock d'anguilles d'Amérique du Saint-Laurent demeure inconnu. Il demeure néanmoins important de mentionner que ce parasite est présent depuis longtemps en Asie et que l'anguille japonaise (*Anguilla japonica*) aurait coévolué avec ce dernier et s'y serait vraisemblablement adaptée (Moravec et Taraschewski, 1988; Knopf, 2006).

5. Conclusion

Bien que les transferts n'aient pas été réalisés dans le but de soutenir l'exploitation commerciale, les anguilles issues des transferts de 2005-2010 représentent une proportion importante de la récolte annuelle depuis 2016. Pour la saison 2022, l'estimation de 45 856 (27 418 - 63 325) anguilles transférées en dévalaison surpasse notamment la capture de 10 945 anguilles durant la récolte commerciale. L'ajout de plusieurs milliers d'anguilles transférées au contingent de femelles reproductrices en migration représente un gain de productivité significatif pour les anguilles provenant du système Saint-Laurent, composé exclusivement de femelles. L'effectif annuel d'anguilles en dévalaison montre une stabilité ou, au mieux, une légère tendance à la hausse depuis 2015. Toutefois, l'abondance d'anguilles argentées d'origine naturelle provenant du bassin du Saint-Laurent s'établissait en 2022 à 142 851 (125 382 – 161 289) individus représentant 31,6 % (27,7 – 35,7) de l'effectif de cette même population estimé en 1996-1997 (452 000 individus; Caron et collab., 2003). Malgré le fait que le déclin de l'anguille semble s'être arrêté, les abondances récentes ne constituent qu'une faible proportion de celles observées historiquement. Une baisse notable de l'abondance des anguilles en montaison a d'ailleurs été observée depuis 2008 au principal site de suivi du recrutement déployé à la centrale de Beauharnois (Verreault et collab., 2014). Bien qu'une légère hausse de l'abondance des anguilles juvéniles en montaison ait été observée à cette passe migratoire entre 2017 et 2022, l'effectif en montaison se maintient bas, laissant présager un avenir incertain quant à la capacité du stock à se rétablir.

6. Références bibliographiques

- Arnason, A.N., C.W. Kirby, C.J. Schwarz et J.R. Irvine. 1996. Computer analysis of data from stratified mark-recovery experiments for estimation of salmon escapements and other populations. *Canadian technical report of fisheries and aquatic sciences*, 36 pages.
- Caron, F., P. Dumont, Y. Mailhot et G. Verreault. 2007. L'anguille au Québec, une situation préoccupante. *Le Naturaliste Canadien*. 131(1) : 59–66.
- Caron, F., G. Verreault et E. Rochard. 2000. Estimation du nombre d'anguilles d'Amérique (*Anguilla rostrata*) quittant le bassin versant du Saint-Laurent et de son taux d'exploitation. Société de la faune et des parcs du Québec. 45 p.
- Caron, F., G. Verreault et É. Rochard. 2003. Estimation of the Population size, Exploitation Rate, and Escapement of Silver-Phase American eels in the St. Lawrence Watershed. Pages 235-242 dans D.A. Dixon (dir.), *Biology, Management, and Protection of Catadromous Eels*, American Fisheries Society Symposium 33 Bethesda, Maryland.
- COSEPAC. 2012. Évaluation et rapport de situation du COSEPAC sur l'anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*) au Canada. Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. Ottawa. xiii + 127 pages.
- Cornic, M., X. Zhu et D. K. Cairns. 2021. Cadre d'évaluation de l'anguille d'Amérique à l'échelle du stock : examen des tendances et approches en matière d'évaluation. Secrétariat canadien de consultation scientifique du MPO. Document de recherche. 2021/032. xi + 81 p.
- Cullen, P. et T. K. McCarthy. 2003. Hydrometric and Meteorological Factors Affecting the Seaward Migration of Silver eels (*Anguilla anguilla*, L.) in the Lower River Shannon. *Environmental Biology of Fishes*. 67: 349–357.
- Daigle, G., et D. Emond. 2022. Estimation du nombre d'anguilles d'Amérique en migration d'avalaison et de leur taux d'exploitation par la pêche commerciale dans l'estuaire du Saint-Laurent en 2022. Service de consultation statistique, Université Laval, 11 p.
- Daigle, G., et A.-S. Julien. 2012. Estimation du nombre d'anguilles d'Amérique en migration d'avalaison dans l'estuaire du Saint-Laurent et de son taux d'exploitation par la pêche commerciale en 2011. Service de consultation statistique, Université Laval, 17 p.
- Desbois-Bédard, L., et G. Daigle. 2021. Estimation du nombre d'anguilles d'Amérique en migration d'avalaison et de leur taux d'exploitation par la pêche commerciale dans l'estuaire du Saint-Laurent en 2020. Service de consultation statistique, Université Laval, 11 p.
- Desbois-Bédard, L., et G. Daigle. 2022. Estimation du nombre d'anguilles d'Amérique en migration d'avalaison et de leur taux d'exploitation par la pêche commerciale dans l'estuaire du Saint-Laurent en 2021. Service de consultation statistique, Université Laval, 11 p.

- Dezfuli, B. S., C. Maestri, M. Lorenzoni, A. Carosi, B. J. Maynard et G. Bosi. 2021. The impact of *Anguillicoloides crassus* (Nematoda) on European eel swimbladder: histopathology and relationship between neuroendocrine and immune cells. *Parasitology*. 148(5) : 612-622.
- Doucet-Caron, J., et J. Dussureault. 2021. Estimation de l'abondance et des caractéristiques des anguilles d'Amérique provenant desensemencements dans la pêche de l'estuaire du Saint-Laurent en 2020, Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la gestion de la faune du Bas-Saint-Laurent, 12 p.
- Durif, C. 2003. La migration d'avalaison de l'anguille européenne *Anguilla anguilla* : caractérisation des fractions dévalantes, phénomène de migration et franchissement d'obstacles. Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse.
- Hodson, P., M. Castonguay, C. Couillard, C. Desjardins, E. Pelletier et R. McLeod. 1994. Spatial and temporal variations in chemical contamination of American Eels, *Anguilla rostrata*, captured in the estuary of the St. Lawrence River. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 51 : 464-478.
- ICES. 2011. Report of the Workshop on Age Reading of European and American Eel (WKAREA2), 22-24 mars 2011, Bordeaux, France, ICES CM 2011/ACOM, 43 : 35 p.
- Knopf, K., 2006. The swimbladder nematode *Anguillicola crassus* in the European eel *Anguilla anguilla* and the Japanese eel *Anguilla japonica*: Differences in susceptibility and immunity between a recently colonized host and the original host. *Journal of Helminthology*. 80 : 129-136.
- Landry-Massicotte, L., J. Doucet-Caron et J. Dussureault, 2022. Estimation de l'abondance et des caractéristiques des anguilles d'Amérique (*Anguilla rostrata*) provenant desensemencements dans la pêche commerciale de l'estuaire du Saint-Laurent en 2021, Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la gestion de la faune du Bas-Saint-Laurent. 20 p.
- Lecomte, F., G. Verreault, T. C. Pratt, Stanley D., S. Schlueter et P. Jacobson. 2018. Changes in American eel age structure and length at silvering in the St. Lawrence Estuary since 45yrs. International Association for Great Lakes Research (IAGRL) conference.
- Meerbeek, J. R. 2018. Marking Walleye with Oxytetracycline in Clear Lake, Iowa Department of Natural Resources, 27 p.
- Moravec, F., and H. Taraschewski. 1988. Revision of the genus *Anguillicola Yamaguti, 1935 (Nematoda, Anguillicolidae)* of the swim bladder of eels, including descriptions of 2 new species, *Anguillicola novaezelandiae* sp-n and *Anguillicola papernai* sp-n. *Folia Parasitologica*. 35 : 125-146.
- Pratt, T. C., et R. W. Thresher. 2011. Preliminary evaluation of a large-scale American eel conservation stocking experiment. *North American Journal of Fisheries Management*. 31(4) : 619-628.
- Seber, G. A. F. 1982. The estimation of animal abundance and related parameters, 2^e éd., Charles Griffin, London, 654 p.

- Simon, J., et H. Dorner. 2005. Marking the European eel with oxytetracycline, alizarin red and coded wire tags: an evaluation of methods. *Journal of Fish Biology*. 67(5) : 1486-1491.
- Stacey, J. A., T. Pratt, G. Verreault et M. G. Fox. 2015. A caution for conservation stocking as an approach for recovering Atlantic eels. *Aquatic Conservation, Marine and Freshwater Ecosystem*. 25(4) : 569-580.
- Talbot, D., G. Daigle et L.-P. Rivest. 2011. Estimation du nombre d'anguilles d'Amérique en migration d'avalaison dans l'estuaire du Saint-Laurent et de son taux d'exploitation par la pêche commerciale en 2010. Service de consultation statistique, Université Laval, 32 p.
- Tardif, R. 2012. Procédure de préparation et de montage des otolithes d'anguille. Version 2. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'expertise Faune-Forêts-Territoire, Direction générale du Bas-Saint-Laurent. 23 p.
- Unkenholz, E. G., M. L. Brown et K. L. Pope. 1997. Oxytetracycline Marking Efficacy for Yellow Perch Fingerlings and Temporal Assays of Tissue Residues. *The Progressive Fish-Culturist*. 59 : 280-284.
- Verreault, G. 2019. Estimation de l'abondance des anguilles d'Amérique provenant des ensemencements dans la pêcherie de l'estuaire du Saint-Laurent en 2019. Guy Verreault – Expertises scientifiques. 20 p.
- Verreault, G. et P. Dumont. 2003. An estimation of American eel escapement from the Upper St. Lawrence River and Lake Ontario in 1996 and 1997, 243-251, D.A. Dixon (dir.), *Biology, Management, and Protection of Catadromous Eels*, American Fisheries Society Symposium, 33 Bethesda, Maryland.
- Verreault, G., M. Mingelbier et P. Dumont. 2012. Spawning migration of American eel *Anguilla rostrata* from pristine (1843-1872) to contemporary (1963-1990) periods in the St Lawrence Estuary, Canada. *Journal of Fish Biology*. 81 : 387-407.
- Verreault, G., P. Dumont, J. Dussureault et R. Tardif. 2010. First record of migrating American eels (*Anguilla rostrata*) in the St. Lawrence Estuary originating from a stocking program. *Journal of Great Lakes Research*. 36 : 794-797.
- Verreault, G., J. Schlueter, P. Jacobson, T. C. Pratt, F. Lecomte et D. Stanley. 2017. Modification in American eel (*Anguilla rostrata*) age structure and length at silvering in the St. Lawrence Estuary since the last 45 years. 1st North American Eel Science Symposium, Cornwall, Canada.
- Verreault, G., R. Tardif et M. Tremblay. 2014. Structure en âge des anguilles d'Amérique (*Anguilla rostrata*) en montaison aux passes migratoires de Beauharnois et de Chambly en 2009, 2011 et 2013. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la gestion de la faune du Bas-Saint-Laurent. Rivière-du-Loup. 33 p.

**Environnement,
Lutte contre
les changements
climatiques,
Faune et Parcs**

Québec 