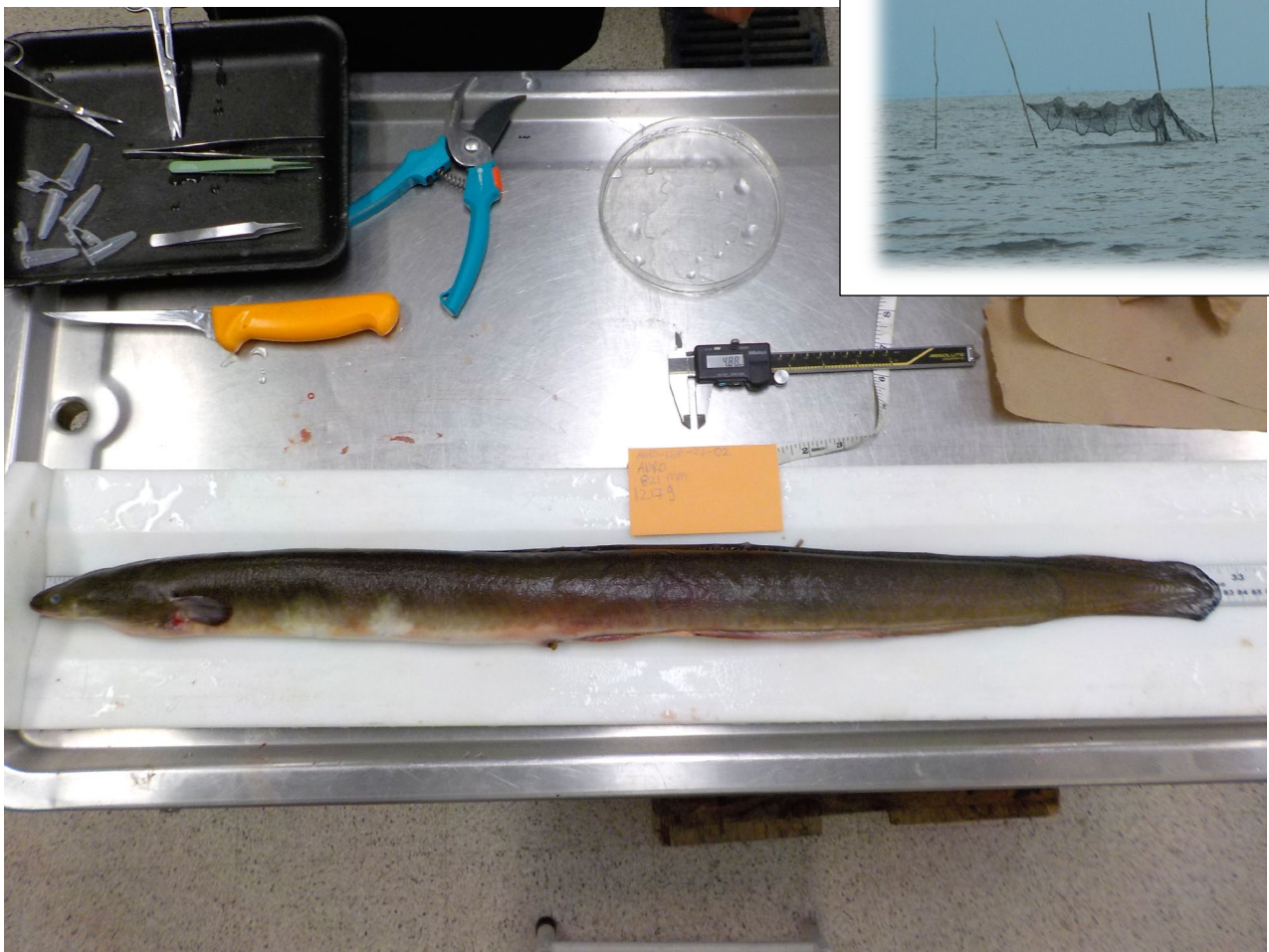


# Caractérisation de la récolte commerciale d'anguilles d'Amérique (*Anguilla rostrata*) au lac Saint-Pierre et dans le secteur pont Laviolette–île d'Orléans en 2020 et en 2021 et analyse des débarquements de la période 1986-2023

Janvier 2025



**Coordination et rédaction**

Cette publication a été réalisée par la Direction de la gestion de la faune de la Mauricie et du Centre-du-Québec du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP).

**Renseignements**

Téléphone : 418 521-3830  
1 800 561-1616 (sans frais)

Formulaire : [www.environnement.gouv.qc.ca/formulaires/renseignements.asp](http://www.environnement.gouv.qc.ca/formulaires/renseignements.asp)

Internet : [www.environnement.gouv.qc.ca](http://www.environnement.gouv.qc.ca)

Dépôt légal – 2025

Bibliothèque et Archives nationales du Québec  
ISBN 978-2-555-00222-7 (PDF)

Tous droits réservés pour tous les pays.  
© Gouvernement du Québec – 2025

## Résumé

L'anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*) a connu un déclin dans le fleuve Saint-Laurent et le lac Ontario depuis le milieu des années 1980. L'espèce est exploitée commercialement au Québec, notamment au lac Saint-Pierre (LSP) et dans le tronçon du fleuve Saint-Laurent situé entre le pont Laviolette et l'île d'Orléans (PLIO). En 2020 et en 2021, des échantillonnages d'anguilles provenant de cette pêcherie ont été réalisés afin de caractériser la récolte. Les débarquements commerciaux de 1986 à 2023 ont aussi été analysés et le taux d'exploitation annuel du stock d'anguilles reproductrices par la pêcherie du secteur LSP-PLIO au cours de la période 1996-2022 a été estimé. Les tailles, les masses et les âges des anguilles échantillonnées, qui étaient toutes des femelles, ne montraient aucune différence significative entre les années et se situaient entre 541 et 1 156 mm, 251 et 4 084 g et 5 et 19 ans. Les anguilles sexuellement matures, dites « migrantes » et identifiées à l'aide de l'indice gonado-somatique, étaient âgées de 8 à 19 ans et présentaient une taille et une masse moyennes plus élevées que les anguilles immatures dites « résidentes ». L'âge, la taille et la masse à maturité (probabilité de 50 %) ont été estimés à 15 ans, 953 mm et 1 750 g pour les deux années confondues. En se basant sur les courbes de captures à l'âge, le taux de disparition totale annuelle en 2020-2021 a été estimé à 29,7 % pour les deux stades de développement confondus, et à 31,9 % chez les anguilles résidentes spécifiquement. Les débarquements commerciaux annuels d'anguilles dans les deux secteurs, sans distinction, ont atteint un maximum de 143,4 tonnes en 1990 (environ 145 000 anguilles), avant de décliner de 80 % à 90 % pour se maintenir entre 13,5 et 21,2 tonnes (de 14 000 à 21 000 anguilles) de 2016 à 2022. Ce déclin est attribuable à une diminution de l'abondance de l'espèce, combinée à des programmes de rachat de permis de pêche commerciale au LSP qui ont fait passer le nombre de verveux autorisés dans ce secteur de 2 100 en 1986 à 300 en 2008, ainsi qu'à une diminution récente de la pression de pêche dans le secteur PLIO indépendamment des modalités de pêche. La proportion de la biomasse d'anguilles migrantes dans la récolte commerciale de 2020-2021 aurait été de l'ordre de 24 %. La présence des anguilles migrantes dans la récolte se serait répartie tout au long de la saison de pêche, qui se déroule d'avril à novembre, avec une concentration plus élevée d'individus durant les mois d'août et septembre. Le taux d'exploitation attribuable au prélèvement d'anguilles migrantes, calculé par rapport au contingent d'anguilles qui atteint l'estuaire moyen du Saint-Laurent, aurait été en moyenne de 2,7 % (1,9–4,1 %) de 1996 à 2008 pour ensuite diminuer et atteindre 1,3 % (0,7–3,0 %) de 2016 à 2022. Le taux d'exploitation attribuable précisément au prélèvement d'anguilles résidentes, qui composent 76 % de la biomasse récoltée annuellement, était de 3 à 8 fois plus élevé que le taux lié au prélèvement d'anguilles migrantes. L'impact de l'exploitation des anguilles résidentes sur le stock d'anguilles reproductrices dans le système Saint-Laurent se ferait ressentir à retardement sur une période pouvant atteindre 14 ans. Le taux d'exploitation cumulatif des anguilles, aux deux stades de développement sans distinction, s'élevait en moyenne à 16,5 % (13,0–22,0 %) au cours de la période 2000-2008 et aurait diminué pour atteindre 7,7 % (5,2–13,0 %) de 2020 à 2022. Les programmes de rachat auraient donc contribué à réduire le taux d'exploitation de 57 %. Ces informations essentielles à la modélisation de la dynamique du stock d'anguilles du Saint-Laurent pourront être intégrées aux prochains plans d'action visant le rétablissement de l'espèce.

---

Paquin, É et P. Brodeur. 2025. Caractérisation de la récolte commerciale d'anguilles d'Amérique (*Anguilla rostrata*) du lac Saint-Pierre et du secteur pont Laviolette-île d'Orléans en 2020 et en 2021 et analyse des débarquements de la période 1986-2023. Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs, Direction de la gestion de la faune de la Mauricie et du Centre-du-Québec. 34 pages.

---

# Abstract

The American eel (*Anguilla rostrata*) has declined in the St. Lawrence River and Lake Ontario since the mid-1980s. The species is commercially exploited in Lake Saint-Pierre (LSP) and in the section of the St. Lawrence River located between the Laviolette bridge and Île d'Orléans (PLIO). In 2020 and 2021, eels were sampled to characterize the commercial harvest. Commercial landings from 1986 to 2023 were analyzed and the annual exploitation rate of outmigrating eels produced in the St. Lawrence system was estimated over the 1996-2022 period. The size, weight and age of the sampled eels, which were all females, showed no significant differences between years and ranged from 541 to 1 156 mm, 251 to 4 084 g and 5 to 19 years. Sexually outmigrant eels, identified using the gonadosomatic index, were 8 to 19 years old and had a larger mean size and weight than immature resident eels. Age, size and weight at maturity (50 % probability) were estimated at 15 years, 953 mm and 1 750 g, both years combined. Based on catch curves, the total annual disappearance rate was estimated at 29.7 %, all life stages combined, and at 31.9 % for resident eels. Annual commercial landings in both sectors combined peaked at 143.4 tonnes in 1990 (approximately 145,000 eels) before declining by 80 to 90% to remain between 13.5 and 21.2 tonnes (14,000 to 21,000 eels) from 2016 to 2022. This decline could be caused by a decrease in the abundance of the species combined with commercial fishing licence buybacks in the LSP, which reduced the number of fyke nets authorized in this area from 2,100 in 1986 to 300 in 2008. A recent decrease of the fishing pressure in the PLIO sector regardless of fishing regulation was also observed. The proportion of outmigrating eels biomass in the 2020-2021 commercial harvest was estimated at 24 %. Their presence in the harvest would have been distributed throughout the fishing season, which runs from April to November, with a higher concentration of outmigrating individuals during August and September. The harvest rate of outmigrating eels, calculated in relation to the number of eels reaching the St. Lawrence middle estuary, was on average 2.7 % (1.9–4.1 %) from 1996 to 2008 and decreased to 1.3 % (0.7–3.0 %) from 2016 to 2022. The resident eels harvest rate, which represent 76 % of the biomass harvested annually, was 3 to 8 times higher than the harvest rate of outmigrating eels. Harvesting resident eels would influence the adult stock produced from the St. Lawrence system up to 14 years after capture. The cumulative harvest rate, both resident and outmigrating eels combined, was on average 16.5 % (13.0–22.0 %) during the period 2000–2008 and decreased to a mean of 7.7 % (5.2–13.0 %) between 2020 and 2022. The buyback programs therefore contributed to reduce the exploitation rate by 57 %. This information is essential for modeling the dynamics of the St. Lawrence eel stock and therefore should be integrated into future action plans aiming the species recovery.

# 1. Introduction

L'anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*) est une espèce de poisson migratrice, sémelpare et catadrome facultative, c'est-à-dire qu'elle croît généralement en eau douce et migre en eau salée pour se reproduire une seule fois avant de mourir (Schmidt, 1922). Son aire de répartition s'étend du sud-ouest du Groenland jusqu'au Venezuela et elle se reproduit dans la mer des Sargasses (Schmidt, 1922; Scott et Crossman, 1974; Tesch, 2003). L'anguille est une espèce panmictique (Côté et collab., 2013), c'est-à-dire que tous les individus de l'espèce appartiennent à la même population et se reproduisent aléatoirement avec les individus qui la composent. Cependant, les caractéristiques environnementales des habitats de croissance produisent des écotypes aux caractéristiques génétiques et morphologiques particulières (Côté et collab., 2014; Gagnaire et collab., 2012; Pavey et collab., 2015). Les eaux du Québec produisent presque exclusivement des anguilles femelles (COSEPAC, 2006; Landry-Massicotte et collab., 2022, 2023 et 2024), dont la taille à maturité et la fécondité sont parmi les plus élevées de l'ensemble de l'aire de répartition de l'espèce. Ces caractéristiques font en sorte que la situation de l'anguille au Québec revêt une importance particulière pour l'espèce.

L'anguille d'Amérique a connu un déclin au Québec (Comité scientifique sur l'anguille d'Amérique, 2019). Dans le cadre du suivi du recrutement annuel de jeunes anguilles au barrage Moses-Saunders, on mesure de faibles abondances depuis le milieu des années 1990. Il a été estimé en 2017 que l'abondance des jeunes anguilles au barrage Moses-Saunders, soit à l'entrée du lac Ontario, avait connu une baisse de 99 % par rapport à la période 1975-1985 (Comité scientifique sur l'anguille d'Amérique, 2019). Les débarquements commerciaux d'anguilles au Québec, tous secteurs confondus, ont montré un déclin depuis le début des années 1990 en raison de la baisse de l'abondance de l'espèce et de plusieurs programmes de rachat de permis. Les débarquements dans l'ensemble du Saint-Laurent en 2016 étaient de 93 % inférieurs à la moyenne de la période 1975-1990 (Comité scientifique sur l'anguille d'Amérique, 2019). L'abondance totale des anguilles reproductrices en dévalaison dans l'estuaire du Saint-Laurent en 2023 a été estimée à 128 357 (79 453 – 179 588), ce qui ne représenterait que 20,6 % (12,7 – 28,8 %) des effectifs estimés en 1996 et en 1997 (Landry-Massicotte et collab., 2024). Ces préoccupations ont mené le gouvernement du Québec à inscrire l'espèce sur la liste des espèces susceptibles d'être désignées comme menacées ou vulnérables (Comité scientifique sur l'anguille d'Amérique, 2019).

Un programme expérimental de transfert d'anguilles a été mené de 2005 à 2010 par un regroupement d'organismes incluant le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (ancien ministère de l'Environnement, de la lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs; Comité scientifique sur l'anguille d'Amérique, 2019). Durant cette période, environ 6,8 M de civelles et d'anguillettes provenant des eaux côtières des provinces maritimes canadiennes ont été transférées dans le système Saint-Laurent, en amont du barrage de Moses-Saunders ainsi que dans la rivière Richelieu (Comité scientifique sur l'anguille d'Amérique, 2019; Landry-Massicotte et collab., 2022; Stacey et collab., 2014). Toutes les anguilles transférées avaient préalablement été traitées dans une solution d'oxytétracycline (OTC) afin qu'il soit possible de les retracer par l'examen d'une marque visible sur leurs otolithes (Landry-Massicotte et collab., 2022). Les transferts d'anguilles ont cessé en 2008 au Québec et en 2010 en Ontario en raison, notamment, de la découverte d'un parasite exotique dans des anguilles de la Nouvelle-Écosse et du Nouveau-Brunswick (Comité scientifique sur l'anguille d'Amérique, 2019). Ce parasite exotique, *Anguillicola crassus*, est un nématode d'origine asiatique qui se loge dans la vessie natatoire des anguilles. Chez l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*), *A. crassus* engendre l'inflammation de la vessie natatoire, des hémorragies, des fibromes et un épaissement de la paroi pouvant nuire à la migration et à la survie (MFFP, 2020; MELCCFP, 2023). Ce parasite est maintenant répandu chez les anguilles d'Amérique de l'est des États-Unis et des provinces maritimes du Canada et il est détecté dans le bassin versant du fleuve Saint-Laurent depuis 2010 en Ontario et depuis 2015 au Québec (MFFP, 2020; MELCCFP, 2023).

L'anguille est exploitée commercialement au Québec. Elle est pêchée à l'aide de fascines dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent (Landry-Massicotte et collab., 2024). Au lac Saint-Pierre (LSP), dans l'estuaire fluvial du Saint-Laurent (secteur pont Laviolette-île d'Orléans; PLIO) ainsi qu'aux Îles-de-la-Madeleine, la pêche de l'anguille est pratiquée majoritairement à l'aide de verveux. Au LSP et dans le secteur PLIO, les verveux correspondent à des trappes coniques faites de mailles en nylon (44 à 48 mm selon les données

analysées par Magnan et collab. [2017] et 38 à 57 mm selon Mailhot [1998]) possédant un guideau (longueur maximum des guideaux : 10 brasses) et deux ailes (longueur maximum des ailes : 4 brasses). Cet engin, non sélectif et non létal, permet le prélèvement d'anguilles vivantes ainsi que la remise à l'eau des poissons non autorisés au plan de gestion de la pêche, dont les anguilles de moins 200 mm (MELCCFP, 2024). La saison de pêche à l'anguille aux verveux dans les secteurs LSP et PLIO se déroule du 1<sup>er</sup> avril au 30 novembre (MELCCFP, 2024). Depuis 1986, les pêcheurs commerciaux du LSP et du secteur PLIO doivent déclarer leurs débarquements d'anguilles. Chaque semaine, une masse totale d'anguilles récoltées par permis de pêche est fournie au ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ). Des restrictions réglementaires et des programmes de rachat de permis de pêche commerciale entre 2002 et 2014 ont engendré une diminution de l'effort de pêche à l'anguille dans l'ensemble des secteurs d'exploitation, notamment dans l'estuaire moyen, le LSP et le secteur PLIO. La pêche commerciale à l'anguille dans la rivière des Outaouais n'est plus autorisée depuis 2012 (MFFP, 2022). Les débarquements annuels d'anguilles déclarés dans le lac Saint-François sont inférieurs à une tonne depuis 2012 alors qu'ils avaient atteint une moyenne historique de 25 tonnes dans la première moitié des années 2000 (MFFP, 2022). La réduction du prélèvement au lac Saint-François s'explique notamment par un programme de rachat de permis de pêche commerciale dans la portion québécoise du lac et la fermeture de la pêche à l'anguille en Ontario. Le prélèvement commercial d'anguilles dans la rivière Richelieu a été suspendu en 1998 et est interdit au plan de gestion de la pêche depuis 2002, en raison d'une baisse importante des captures (Dumont, 1998). Une pêche commerciale aux verveux et à la ligne dormante ciblant l'anguille est également pratiquée aux Îles-de-la-Madeleine (Richard, en préparation).

À la différence des anguilles exploitées dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent, qui sont sexuellement matures et en migration de fraie vers l'océan (Landry-Massicotte et collab., 2024), les anguilles prélevées à la pêche commerciale au LSP et dans le secteur PLIO comprennent à la fois des anguilles immatures, dites « résidentes » ou « jaunes », ainsi que des anguilles sexuellement matures, qualifiées de « migrantes » ou « argentées ». Les anguilles résidentes s'alimentent et croissent dans le système Saint-Laurent pendant plusieurs années jusqu'à l'atteinte de leur maturité sexuelle, qui se produit entre les âges de 8 et 24 ans (Landry-Massicotte et collab., 2024). Au moment de l'atteinte de la maturité sexuelle, les anguilles se métamorphosent puis amorcent une longue migration vers la mer des Sargasses, dans l'océan Atlantique, pour s'y reproduire, puis mourir (COSEPAC, 2006). La métamorphose des anguilles produit des changements morphologiques et physiologiques marqués par une coloration foncée et argentée dorsalement, une augmentation du diamètre oculaire, une dégradation du système digestif, une augmentation de la masse musculaire, une élongation des nageoires et de la vessie natatoire ainsi que le développement des gonades (COSEPAC, 2006; Cottrill et collab., 2002).

La présente étude avait comme premier objectif de caractériser la récolte commerciale d'anguilles aux verveux des secteurs LSP et PLIO en 2020 et en 2021. Pour ce faire, les paramètres morphométriques (âge, longueur et masse) ont été décrits, et la prévalence des anguilles issues des transferts et la prévalence des anguilles infectées par le nématode *A. crassus* ont été mesurées. Ensuite, la proportion d'anguilles résidentes et migrantes dans la récolte ainsi que la probabilité pour une anguille d'être mature (migrante) en fonction de son âge, de sa longueur ou de sa masse ont été modélisées. Les caractéristiques des anguilles récoltées ont été utilisées afin de répondre au deuxième objectif de l'étude, qui visait à évaluer le taux d'exploitation des anguilles par la pêcherie. Pour ce faire, le prélèvement d'anguilles dans les secteurs LSP et PLIO a été mis en relation avec l'estimation annuelle de l'abondance totale des anguilles migrantes qui transitent dans le système Saint-Laurent pour atteindre leur site de reproduction.

## 2. Méthodologie

### 2.1 Provenance des échantillons

Afin de caractériser la récolte commerciale d'anguilles d'Amérique dans les secteurs LSP et PLIO, des anguilles vivantes ont été récupérées chez un grossiste (SIMMER international), à raison d'une fois par mois en 2020 et de deux fois par mois en 2021. Environ le tiers de la récolte commerciale d'anguilles aux verveux provenant des deux secteurs de pêche transite par ce grossiste avant d'être distribué sur les marchés. Dans le cadre de cette étude, le lieu de capture précis des anguilles, soit le lac Saint-Pierre ou le secteur PLIO, n'a pas été déterminé, car la plupart des pêcheurs fréquentent les deux secteurs et combinent leurs prises dans les mêmes viviers avant de les remettre aux grossistes. Une ou deux fois par mois, en 2020 et en 2021 respectivement, un nombre prédéterminé de spécimens ont été échantillonnés aléatoirement parmi les anguilles disponibles chez le grossiste. La période d'échantillonnage s'est échelonnée de juin à octobre en 2020 et de mai à octobre en 2021. Les mois d'avril et de novembre ont été exclus de l'échantillonnage car ils représentent une fraction négligeable de la récolte commerciale, soit en moyenne 1,2 % des débarquements annuels au cours de la période 2016-2018 (MAPAQ, données non publiées). Le nombre d'anguilles échantillonnées chaque mois a été établi proportionnellement à la répartition des débarquements mensuels de la période 2016-2018 (1,0 %, 16,1 %, 23,3 %, 19,1 %, 17,3 %, 14,4 %, 8,6 % et 0,2 %, d'avril à novembre respectivement). Des cibles de 140 et 302 anguilles à échantillonner entre mai et octobre ont été établies pour 2020 et 2021.

### 2.2 Caractéristiques morphologiques, âge et prévalence de *A. crassus*

La longueur totale (mesurée à l'aide d'une règle graduée;  $\pm 1$  mm), la masse totale et la masse des gonades (mesurées à l'aide d'une balance électronique;  $\pm 1$  g) des anguilles ont été mesurées sur tous les spécimens. Le sexe a été identifié par l'examen macroscopique de la morphologie des gonades et au besoin, confirmé par l'observation sous binoculaire d'un bout de gonade écrasé. Lorsque des ovocytes étaient observés, l'individu était classé comme femelle. En l'absence d'ovocytes, si le mélange avait été uniformément granulaire, l'individu aurait été classé comme mâle. La vessie natatoire a été prélevée et disséquée pour déceler, par examen visuel macroscopique, la présence du nématode *A. crassus*. Les otolithes *sagittae* ont été prélevés pour l'estimation de l'âge des anguilles et pour déterminer si elles provenaient des transferts d'anguilles réalisés entre 2005 et 2010. Préalablement au montage et à la détermination de l'âge, les otolithes ont été examinés sous une lampe UV afin de détecter les traces d'OTC et ainsi identifier les anguilles provenant des opérations de transfert. Pour la détermination de l'âge, la technique du craquage-brûlage (ICES, 2011) a été utilisée pour un des deux otolithes de chaque individu. L'estimation de l'âge a été réalisée par deux lecteurs indépendants et 20 % des spécimens ont été rejetés puisqu'aucun consensus n'était atteint. Pour ces individus, l'attribution d'un âge a été effectuée en utilisant une clé âge-longueur par année (2020 et 2021) grâce à la méthode développée par Ogle (2018). Un modèle logistique multinomial (fonction « multinom »; Venables et Ripley, 2002) a été utilisé pour prédire, sur la base de leur longueur, l'âge des individus dont l'âge n'avait pas été déterminé.

La taille, la masse et l'âge des anguilles, ainsi que la prévalence des anguilles issues des transferts et du nématode *A. crassus* ont été comparés entre les deux années d'échantillonnage. Les données morphologiques, toutes années confondues (2020-2021), ont aussi été comparées à des données historiques provenant de travaux antérieurs de caractérisation de la récolte commerciale au lac Saint-Pierre. Bernard et Codin-Blumer (1985) présentent une taille moyenne, une masse moyenne ainsi que des données de distribution de fréquence de tailles pour 748 anguilles provenant de verveux de pêche commerciale échantillonnés au lac Saint-Pierre entre le 1<sup>er</sup> avril et le 30 novembre 1983 (données brutes non disponibles). Des données de longueur totale et de masse chez 3 237 anguilles provenant de verveux de pêche commerciale échantillonnés de mai à octobre directement chez des pêcheurs commerciaux du LSP et du secteur PLIO étaient disponibles pour 1996 et 1997 (Mailhot, 1997 et 1998). La fonction

« Summarize » de la librairie « FSA » (Ogle et collab., 2023) du logiciel R (version 4.4.1; R Core Team, 2024) a d'abord été utilisée pour produire des statistiques descriptives (n, moyenne, écart-type, minimum, maximum, etc.). Les valeurs moyennes de longueur, de masse et d'âge ont ensuite été comparées entre les deux années d'échantillonnage ainsi qu'avec les périodes 1983 et 1996-1997 (sans distinction entre les deux années d'échantillonnage) à l'aide d'analyses de variance à un facteur (ANOVA) (fonction « aov »; R Core Team, 2024) ou d'un test de t pour un échantillon unique (fonction « t.test »; R Core Team, 2024). Le respect des prémisses de l'ANOVA a été validé par l'examen visuel de la distribution des résidus et par le test de Levene (fonction « leveneTest » de la librairie « car »; Fox et Weisberg, 2019) sur l'homogénéité de la variance ( $p > 0,05$ ). Une transformation logarithmique a été appliquée aux données de masse afin de respecter la condition de normalité des résidus. Pour les ANOVA, les moyennes ont été considérées comme statistiquement similaires lorsque la valeur de  $p$  du test de Fisher ( $F$ -test) était supérieure à 0,05. Les comparaisons des distributions de fréquence de tailles ont été réalisées à l'aide du test de Kolmogorov-Smirnov. Afin d'obtenir des résultats fiables en présence d'*ex-aequo* (nombre égal de valeurs entre les deux distributions pour une même classe de taille), la version utilisée du test inclut un processus de rééchantillonnage par *bootstrapping*, soit une répétition de 1 000 itérations en retirant différents spécimens à chaque fois (Mainguy, 2023). Les distributions ont été considérées comme similaires lorsque le test de Kolmogorov-Smirnov amélioré par *bootstrapping* (fonction « ks.boot, nboots=1000 » de la librairie « Matching »; Jasjeet S, 2011) n'était pas appuyé statistiquement ( $p > 0,05$ ).

## 2.3 Stade de développement des anguilles (résidente ou migrante)

Comme le suggèrent Cottrill et collab. (2002) pour les anguilles du système Saint-Laurent, l'indice gonadosomatique (IGS; masse des gonades/masse totale \* 100) a été utilisé afin de classer les anguilles prélevées à la pêche commerciale en tant qu'anguilles résidentes (IGS  $\leq 2$ ) ou migrantes (IGS  $> 2$ ). Ces auteurs en sont venus à la conclusion que le principal critère utilisé chez l'anguille européenne et l'anguille australienne (*Anguilla australis*), soit l'indice oculaire, n'était pas adéquat pour l'anguille d'Amérique du système Saint-Laurent, tout comme la plupart des autres critères morphométriques couramment utilisés ailleurs dans le monde. Cette différence s'expliquerait par le fait que la métamorphose des anguilles s'échelonne sur une plus longue période chez l'anguille d'Amérique, produisant une grande diversité de stades intermédiaires. Selon ces auteurs, le développement des gonades serait le meilleur paramètre permettant de distinguer les anguilles résidentes des anguilles migrantes dans le fleuve Saint-Laurent (Cottrill et collab., 2002).

Afin de déterminer si le critère de l'IGS utilisé pour déterminer le stade de développement des anguilles était adéquat, les distributions des fréquences de taille, de masse et d'âge ainsi que la taille, la masse et l'âge moyens des anguilles classées comme étant migrantes (IGS  $> 2$ ) dans le secteur LSP-PLIO en 2020-2021 ont été comparés avec ceux des anguilles échantillonnées dans la pêcherie commerciale d'anguilles de l'estuaire moyen du Saint-Laurent en 2020-2021. Pour ce faire, les données des trappes fixes à fascine situées entre l'île aux Coudres et la municipalité de Sainte-Luce ont été utilisées (Landry-Massicotte et collab., 2022; MELCCFP, données non publiées). Ces trappes sont actives de la fin août à la fin novembre lors de la dévalaison des anguilles migrantes dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent et capturent donc essentiellement des anguilles migrantes. Les valeurs moyennes de taille, de masse et d'âge ont été comparées entre les deux secteurs à l'aide d'une ANOVA et les distributions ont été comparées à l'aide du test de Kolmogorov-Smirnov amélioré (voir la section précédente).

À partir des données sur les anguilles échantillonnées dans le secteur LSP-PLIO en 2020-2021, des modèles statistiques permettant de prédire la probabilité d'atteinte de la maturité sexuelle (anguille migrante; IGS  $> 2$ ) en fonction de l'âge, de la longueur et de la masse ont été développés (modèle linéaire généralisé basé sur une distribution binomiale : logiciel R version 4.4.1; fonction « glm, family = binomial »; R Core Team, 2024). Les tests suivants ont été effectués afin de confirmer l'ajustement des modèles aux données. Le pouvoir de discrimination, soit la capacité du modèle de différencier les anguilles migrantes des anguilles résidentes, a été évalué selon l'approche *Receiver Operator Characteristic Analysis* (ROC; fonction « roc » de la librairie « pROC »; Robin et collab., 2011). La calibration du modèle, soit le pouvoir de prédire les données observées, a été évaluée par le pseudo- $R^2$  de McKelvey-Zavoïna (fonction « PseudoR2 » de la librairie « DescTools »; Signorell, 2023). La probabilité pour une anguille d'avoir un



IGS > 2 a ensuite été prédite pour tous les âges de 5 à 27 ans, toutes les longueurs de 70 à 130 cm et tous les masses par incréments de 50 grammes de 700 à 3 250 g (fonction « predict »; R Core Team, 2024).

## 2.4 Taux de disparition

Les distributions en âge peuvent être utilisées pour calculer des taux de mortalité à l'aide de la méthode de l'analyse des courbes de capture (Mainguy et collab., 2023; Mainguy et Moral, 2021). Ces calculs impliquent cependant une prémisse qui ne peut être respectée dans le cas des données sur les anguilles échantillonnées dans la pêche commerciale du secteur LSP-PLIO, soit le fait que la population doit être fermée, c'est-à-dire sans émigration ou immigration (Mainguy et Moral, 2021). Dans le cas de l'anguille, l'analyse des courbes de capture permet tout de même de calculer des taux que l'on peut qualifier de « taux de disparition annuelle », combinant les effets de la mortalité naturelle et de la mortalité anthropique (y compris la pêche commerciale), l'immigration ainsi que l'émigration d'anguilles immatures et matures, reliée notamment à la migration de fraie (Verreault, 2002). La méthode de calcul du taux instantané de mortalité développée par Mainguy et Moral (2021) et détaillée dans Mainguy et collab. (2023) ainsi que dans Mainguy et Moral (2024) a été utilisée pour estimer le taux de disparition à partir des données de capture à l'âge. La méthode consiste à mesurer la pente de modèles linéaires généralisés (GLM) basés sur la variante de distribution de données de Poisson la plus appropriée (Poisson, NB1 ou NB2 : binomiale négative de type 1 ou 2; CMP : Conway-Maxwell-Poisson CMP; GP : Poisson généralisée). Pour ce faire, les données sont organisées en termes de nombre d'anguilles par âge et des zéros sont ajoutés aux âges sans donnée. Ensuite, l'âge montrant le maximum d'anguilles (Peak), le suivant (Peak Plus) et l'âge maximal (Max) sont identifiés. Une nouvelle base de données formée seulement des données comprises entre les âges Peak Plus et Max est créée et de nombreux zéros sont ajoutés à la fin de la distribution (environ deux fois l'âge maximal) pour améliorer la forme de la distribution. Ensuite des GLM basés sur les cinq distributions de données (Poisson, NB1, NB2, CMP et GP) sont créés à l'aide de la fonction « glmmTMB; family=poisson; family=nbinom1, family=nbinom2; family=compois; family=genpois » de la librairie « glmmTMB » (Mollie et collab., 2017). Les modèles sont ensuite comparés sur la base de leur critère d'information d'Akaike (AICc) avec la fonction « model.sel » de la librairie « MuMIn » (Barton, 2024). Les modèles similaires, selon leur valeur d'AICc (delta en deçà de 4 d'écart), sont sélectionnés, puis la fonction « hnp » de la librairie du même nom (Moral et collab., 2017) est utilisée pour confirmer que la famille de distribution reflète adéquatement les données (hnp < 5 %). Lorsque plusieurs modèles s'avèrent adéquats, ceux-ci sont combinés dans un modèle compromis bâti à l'aide de la fonction « model.avg » de la librairie « MuMIn ». La pente du modèle final, qui représente le taux instantané de mortalité, est estimée à l'aide de la fonction « abs(coef()) ». Les intervalles de confiance du taux instantané de mortalité sont finalement estimés avec la fonction « confint ». La transformation des taux instantanés de mortalité (Z) en taux de mortalité totale annuelle (A) est réalisée en utilisant l'équation proposée par Miranda et Bettoli (2007) :

$$A = 1 - e^{-Z}$$

Où :

Z = taux instantané de mortalité

A = taux de mortalité totale annuelle

e = exposant naturel

## 2.5 Débarquements et taux d'exploitation

### 2.5.1 Débarquements historiques et succès de pêche

Les données de débarquement annuel total exprimé en tonnes métriques, issues des déclarations volontaires des pêcheurs commerciaux durant la période 1986-2023, ont été présentées graphiquement pour les deux secteurs individuellement et confondus (MAPAQ, données non publiées). Ces données ont également été mises en relation avec les différentes campagnes de rachat de permis de pêche commerciale aux verveux déployées pour réduire la pression de pêche exercée sur la perchaude et l'anguille. L'objectif visé par ces rachats était la réduction de la pression de pêche par la diminution du

nombre de verveux déployés dans les deux secteurs. Afin d'évaluer l'effet des rachats de permis sur le nombre d'engins de pêche commerciale réellement déployés, des décomptes de verveux sur le terrain ont été réalisés en 2003, 2005, 2008, 2020 et 2021 au LSP ainsi qu'en 2008, 2010, 2013, 2014, 2021 et 2023 dans le secteur PLIO. Lors de ces travaux, les secteurs de pêche étaient visités à plusieurs reprises durant la saison (printemps, été et automne) et le nombre total de verveux localisés était comptabilisé (MELCCFP, données non publiées). Le succès annuel de pêche commerciale, exprimé en tonnes par permis de pêche aux verveux, a également été calculé pour chacun des deux secteurs de pêche. En se basant sur les inventaires ponctuels de verveux sur le terrain, le nombre de permis de pêche représente un indicateur global de la pression de pêche déployée pour le secteur LSP.

### 2.5.2 Prélèvement d'anguilles résidentes et migrantes en 2020 et en 2021

Les débarquements hebdomadaires d'anguilles résidentes et migrantes ont été estimés à partir des données déclarées au MAPAQ dans le secteur LSP-PLIO pendant chacune des 32 semaines de pêche (de la première semaine d'avril à la dernière semaine de novembre) de 2020 et 2021. À partir de l'IGS, la proportion en biomasse d'anguilles résidentes et migrantes a été estimée pour les cinq échantillonnages de 2020 (semaines 11, 15, 19, 24 et 29) et les douze échantillonnages de 2021 (semaines 6, 8, 12, 13, 15, 17, 20, 22, 24, 26, 28 et 29). La proportion hebdomadaire moyenne pour chaque stade a ensuite été attribuée aux semaines pour lesquelles aucune anguille n'avait été prélevée. Ces proportions ont permis d'estimer les débarquements hebdomadaires et totaux (en kg) d'anguilles résidentes et migrantes pour 2020 et 2021. En utilisant la masse moyenne annuelle des anguilles migrantes et résidentes, tous mois confondus, les débarquements totaux d'anguilles résidentes et migrantes prélevées en 2020 et en 2021 dans le secteur LSP-PLIO ont été convertis en nombres.

### 2.5.3 Taux d'exploitation des anguilles migrantes

Les débarquements commerciaux d'anguilles sont influencés par la pression de pêche, notamment le nombre de verveux déployés annuellement, et par les variations d'abondance de l'espèce dans le système Saint-Laurent. Pour évaluer l'influence relative de la pêcherie sur la production totale de reproductrices issues du système Saint-Laurent, le taux d'exploitation spécifique aux anguilles migrantes a été estimé. Pour ce faire, l'estimation du nombre d'anguilles migrantes récoltées dans la pêcherie commerciale du secteur LSP-PLIO a été comparée à l'estimation du nombre total de migrantes ayant transité la même année via l'estuaire moyen du Saint-Laurent au cours de la période de 1996 à 2022. Dans un premier temps, la proportion moyenne de la récolte commerciale en biomasse de 2020-2021 représentée par des anguilles migrantes (voir la section précédente) a été appliquée aux débarquements totaux déclarés dans le secteur LSP-PLIO de 1986 à 2022. La masse moyenne des anguilles migrantes de 2020-2021 a ensuite été utilisée pour estimer le nombre d'anguilles migrantes récoltées annuellement. Le taux d'exploitation annuel a finalement été calculé par la formule suivante :

$$\text{Taux d'exploitation annuel (\%)} = \frac{N_{mLSP-PLIO}}{N_{mEstuaire} + N_{mLSP-PLIO}} * 100$$

Où :

$N_{mLSP-PLIO}$  : nombre d'anguilles migrantes prélevées dans le secteur LSP-PLIO

$N_{mEstuaire}$  : nombre d'anguilles migrantes ayant transité par l'estuaire moyen du Saint-Laurent, avant l'influence de la pêcherie de l'estuaire moyen

Le contingent d'anguilles migrantes ayant transité par l'estuaire du Saint-Laurent ( $N_{mEstuaire}$ ) correspond au nombre d'anguilles estimé à la hauteur de la ville de Québec, soit avant l'influence de la pêcherie commerciale de l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Trois estimations (vraisemblable, optimiste et pessimiste) du nombre total d'anguilles migrantes ayant transité par l'estuaire moyen au cours de la période de 1996 à 2022 ont été réalisées afin de prendre en compte l'incertitude associée au calcul de l'échappement annuel (Landry-Massicotte et collab., 2023). L'estimation du nombre total d'anguilles migrantes a ensuite été corrigée afin de prendre en compte l'influence des facteurs environnementaux

(MELCCFP, en préparation). Le taux d'exploitation annuel des anguilles migrantes récoltées dans les secteurs LSP et PLIO a été calculé à partir de ces valeurs corrigées.

#### 2.5.4 Taux d'exploitation cumulatif (anguilles résidentes et migrantes)

La majorité de la récolte commerciale du secteur LSP-PLIO est composée d'anguilles résidentes. Un exercice de modélisation a été réalisé dans le but de prendre en compte le prélèvement d'anguilles résidentes dans l'estimation du taux d'exploitation annuel d'anguilles migrantes. Si aucune anguille résidente n'avait été prélevée par la pêche commerciale, une partie de ce contingent aurait survécu et se serait ultimement ajoutée au contingent d'anguilles migrantes qui dévale annuellement le Saint-Laurent. Le nombre d'anguilles migrantes qui auraient été produites annuellement en l'absence de prélèvement d'anguilles résidentes a donc pu être estimé en prenant en compte la mortalité naturelle. Ces anguilles migrantes, ayant échappé à l'effet de l'exploitation au stade d'anguille résidente, ont été ajoutées au prélèvement annuel direct d'anguilles migrantes dans le but de calculer un taux d'exploitation annuel cumulatif, combinant l'effet du prélèvement des anguilles aux deux stades de développement.

La modélisation de l'effet du prélèvement des anguilles résidentes consistait à répartir dans le temps le nombre estimé d'anguilles résidentes récoltées annuellement de 1986 à 2021 en fonction de leur distribution en âge, de leur taux de survie et de leur année de migration théorique (établie en fonction de l'âge). La structure du modèle a été schématisée à la figure 1. Premièrement, le nombre d'anguilles résidentes récoltées annuellement, au cours de la période 1986-2021, a été estimé à partir de la proportion moyenne en biomasse et de la masse moyenne des anguilles résidentes dans la récolte de 2020-2021 (voir la section 2.5.2). Deuxièmement, pour une année de pêche donnée, le nombre d'anguilles résidentes récoltées a été réparti par âge en utilisant la distribution en âge des anguilles résidentes mesurée en 2020-2021 (voir la section 3.3.1). Troisièmement, le contingent de chaque groupe d'âge qui aurait survécu au cours des années suivantes, sans succomber à des causes de mortalité naturelle, a été estimé en fonction du taux de survie annuelle (voir la section 2.5.4.1). Quatrièmement, à partir des anguilles survivantes, le nombre annuel d'anguilles qui se seraient métamorphosées pour devenir migrantes a été estimé pour chaque groupe d'âge en fonction de la probabilité d'atteinte de la maturité sexuelle à l'âge modélisée en 2020-2021 (voir la section 3.3.2). La modélisation a donc permis de générer un nombre cumulatif d'anguilles migrantes qui se seraient vraisemblablement ajoutées au stock en dévalaison dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent si aucune anguille résidente n'avait été récoltée dans le secteur LSP-PLIO depuis 1986. Le taux d'exploitation annuel cumulatif a été calculé en fonction des trois scénarios de contingent d'anguilles qui atteignent l'estuaire moyen du Saint-Laurent ( $N_mEstuaire$ ), soit les estimations vraisemblable, optimiste et pessimiste, disponibles pour la période 1996-2022 (MELCCFP, en préparation). Toutefois, le calcul du taux d'exploitation annuel cumulatif a été limité à la période 2000-2022 compte tenu du fait que la récolte d'anguilles résidentes est composée de plusieurs groupes d'âge et qu'un délai de 14 ans après les premières déclarations de débarquement en 1986 est nécessaire afin d'observer l'impact cumulatif du prélèvement d'anguilles résidentes sur la production d'anguilles migrantes. Le taux d'exploitation annuel cumulatif a finalement été calculé en fonction de la formule suivante :

$$\text{Taux d'exploitation annuel cumulatif (\%)} = \frac{N_mLSP-PLIO + N_rLSP-PLIO}{N_mEstuaire + N_mLSP-PLIO + N_rLSP-PLIO} * 100$$

Où :

$N_mLSP-PLIO$  : nombre d'anguilles migrantes prélevées dans le secteur LSP-PLIO

$N_rLSP-PLIO$  : nombre estimé d'anguilles migrantes ayant survécu en l'absence de prélèvement d'anguilles résidentes dans le secteur LSP-PLIO

$N_mEstuaire$  : nombre d'anguilles migrantes ayant transité par l'estuaire moyen du Saint-Laurent, avant l'influence de la pêcherie de l'estuaire moyen

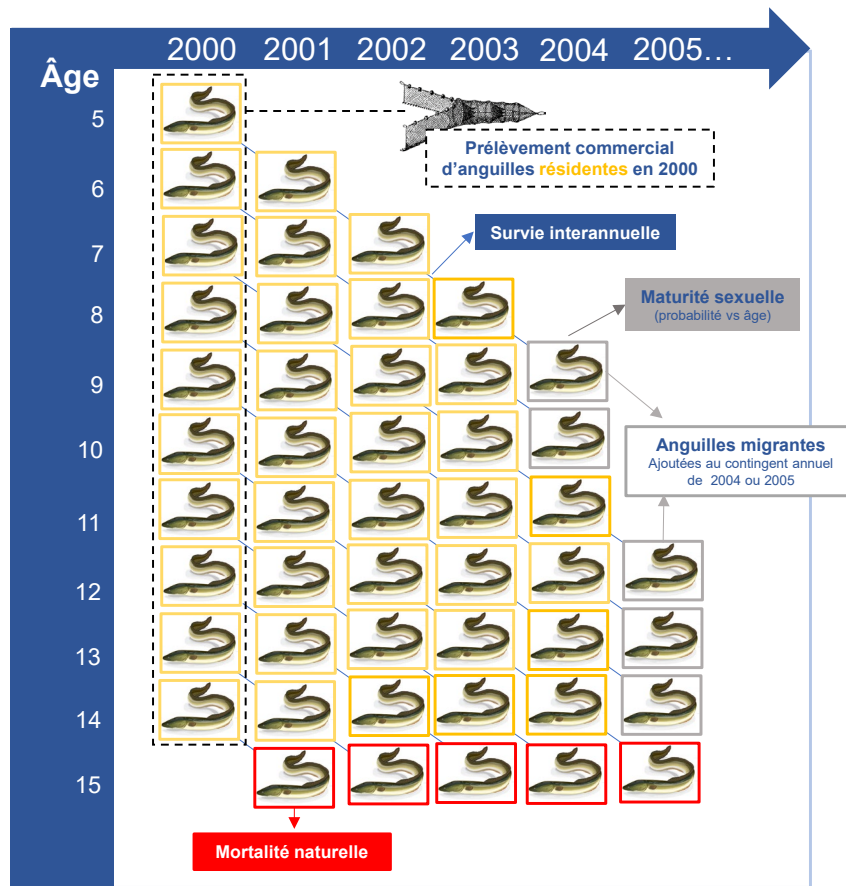


Figure 1. Schématisation théorique de l'estimation du nombre d'anguilles migrantes affectées par le prélèvement d'anguilles résidentes au cours des années de pêche précédentes. L'exemple illustre la survie théorique d'un groupe de dix anguilles résidentes (jaunes) qui auraient été prélevées à la pêche commerciale en 2000. Ces anguilles auraient potentiellement pu produire deux anguilles migrantes (argentées) en 2004 et trois anguilles migrantes en 2005. L'exercice est répété pour chaque année d'exploitation et les nombres d'anguilles migrantes ayant potentiellement survécu chaque année sont additionnés, pour être ajoutés au contingent théorique d'anguilles migrantes qui quittent le système Saint-Laurent (annexe 1).

Une deuxième modélisation a été réalisée afin de prendre en compte le fait que sans prélèvement d'anguilles résidentes, le prélèvement annuel d'anguilles migrantes dans le secteur LSP-PLIO aurait vraisemblablement été plus élevé. Dans cette seconde modélisation, le prélèvement annuel d'anguilles migrantes a été corrigé à la hausse en appliquant le taux d'exploitation annuel des anguilles migrantes (voir la section précédente) au contingent total d'anguilles qui auraient dévalé le Saint-Laurent en l'absence d'exploitation d'anguilles résidentes. Le taux d'exploitation annuel cumulé corrigé a été calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$\text{Taux d'exploitation annuel cumulé corrigé (\%)} = \frac{N_m \text{LSP-PLIO}_{cor} + N_r \text{LSP-PLIO}}{N_m \text{Estuaire} + N_m \text{LSP-PLIO}_{cor} + N_r \text{LSP-PLIO}} * 100$$

Où :

$N_m \text{LSP-PLIO}_{cor}$  : nombre d'anguilles migrantes prélevées dans le secteur LSP-PLIO, corrigé en fonction du taux d'exploitation

$N_r \text{LSP-PLIO}$  : nombre estimé d'anguilles migrantes ayant survécu en l'absence de prélèvement d'anguilles résidentes dans le secteur LSP-PLIO

$N_m \text{Estuaire}$  : nombre d'anguilles migrantes ayant transité par l'estuaire moyen du Saint-Laurent, avant l'influence de la pêcherie de l'estuaire moyen

### 2.5.4.1 Taux de mortalité naturel des anguilles résidentes

On ne dispose d'aucune donnée permettant de calculer le taux de mortalité naturelle des anguilles résidentes et de le distinguer du taux de disparition des anguilles. Le taux de mortalité naturel a donc été estimé en s'inspirant de travaux réalisés chez l'anguille d'Amérique (Bradford et collab., 2022; MPO 2014; Richard, en préparation) et fondés sur l'équation de Bevacqua et collab. (2011). Ce modèle utilise la masse, le sexe, la productivité relative de l'habitat et la température moyenne annuelle de l'eau pour estimer la mortalité naturelle de l'anguille européenne. En l'absence d'une autre méthode adaptée à l'anguille d'Amérique, celle-ci est considérée comme la mieux adaptée (Cairns et collab., 2014). Selon cette équation, la mortalité naturelle de l'anguille augmente proportionnellement à la température de l'eau et à la densité des individus et diminue proportionnellement à la masse des individus. La mortalité est aussi légèrement plus élevée chez les femelles que chez les mâles. L'équation de Bevacqua et collab. (2011) est la suivante :

$$M = e^q e^{(-E/(k*T))} W^b$$

Où :

$M$  = taux instantané de mortalité naturelle

$e$  = constante mathématique (2,71828)

$q$  = constante spécifique au sexe et à la densité

$E$  = constance spécifique au sexe

$k$  =  $8,62 \times 10^{-5}$

$T$  = température moyenne annuelle de l'eau en kelvins

$W$  = masse corporelle en g

$b$  = -0,46

Cette équation permet d'estimer un taux instantané de mortalité naturelle ( $Z$  ou  $M$  dans l'équation précédente). Ce taux peut être transformé en taux annuel de survie ( $S$ ) et en taux annuel de mortalité naturelle ( $A$ ) en utilisant les équations suivantes (Miranda et Bettoli, 2007) :

$$S = e^{-Z}$$

$$A = 1 - e^{-Z}$$

Où :

$Z$  = taux instantané de mortalité naturelle (équivalent à  $M$  dans l'équation de Bevacqua et collab., 2011)

$S$  = taux annuel de survie

$A$  = taux annuel de mortalité naturelle

Dans un souci d'éviter de surestimer le taux d'exploitation cumulatif attribuable au prélèvement d'anguilles résidentes, le choix des valeurs retenues pour le calcul a été établi en visant les valeurs les plus élevées de mortalité naturelle dans la gamme d'âges des anguilles exploitées (5-19 ans). L'estimation des divers paramètres qui composent l'équation de Bevacqua et collab. (2011) a été établie en conséquence. La constante de densité élevée d'anguilles femelles (50,8), la constante spécifique aux femelles (1,24) et la masse de la plus petite anguille résidente échantillonnée en 2020-2021 (251 g) ont été retenues pour le calcul. La température annuelle de l'eau a été estimée à 10 °C, soit 283,15 K, puisque la température moyenne annuelle du fleuve Saint-Laurent pour la période 1919 à 2007 est de 9,6 °C et qu'elle est à la hausse depuis 1981 (Hudon et collab., 2010). Depuis le début des années 2000, cette température se situe généralement près de 10 °C ou légèrement au-dessus (Hudon et collab., 2010). En se basant sur ces paramètres, on obtient pour les anguilles résidentes un taux instantané de mortalité ( $Z$ ) de 0,078, un taux de mortalité totale annuelle ( $A$ ) de 0,075 (7,5 %) et un taux de survie totale annuelle ( $S$ ) de 0,925 (92,5 %). Ces paramètres ont été utilisés dans l'exercice de modélisation décrit à la section 2.5.4.

## 3. Résultats

### 3.1 Provenance des échantillons

De juin à octobre 2020, un total de 140 anguilles choisies aléatoirement a été prélevé chez le grossiste lors de cinq campagnes d'échantillonnage (tableau 1). En 2021, 297 anguilles ont été prélevées lors de 12 échantillonnages répartis de mai à octobre, à raison de deux campagnes par mois (tableau 1). Un total de 437 anguilles a donc été récolté pour la présente étude.

Tableau 1. Nombre d'anguilles récoltées lors des échantillonnages chez un grossiste en 2020 (une campagne par mois) et en 2021 (deux campagnes par mois). Les anguilles provenaient de la pêche commerciale aux verveux au lac Saint-Pierre et dans le secteur pont Lavolette-île d'Orléans (LSP-PLIO). Le nombre d'échantillons par mois a été pondéré en fonction de la répartition moyenne des débarquements déclarés durant la période 2016-2018.

Mois	2020	2021
Mai		23 23
Juin	39	33 33
Juillet	33	27 27
Août	29	24 24
Sptembre	24	19 21
Octobre	15	24 19
TOTAL	140	297

### 3.2 Caractéristiques morphologiques, âge et prévalence de *A. crassus*

L'ensemble des 437 anguilles provenant de la pêcherie commerciale aux verveux du secteur LSP-PLIO en 2020 et en 2021 étaient des femelles. Les 140 anguilles échantillonnées en 2020 mesuraient entre 555 mm et 1 128 mm et les 297 anguilles de 2021 mesuraient entre 541 et 1 156 mm (figure 2). La taille moyenne des anguilles en 2020 ( $789 \pm 120$  mm) n'était pas statistiquement différente de celle mesurée en 2021 ( $774 \pm 110$  mm; ANOVA :  $F_{1,435} = 1,68$  ;  $p = 0,196$ ). La masse des anguilles variait de 314 à 2 875 g en 2020 et de 251 à 4 084 g en 2021. Les masses moyennes des anguilles étaient statistiquement similaires en 2020 ( $1\ 003 \pm 521$  g) et en 2021 ( $985 \pm 528$  g; ANOVA :  $F_{1,435} = 0,068$  ;  $p = 0,794$ ). L'âge des anguilles était semblable en 2020 et en 2021, variant de 5 à 19 ans, avec une moyenne de  $10 \pm 3$  ans (ANOVA :  $F_{1,435} = 0,561$  ;  $p = 0,454$ ). Les distributions en taille et en âge de 2020 et 2021 étaient similaires (taille : test de Kolmogorov-Smirnov amélioré;  $D = 0,085$ ;  $p = 0,445$  et âge : test de Kolmogorov-Smirnov amélioré;  $D = 0,063$ ;  $p = 0,52$ ; figure 2). Des différences dans les distributions de fréquence des masses étaient visuellement perceptibles les deux années, notamment en 2021 chez les anguilles de masse élevée (figure 2). Toutefois, les distributions de fréquence des masses n'étaient pas statistiquement différentes entre 2020 et 2021 (test de Kolmogorov-Smirnov amélioré;  $D = 0,065$   $p = 0,751$ ).

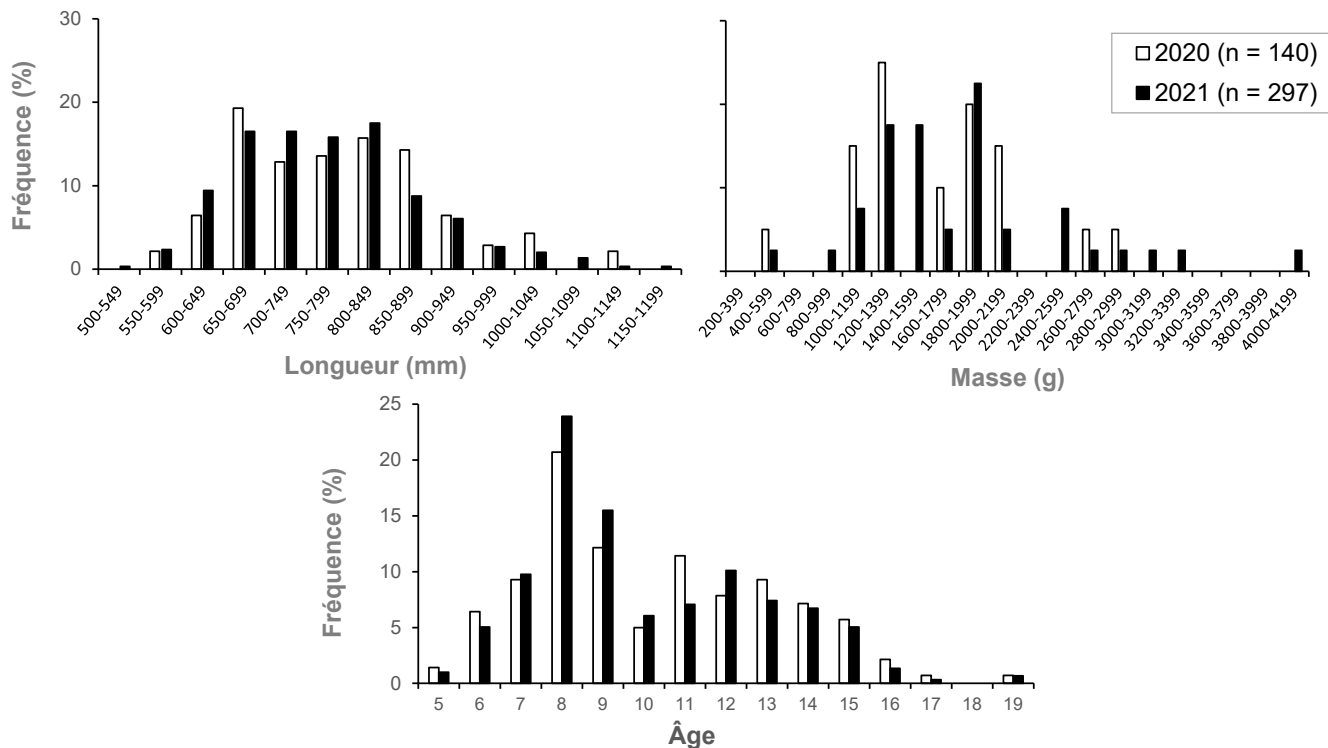


Figure 2 Distribution de fréquence des tailles, des masses et des âges des anguilles provenant de la pêcherie commerciale aux verveux au lac Saint-Pierre et dans le secteur pont Laviolette-île d'Orléans (LSP-PLIO) en 2020 (barres blanches) et en 2021 (barres noires).

La distribution de fréquence des tailles des anguilles échantillonnées en 2020-2021 (deux années confondues) dans le secteur LSP-PLIO était visuellement semblable à celle de 1983 et à celle de 1996-1997, mais statistiquement différente de celle de 1996-1997 (test de Kolmogorov-Smirnov amélioré;  $D = 0,138$ ;  $p < 0,001$ ; figure 3). La grande taille de l'échantillon de 1996-1997 ( $n = 3\ 237$ ) permet de détecter des différences minimes. La taille moyenne des anguilles échantillonnées en 2020-2021 de  $778 \pm 114$  mm était similaire à celle de 1996-1997, estimée à  $800 \pm 108$  mm, bien que statistiquement différente en raison de la taille de l'échantillon (ANOVA :  $F_{1,3672} = 14,4$  ;  $p < 0,001$ ), et ces deux mesures était plus élevée que celle de 1983 (759 mm) (test de t : 2020-2021 est différent de 759;  $p < 0,001$ ; 1996-1997 est différent de 759;  $p < 0,001$ ). La masse moyenne de 2020-2021 ( $990 \pm 525$  g) est aussi un peu plus faible que celle de 1996-1997 ( $1\ 091 \pm 507$  g), différence qui s'est avérée statistiquement significative, mais ici aussi, influencée par la taille de l'échantillon de 1996-1997 (ANOVA :  $F_{1,3659} = 20,99$  ;  $p < 0,001$ ). La masse moyenne de 1983 (978 g) était un peu plus faible que lors des deux autres périodes, mais pas statistiquement différente de 2020-2021 et statistiquement plus faible que 1996-1997 (test de t : 2020-2021 est différent de 759 :  $p < 0,625$ ; 1996-1997 est différent de 759 :  $p < 0,001$ ). En somme, aucune différence marquée n'a été enregistrée entre les trois périodes en ce qui a trait à la taille et à la masse des anguilles provenant de la pêche commerciale dans les secteurs LSP et PLIO (figure 3).

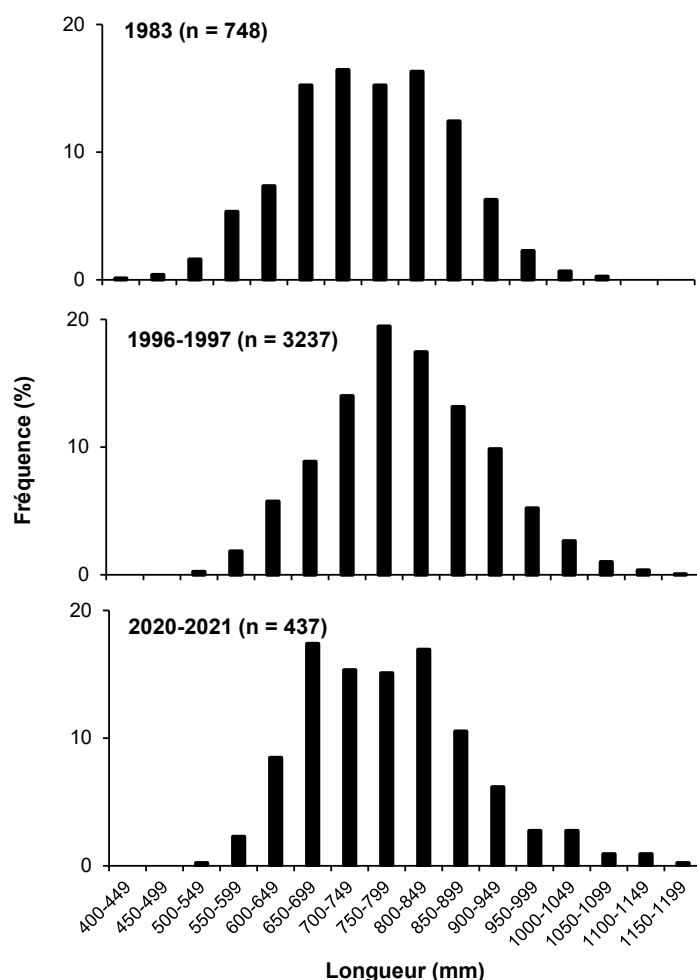


Figure 3. Distribution de fréquence des tailles des anguilles provenant de la pêche commerciale aux verveux au lac Saint-Pierre et dans le secteur pont Lavolette-île d'Orléans (LSP-PLIO) en 1983 (Bernard et Codin-Blumer, 1985), 1996-1997 (Mailhot, 1997 et 1998) et 2020-2021. En 1983, les données ont été récoltées au LSP seulement.

Les vessies natatoires des 437 anguilles échantillonnées en 2020 et en 2021 ont été examinées et la présence de *A. crassus* a été confirmée dans seulement deux anguilles en 2021 (0 % en 2020 et 0,7 % en 2021). Ces anguilles ne présentaient pas de marque d'OTC sur leurs otolithes et n'étaient donc pas issues des opérations de transferts et provenaient vraisemblablement du recrutement naturel.

### 3.3 Stade de développement des anguilles (résidente ou migrante)

#### 3.3.1 Comparaisons entre les stades de développement

En 2020, en fonction de leur indice gonado-somatique, 20 anguilles sur 140 (14 %) provenant du secteur LSP-PLIO ont été identifiées comme étant des migrantes (IGS > 2). En 2021, 40 (13 %) des 257 anguilles



échantillonnées ont été classées comme étant migrantes. Les distributions en taille et en masse des anguilles résidentes et migrantes du secteur LSP-PLIO (années 2020 et 2021 confondues) se chevauchent, mais présentent deux patrons statistiquement différents (taille : test de Kolmogorov-Smirnov amélioré;  $D = 0,673$ ;  $p < 0,001$  et masse : test de Kolmogorov-Smirnov amélioré;  $D = 0,703$ ;  $p < 0,001$ ; figure 4). Les anguilles résidentes étaient plus petites (taille moyenne de  $755 \pm 95$  mm) et montraient une masse (masse moyenne de  $867 \pm 379$  g) inférieure à celle des anguilles migrantes (taille moyenne de  $928 \pm 108$  mm; ANOVA :  $F_{1,435} = 166$ ;  $p < 0,001$  et masse moyenne de  $1\,763 \pm 649$  g; ANOVA :  $F_{1,435} = 160$ ;  $p < 0,001$ ; figure 3). Les anguilles résidentes étaient âgées de 5 à 19 ans et présentaient un âge moyen de  $10 \pm 3$  ans, alors que les anguilles migrantes étaient âgées de 8 à 19 ans et présentaient un âge moyen de  $13 \pm 2$  ans. L'âge moyen et la distribution de fréquence en âge des deux groupes étaient statistiquement différents (ANOVA :  $F_{1,435} = 100,4$ ;  $p < 0,001$ ; test de Kolmogorov-Smirnov amélioré :  $D = 0,629$ ;  $p < 0,001$ ; figure 4).

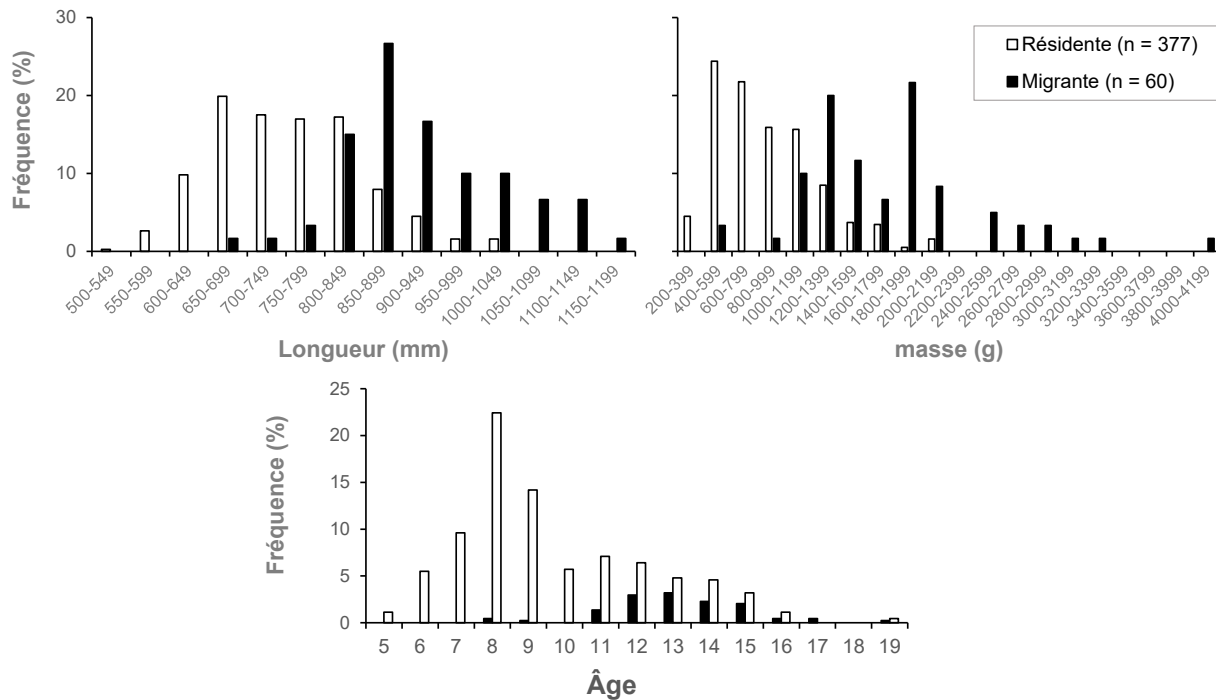


Figure 4. Distribution de fréquence des tailles, des masses et des âges des anguilles résidentes (IGS  $\leq 2$ ; barres blanches) et migrantes (IGS  $> 2$ ; barres noires) provenant de la pêche commerciale au lac Saint-Pierre et dans le secteur pont Lavolette-île d'Orléans (LSP-PLIO) en 2020-2021 (toutes années confondues).

Les tailles et les masses des 60 anguilles migrantes provenant du secteur LSP-PLIO ont été comparées aux 575 anguilles échantillonnées dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent (Estuaire) en 2020-2021 (figure 5). Les tailles (LSP-PLIO :  $928 \pm 108$  mm, Estuaire :  $909 \pm 99$  mm; ANOVA :  $F_{1,633} = 2,067$ ;  $p = 0,151$ ) et les masses moyennes (LSP-PLIO;  $1\,763 \pm 649$  g et Estuaire;  $1\,799 \pm 614$  g; ANOVA :  $F_{1,631} = 0,354$ ;  $p = 0,552$ ) ne montraient aucune différence significative entre les deux secteurs. La distribution en taille des migrantes était statistiquement similaire entre les deux secteurs (test de Kolmogorov-Smirnov amélioré :  $D = 0,091$ ;  $p = 0,68$ ; figure 5), alors que celle de la masse montrait des différences visuelles pour certaines classes de masse, mais aucune différence statistiquement significative entre les deux secteurs (test de Kolmogorov-Smirnov amélioré :  $D = 0,112$ ;  $p = 0,452$ ; figure 5). Les âges des 60 anguilles migrantes provenant du secteur LSP-PLIO ont aussi été comparés aux 298 anguilles âgées dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent (Estuaire) en 2020-2021. La distribution en âge des

migrantes provenant du secteur LSP-PLIO était plus étroite (8 à 19 ans) que celle de l'estuaire moyen (7 à 24 ans; figure 5). Cette différence est probablement attribuable, notamment à l'effectif réduit de l'échantillon du secteur LSP-PLIO comparativement à celui de l'estuaire moyen (60 c. 298 anguilles), combiné à la rareté des anguilles migrantes âgées de 7 ans (0,3 % dans l'estuaire moyen) ainsi que de 20 ans et plus (1 % dans l'estuaire moyen). L'âge moyen dans les deux secteurs était identique  $13 \pm 2$  ans (ANOVA :  $F_{1,356} = 0,04$ ;  $p = 0,842$ ), les deux distributions en âge étaient semblables (test de Kolmogorov-Smirnov amélioré :  $D = 0,041$ ;  $p = 0,948$ ) et montraient des valeurs maximales entre 12 et 14 ans (62 % des anguilles migrantes dans le secteur LSP-PLIO et 58 % dans l'estuaire moyen).

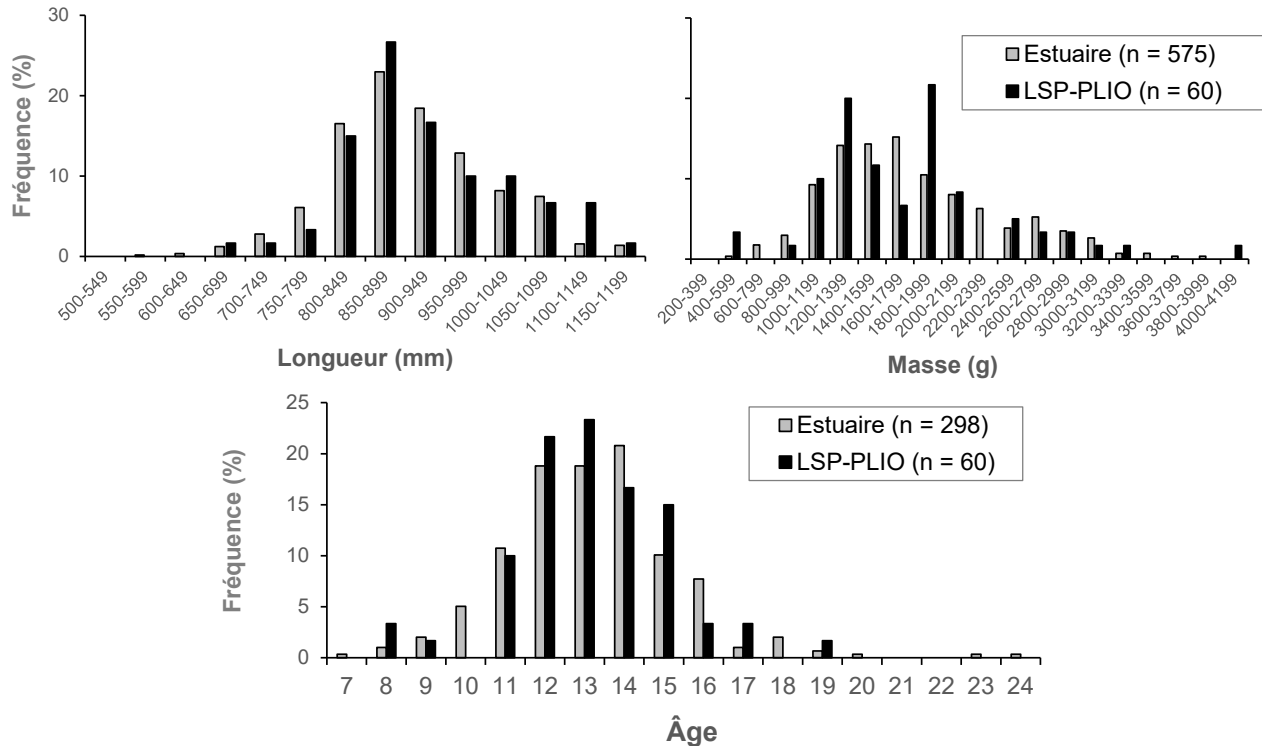


Figure 5. Distribution de fréquence des tailles, des masses et des âges des anguilles migrantes provenant de la pêche commerciale au lac Saint-Pierre et dans le secteur pont Laviolette-île d'Orléans (LSP-PLIO; barres noires) et dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent (Estuaire; barres grises) en 2020-2021 (toutes années confondues).

### 3.3.2 Atteinte de la maturité sexuelle en fonction de l'âge, de la taille et de la masse

Les prédictions des modèles de probabilité d'atteinte de la maturité sexuelle ( $IGS > 2$ ) en fonction de la taille, de la masse ou de l'âge sont présentées à la figure 6. L'aire sous la courbe (ASC) des trois modèles était située au-dessus de 0,8 (taille : 0,89; masse : 0,90; âge : 0,85), ce qui indique que tous les modèles ont une excellente capacité à distinguer les anguilles migrantes ( $IGS > 2$ ) des anguilles résidentes. La calibration des modèles, estimée par le Pseudo $R^2$  de McKelvey-Zavoïna, était de 0,50 pour la taille, de 0,52 pour la masse et de 0,36 pour l'âge. Le modèle le plus performant serait donc celui utilisant la masse, suivi de la taille et de l'âge. Selon les modèles, la probabilité d'être mature à 13 ans, à 883 mm ou à 1 440 g est de 25 %. Cette probabilité augmente à 50 % à 15 ans, 953 mm ou à 1 750 g, puis à 75 % à 18 ans, 1 022 mm ou 2 050 g et est de 90 % et plus à partir de 20 ans, 1 091 mm ou 2 360 g (figure 6).

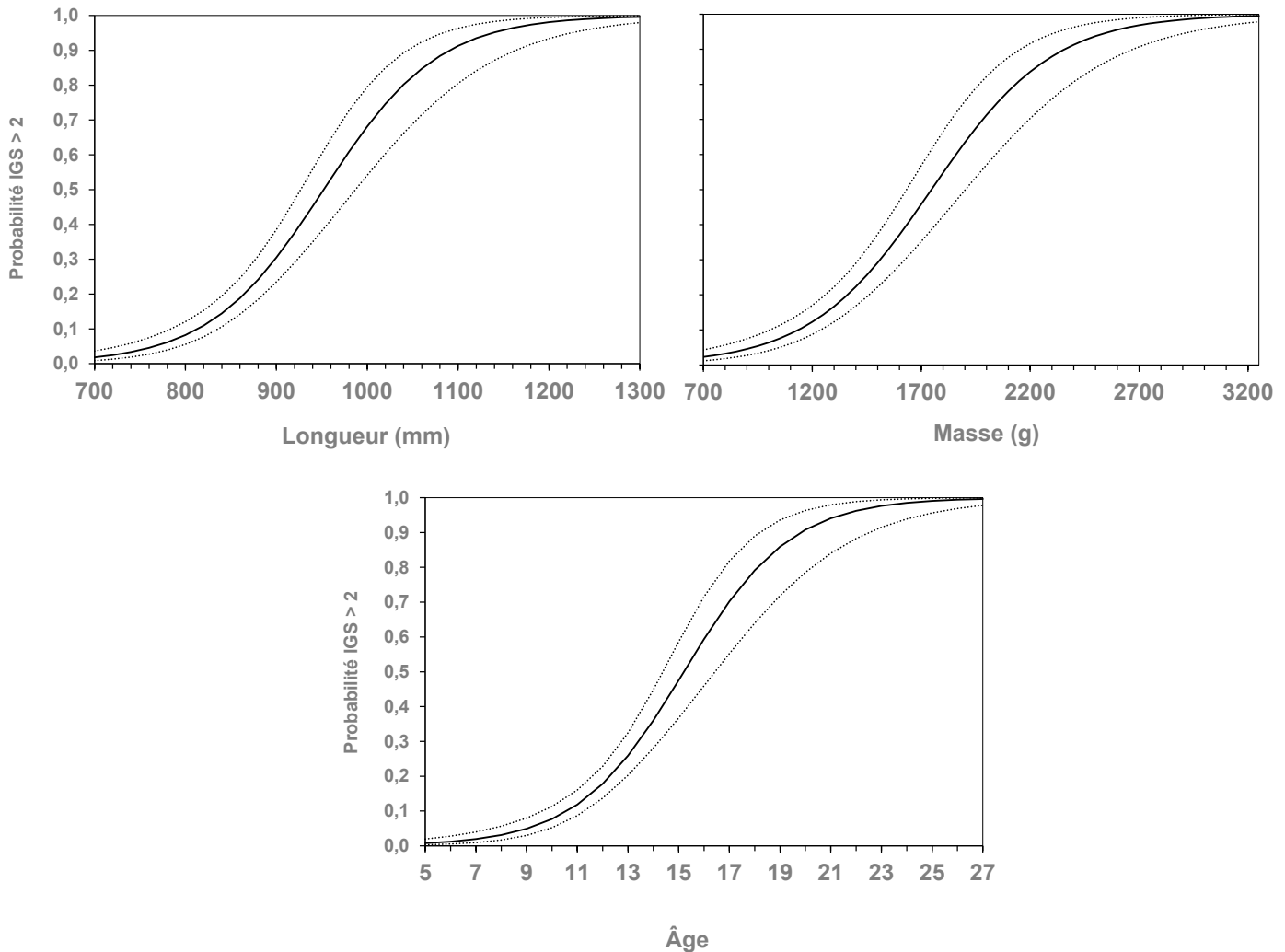


Figure 6. Probabilité d'atteinte de la maturité sexuelle (IGS > 2; anguille migrante) par les anguilles provenant de la pêche commerciale au lac Saint-Pierre et dans le secteur pont Laviolette-île d'Orléans (LSP-PLIO) en 2020-2021 en fonction de l'âge, de la longueur et de la masse. Les intervalles de confiance (IC; 95 %; courbes pointillées) sont présentés autour de la courbe pleine représentant les valeurs prédites.

### 3.4 Taux de disparition

Les taux de disparition totale annuelle des anguilles résidentes seulement et des anguilles résidentes et migrantes, tous stades confondus, calculés à partir des distributions en âge des anguilles échantillonnées en 2020 et en 2021 dans la pêcherie commerciale du secteur LSP-PLIO sont présentés au tableau 2. Les groupes d'âge considérés dans ces calculs sont ceux de 9 à 19 ans. Ces taux sont légèrement plus élevés lorsque l'on considère uniquement les anguilles résidentes plutôt que les deux stades confondus (pour 2020-2021 : 31,9 % et 29,7 %, respectivement) étant donné le retrait d'individus dans les groupes d'âge supérieurs, ce qui augmente la pente de la distribution des données. Les taux de 2020 (résidentes : 27,9 %; résidentes et migrantes : 27,7 %) sont un peu plus faibles que ceux de 2021 (32,7 % et 30,0 %, respectivement), mais leurs intervalles de confiance se chevauchent (tableau 2).

Tableau 2. Taux de disparition totale annuelle (valeur en %) et intervalles de confiance à 95 % (IC95) des anguilles résidentes seulement et des anguilles résidentes et migrantes en 2020, en 2021 et pour les deux années confondues, mesurés à partir des échantillonnages d'anguilles provenant de la pêche commerciale au lac Saint-Pierre et dans le secteur pont Laviolette-île d'Orléans (LSP-PLIO).

	Anguilles résidentes		Anguilles résidentes et migrantes	
	Valeur (%)	IC95	Valeur (%)	IC95
<b>2020-2021</b>	31,9	24,3–38,7	29,7	20,0–38,3
<b>2020</b>	27,9	20,5–34,7	27,7	18,1–36,2
<b>2021</b>	32,7	24,7–39,8	30,0	20,6–38,3

### 3.5 Prévalence d'anguilles issues des transferts

La proportion d'anguilles provenant des transferts, c'est-à-dire marquées à l'OTC, est estimée en 2020 à 2,26 % et en 2021 à 2,06 % (tableau 3). Le taux est plus élevé chez les anguilles migrantes (5,26 % et 11,11 % pour 2020 et 2021 respectivement) que chez les anguilles résidentes (1,75 % et 0,78 % pour 2020 et 2021 respectivement). Une fois pondérée en fonction des débarquements annuels pour chaque stade (2020 : 11,6 t résidentes et 3,5 t migrantes; 2021 : 11,1 t résidentes et 3,8 t migrantes; voir la section suivante), la proportion d'anguilles marquées dans la récolte commerciale passe à 2,6 % en 2020 et à 3,4 % en 2021.

Tableau 3. Proportion d'anguilles migrantes et résidentes marquées à l'OTC échantillonnées en 2020 et en 2021 dans la récolte commerciale du lac Saint-Pierre et du secteur pont Laviolette-île d'Orléans (LSP-PLIO). Les proportions présentées ne sont pas pondérées en fonction des débarquements.

Année/stade	N <sup>bre</sup> marquées à l'OTC		Proportion marquées (%)
	Non marquées	Marquées	
<b>2020</b>	<b>133</b>	<b>3</b>	<b>2,26</b>
Migrantes	19	1	5,26
Résidentes	114	2	1,75
<b>2021</b>	<b>291</b>	<b>6</b>	<b>2,06</b>
Migrantes	36	4	11,11
Résidentes	255	2	0,78

### 3.6 Débarquements commerciaux et taux d'exploitation

#### 3.6.1 Débarquements historiques et succès de pêche

Le débarquement maximum annuel déclaré par les pêcheurs commerciaux durant la période 1986-2023 dans les secteurs LSP et PLIO a atteint 143,4 tonnes d'anguilles en 1990 (figure 7), ce qui équivaut à environ 145 000 anguilles selon la répartition entre les anguilles résidentes et migrantes et leurs masses moyennes de 2020-2021 (voir la section suivante). Les débarquements d'anguilles ont ensuite connu une baisse marquée jusqu'en 2016. Depuis 2016, les débarquements d'anguilles récoltées dans les deux

secteurs confondus varient entre 13,5 et 21,2 tonnes (environ de 14 000 à 21 000 anguilles), à l'exception d'une hausse enregistrée en 2023 (environ 35 000 anguilles). Cette hausse est survenue sans changement à l'effort de pêche autorisé dans les deux secteurs par rapport à 2022 (tableau 4).

En ce qui concerne uniquement le LSP, les débarquements d'anguilles déclarés par les pêcheurs commerciaux ont atteint un maximum de 69,8 tonnes en 1986 (environ 70 000 anguilles) puis ont progressivement diminué de 90 % pour atteindre 6,2 tonnes en 2008 (environ 6 000 anguilles; figure 7). Depuis 2008, les débarquements annuels d'anguilles au LSP ne montrent plus de tendance temporelle et varient de 4,0 à 8,1 tonnes, soit environ de 4 000 à 8 000 anguilles annuellement, à l'exception d'une hausse récente enregistrée en 2023 – année où le débarquement annuel a atteint un niveau jamais enregistré au cours des 20 dernières années (16,6 tonnes, soit environ 17 000 anguilles; figure 7). La proportion des débarquements commerciaux d'anguilles pêchées aux verveux dans les deux secteurs provenant uniquement du LSP a montré une tendance à la baisse au cours de la période 1986-2008, particulièrement à la suite du déploiement des programmes de rachat dans ce secteur (figure 8 et tableau 4). Depuis 2008, cette tendance s'est inversée (figure 8).

Les débarquements d'anguilles dans le secteur PLIO de 1986 à 2001 ont fluctué entre 47 et 90 tonnes (environ de 47 000 à 91 000 anguilles) (figure 7). Une diminution de 80 % des débarquements dans ce secteur a ensuite été enregistrée de 2001 à 2016. Depuis 2016, les débarquements d'anguilles dans le secteur PLIO se situent généralement entre 9,3 tonnes et 15,9 tonnes annuellement (environ de 9 000 à 16 000 anguilles), mais une hausse a été enregistrée en 2023 (18,2 tonnes, soit environ 18 000 anguilles; figure 7).

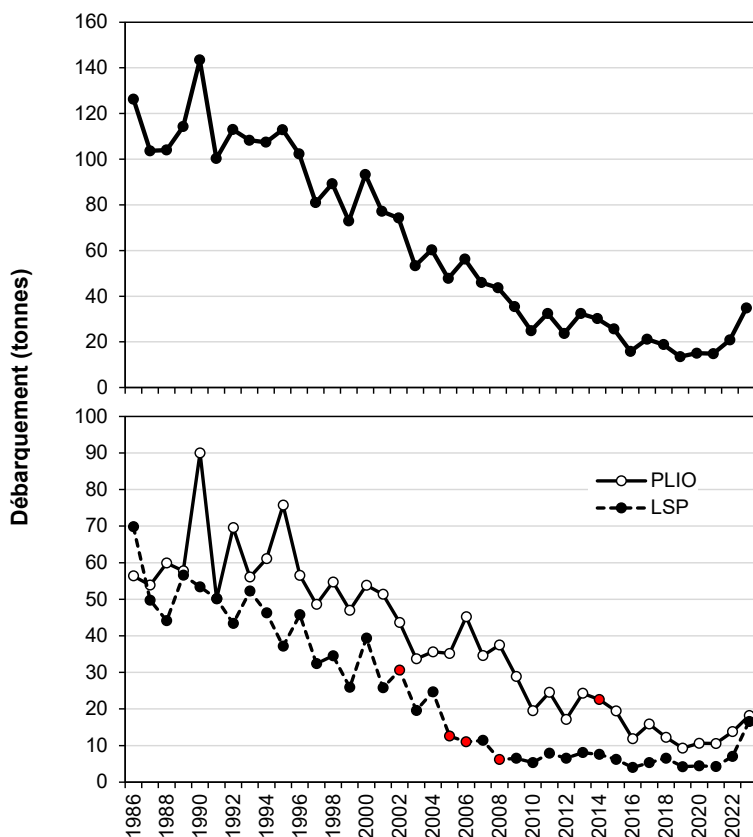


Figure 7. Débarquements annuels d'anguilles (tonnes) déclarés dans la pêcherie commerciale aux verveux du lac Saint-Pierre (LSP) et du secteur pont Lavolette–île d'Orléans (PLIO) de 1986 à 2023. Les données sont présentées sans distinction entre les secteurs (panneau du haut) et par secteur (panneau du bas). Les points rouges indiquent les années de rachat de permis de pêche commerciale (voir les détails au tableau 4).

Tableau 4. Nombre de permis de pêche commerciale et nombre maximal de verveux dont le déploiement est autorisé au lac Saint-Pierre (LSP) et dans le secteur pont Laviolette-île d'Orléans (PLIO) de 1986 à 2023. Le nombre de verveux déployés, basé sur les résultats des décomptes ponctuels d'engins sur le terrain, est aussi présenté.

Année	Secteur						Remarques	
	LSP			PLIO				
	Permis (N <sup>bre</sup> )	Verveux (N <sup>bre</sup> )		Permis (N <sup>bre</sup> )	Verveux (N <sup>bre</sup> )			
	Autorisés*	Déployés**		Autorisés*	Déployés**			
1986	42	2100						
2002	36	1800		26	1377		1 <sup>er</sup> rachat de permis au LSP	
2003			1269					
2005	19	950	862					2 <sup>e</sup> rachat de permis au LSP
2006	18	900						3 <sup>e</sup> rachat de permis au LSP
2008			268				825***	4 <sup>e</sup> rachat de permis au LSP
2013	6	300		15	877	748		
2014						652	Rachat de permis dans le secteur PLIO	
2017								
2019								
2020	5	250	242					
2021			234			433		
2022	6	300						
2023						446		

\* Au LSP, le nombre de verveux autorisé varie au cours de la saison de pêche. Le nombre de verveux présenté correspond au maximum annuel; 180 (1<sup>er</sup> au 30 avril; secteurs printaniers seulement), 240 (1<sup>er</sup> au 31 mai et 1<sup>er</sup> septembre au 30 novembre) et 300 (1<sup>er</sup> juin au 31 août) verveux sont autorisés depuis 2008, soit 30, 40 ou 50 verveux par permis, dépendamment de la période. Depuis le rachat de permis dans le secteur PLIO, 877 verveux sont autorisés, soit entre 25 et 162 par permis (moyennes de 58 verveux autorisés par permis toute l'année depuis 2014 et de 53 verveux par permis avant 2014).

\*\* Correspond au nombre maximum inventorié une année donnée. La répartition spatiale des verveux localisés durant 4 périodes de pêche (avril, mai, juillet et octobre) en 2021 est présentée dans l'annexe 2.

\*\*\* Correspond au nombre maximum d'engins inventoriés en 2008 et en 2010.

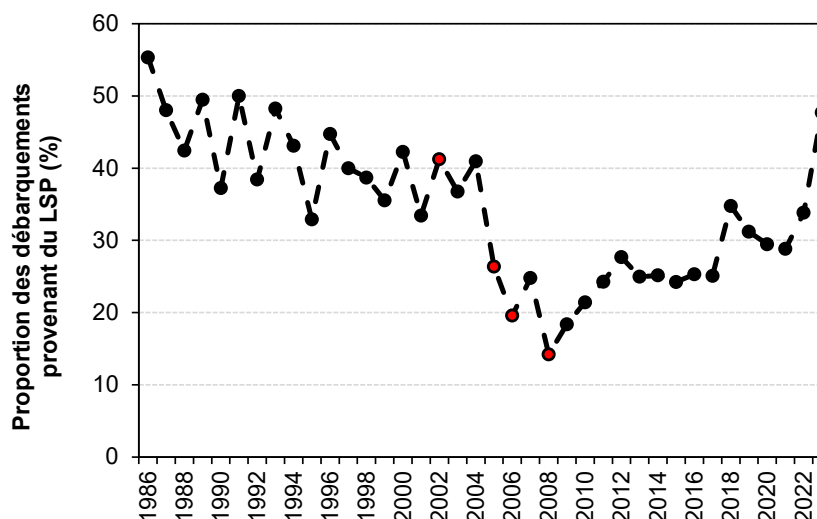


Figure 8. Proportion des débarquements annuels d'anguilles (tonnes) provenant uniquement du LSP dans la récolte totale aux verveux déclarée dans le secteur LSP-PLIO de 1986 à 2023. Les points rouges indiquent les années de rachat de permis de pêche commerciale au LSP (voir les détails au tableau 4).

La diminution des débarquements d'anguilles dans les deux secteurs de pêche commerciale peut en partie s'expliquer par la réduction de l'effort de pêche. Au LSP, quatre campagnes de rachat de permis de pêche commerciale ont fait passer le nombre de permis de 42 en 1986 (2 100 verveux autorisés) à 6 permis en 2008 (300 verveux) (tableau 4). Entre 2008 et 2022, la stabilité des débarquements annuels d'anguilles au LSP coïncide avec une stabilité du nombre de verveux autorisés dans ce secteur. Des décomptes de verveux de pêche commerciale réalisés en 2020 et en 2021 suggèrent que la majorité des verveux autorisés sont réellement déployés annuellement au LSP (tableau 4). Après une baisse graduelle des succès de pêche enregistrée au LSP entre 1986 et 2007, le succès s'est stabilisé ou au mieux, a montré une légère tendance temporaire à la hausse à la suite des rachats de permis (figure 9). En 2023, une hausse marquée du succès de pêche a été enregistrée au LSP, dépassant le succès historique observé en 1996 (figure 9). Cette hausse est survenue 15 ans après la fin du dernier rachat de permis de pêche réalisé au LSP.

Dans le secteur PLIO, une campagne de rachat de verveux a fait passer le nombre de verveux autorisés de 1 377 pour la période de 1986 à 2013 à 877 en 2014 (tableau 4). Cependant, des décomptes de verveux indiquent que ce rachat n'a eu qu'un faible impact sur l'effort de pêche déployé dans ce secteur. Le nombre de verveux autorisés à partir de 2014 (877) était supérieur au nombre réellement déployé par les pêcheurs avant le rachat (825 en 2008 et 748 en 2013; tableau 4). Récemment, l'effort de pêche commerciale, mesuré sur le terrain lors des décomptes de verveux en 2021 et en 2023, a diminué de moitié par rapport à la période pré-rachat et s'est stabilisé à environ 400 verveux déployés annuellement dans le secteur PLIO (tableau 4). Cette diminution de l'effort de pêche dans le secteur PLIO s'est notamment répercutée sur la répartition des débarquements totaux entre les deux secteurs de pêche au profit du LSP (figure 8). Après une baisse graduelle du succès de pêche survenue entre 1986 et 2012, le succès s'est stabilisé et montre, pour un effort de pêche comparable, une tendance à la hausse en 2023, moins marquée qu'au LSP (figure 9). Il convient de rappeler que contrairement au LSP, l'effort de pêche autorisé annuellement dans le secteur PLIO n'est pas exercé en totalité, ce qui limite la comparaison des succès de pêche entre les deux secteurs.

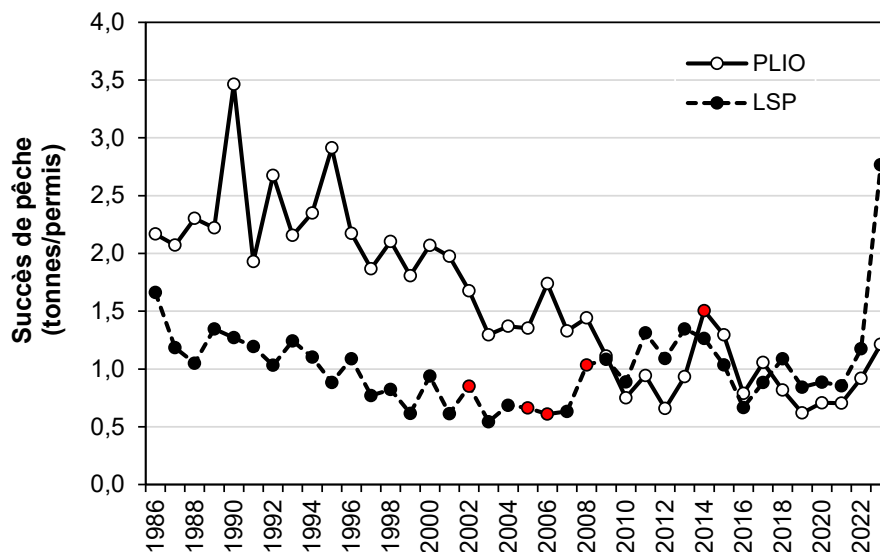


Figure 9. Succès de pêche aux verveux au lac Saint-Pierre (LSP) et dans le secteur pont Lavolette-île d'Orléans (PLIO) de 1986 à 2023. Les points rouges indiquent les années de rachat de permis de pêche commerciale (voir les détails au tableau 4). Il est à noter que les succès de pêche ne sont pas comparables entre les deux secteurs puisque l'effort autorisé et réellement déployé par permis diffère entre les secteurs (LSP : maximum annuel de 50 verveux autorisés par permis; PLIO : moyennes de 58 verveux autorisés par permis toute l'année depuis 2014 et de 53 verveux par permis avant 2014; contrairement au LSP, l'effort de pêche autorisé annuellement dans le secteur PLIO n'est pas déployé en totalité; tableau 4).

### 3.6.2 Proportion et nombre d'anguilles résidentes et migrantes prélevées en 2020 et en 2021

En 2020, environ 11,6 tonnes (77 %) d'anguilles résidentes et 3,5 tonnes (23 %) d'anguilles migrantes ont été prélevées à la pêche commerciale dans les deux secteurs à l'étude. La majorité des anguilles migrantes ont été prélevées aux mois d'août et septembre 2020 (figure 10). En considérant la masse moyenne des anguilles résidentes (892 g) et migrantes (1 669 g) échantillonnées en 2020, on peut estimer la récolte commerciale à 12 985 anguilles résidentes et 2 083 anguilles migrantes au cours de cette année. En 2021, environ 11,1 tonnes d'anguilles résidentes (74 %) et 3,8 tonnes d'anguilles résidentes (26 %) ont été prélevées à la pêche commerciale. En fonction des masses moyennes mesurées en 2021 (résidentes : 856 g; migrantes : 1 810 g), on estime que 12 910 anguilles résidentes et 2 096 anguilles migrantes ont été prélevées en 2021. Le prélèvement d'anguilles migrantes a augmenté d'avril à juin pour ensuite être relativement stable de juillet à septembre (figure 10). Cinquante pour cent des anguilles migrantes ont été prélevées durant les mois d'août et de septembre en 2021 et 66 % en 2020. À noter que ces anguilles qualifiées de migrantes sont sexuellement matures, mais pas nécessairement capturées pendant leur migration de fraie. Certaines d'entre elles proviennent de l'amont du système et sont capturées lors de leur transit dans les secteurs LSP et PLIO alors que d'autres sont des anguilles qui se sont métamorphosées et qui entameront leur migration plus tard dans la saison.

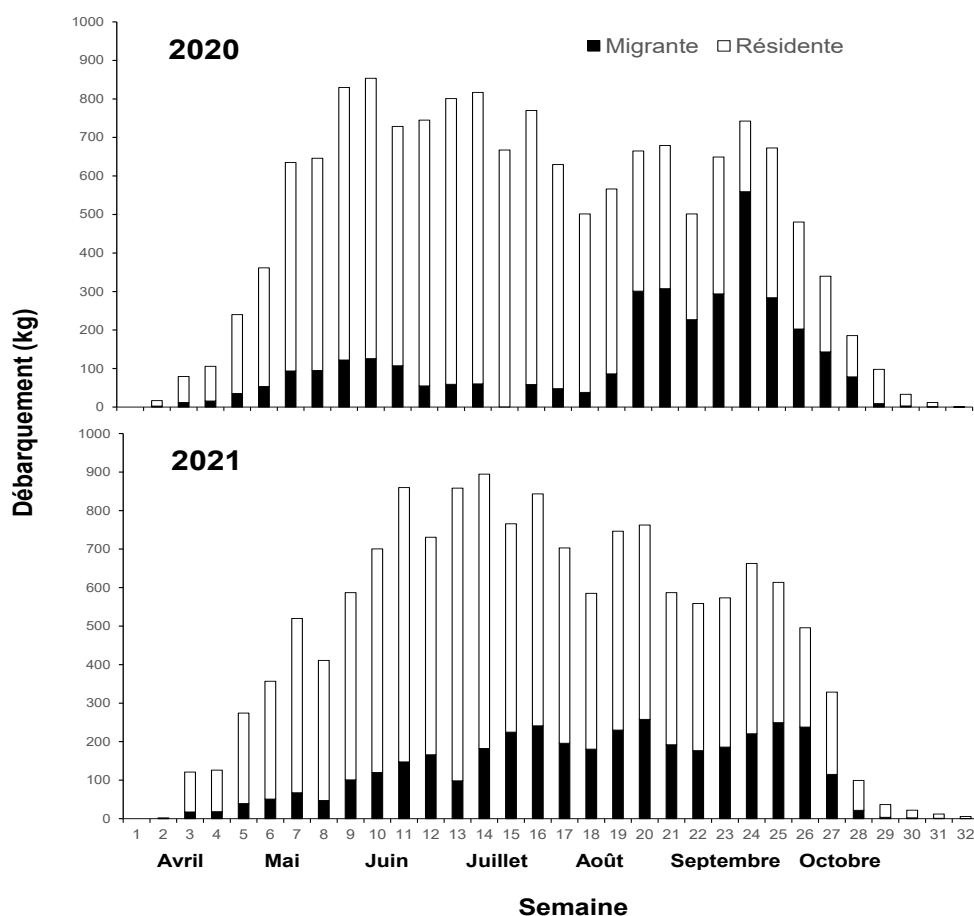


Figure 10. Répartition par stade de développement (anguilles résidentes : blanc; anguilles migrantes : noir) des débarquements d'anguilles déclarés (en kg) hebdomadairement par les pêcheurs commerciaux des secteurs LSP et PLIO en 2020 (panneau du haut) et en 2021 (panneau du bas).



### 3.6.3 Taux d'exploitation des anguilles migrantes

Le contingent d'anguilles migrantes ayant atteint l'estuaire moyen du Saint-Laurent a été estimé, selon le modèle vraisemblable, à 179 007 (104 837–260 750, correspondant aux estimations pessimiste et optimiste) et 179 865 (103 205–264 891) individus en 2020 et en 2021, respectivement (MELCCFP, en préparation). En fonction de l'estimation des débarquements en nombre d'anguilles migrantes présentée à la section précédente, le taux d'exploitation des anguilles migrantes par la pêche commerciale dans les secteurs LSP et PLIO aurait été de 1,15 % (0,79 %–1,94 %) en 2020 et de 1,18 % (0,81 %–2,04 %) en 2021 (figure 10).

En se basant sur la proportion en biomasse d'anguilles migrantes dans la récolte (moyenne de 2020-2021 : 24 %) et leur masse (moyenne de 2020-2021 : 1 763,9 g), les débarquements annuels d'anguilles migrantes (en nombre d'anguilles) ont été estimés pour la période de 1996 à 2022. Le taux d'exploitation des anguilles migrantes dans le secteur LSP-PLIO s'est maintenu relativement stable de 1996 à 2008, variant entre 2,3 % et 3,2 % (moyenne de  $2,7 \pm 0,3$  %; modèle vraisemblable; figure 11). Les taux d'exploitation de la période de 2009 à 2015 ont montré une deuxième période de relative stabilité. Ils se situaient en effet entre 1,6 % et 2,3 % (moyenne de  $2,0 \pm 0,3$  %; modèle vraisemblable; figure 11), ce qui est légèrement plus faible que lors de la période 1996-2008. La diminution du taux d'exploitation coïncide avec la réduction de l'effort de pêche au LSP, induite par les quatre campagnes de rachat de permis de pêche commerciale, qui ont culminé en 2008 (tableau 4). Depuis 2016, une troisième période de relative stabilité du taux d'exploitation des anguilles migrantes a été observée (1,0–1,7 %; moyenne de  $1,3 \pm 0,3$  %; figure 11). Cette période coïncide avec une baisse récente de l'effort de pêche dans le secteur PLIO (tableau 4). En somme, une baisse globale du taux d'exploitation a été enregistrée entre 1996 et 2022 (figure 11). Cette baisse a été en moyenne de 0,065 % par année, pour une réduction globale de 57,2 % du taux d'exploitation sur l'ensemble de la période 1996-2022 (estimation basée sur une régression linéaire; figure 11).

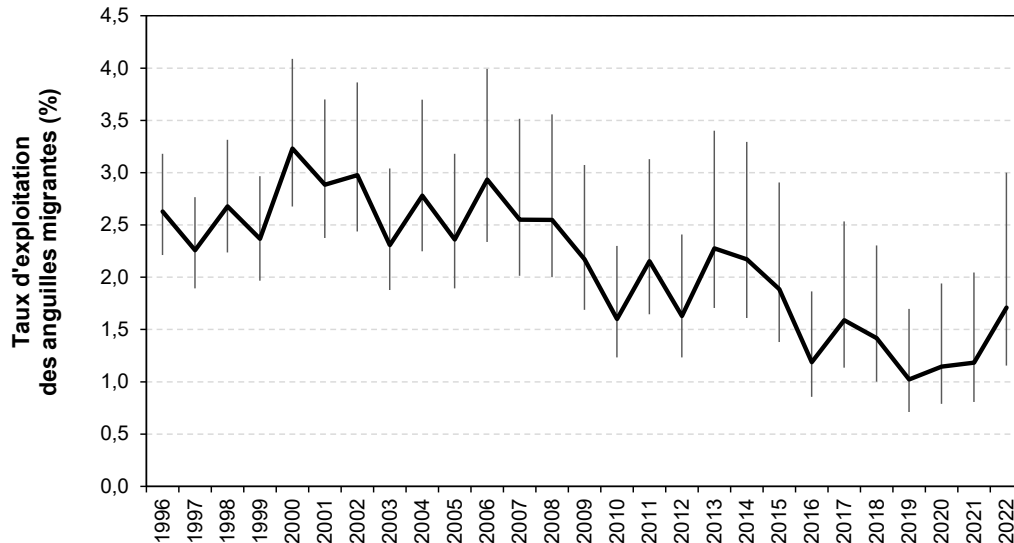


Figure 11. Taux d'exploitation annuel attribuable au prélèvement des anguilles migrantes par la pêche commerciale aux verveux dans le secteur LSP-PLIO de 1996 à 2022. Le taux d'exploitation est calculé en fonction des débarquements déclarés et de l'estimation du contingent d'anguilles migrantes ayant dévalé annuellement le fleuve Saint-Laurent à la hauteur de Québec (MELCCFP, en préparation). Le taux d'exploitation moyen (courbe noire) est calculé en utilisant l'estimation vraisemblable du contingent d'anguilles migrantes ayant dévalé le fleuve, alors que les valeurs minimum et maximum représentent les taux d'exploitation calculés en fonction des estimations pessimiste et optimiste du contingent d'anguilles migrantes (lignes verticales grises).

### 3.6.4 Taux d'exploitation cumulatif (anguilles résidentes et migrantes)

L'annexe 1 présente l'estimation du nombre d'anguilles migrantes additionnelles qui se seraient potentiellement ajoutées au contingent d'anguilles ayant atteint l'estuaire moyen du Saint-Laurent en l'absence de prélèvement d'anguilles résidentes dans le secteur LSP-PLIO. L'estimation est basée sur la répartition de la récolte commerciale annuelle d'anguilles résidentes de 1986 à 2021 (nombre estimé à partir de la proportion en biomasse d'anguilles résidentes dans la récolte et de leur masse; moyenne de 2020-2021 : 76 % et 867 g) en fonction de leur année de migration potentielle, si elles n'avaient pas été prélevées par la pêche. La répartition en âge des anguilles résidentes récoltées (figure 4), la probabilité d'atteinte de la maturité sexuelle à l'âge (figure 6) et un taux de survie annuelle de 92,5 % ont été appliqués pour simuler les contingents d'anguilles migrantes à partir du nombre d'anguilles résidentes récoltées annuellement. À noter que la variation mensuelle des débarquements n'a pas été prise en compte puisque l'âge des anguilles résidentes capturées en 2020-2021 n'était pas influencé par le mois d'échantillonnage (GLM basé sur une distribution de poisson;  $p > 0,05$ ). La structure en âge globale (figure 4) a donc été utilisée pour répartir la récolte d'anguilles résidentes en fonction des différents groupes d'âge. Les résultats présentés à l'annexe 1 illustrent que le prélèvement d'anguilles résidentes une année donnée a une influence sur le stock d'anguilles migrantes sur une période qui s'échelonne jusqu'à la 14<sup>e</sup> année suivante.

Le taux d'exploitation attribuable précisément au prélèvement d'anguilles résidentes lors des années de pêche précédentes était de trois (2022) à huit (2010) fois plus élevé que le taux lié au prélèvement d'anguilles migrantes, dépendamment des années (figure 12). Le taux d'exploitation annuel cumulatif (non corrigé) attribuable au prélèvement d'anguilles résidentes et migrantes a connu une baisse globale entre 2000 et 2022 (figure 12). Cette baisse a été en moyenne de 0,478 % par année, pour une réduction globale de 56,9 % du taux d'exploitation sur l'ensemble de la période 2000-2022 (estimation basée sur une régression linéaire; modèle vraisemblable; figure 12). Le taux d'exploitation cumulatif a été relativement stable de 2000 à 2008, variant entre 16,1 % et 16,8 % (moyenne de  $16,5 \pm 0,3$  %; modèle vraisemblable; figure 12), et a ensuite connu une baisse graduelle à partir de 2009, pour atteindre une moyenne de  $7,5 \pm 0,01$  % en 2021-2022 (figure 12).

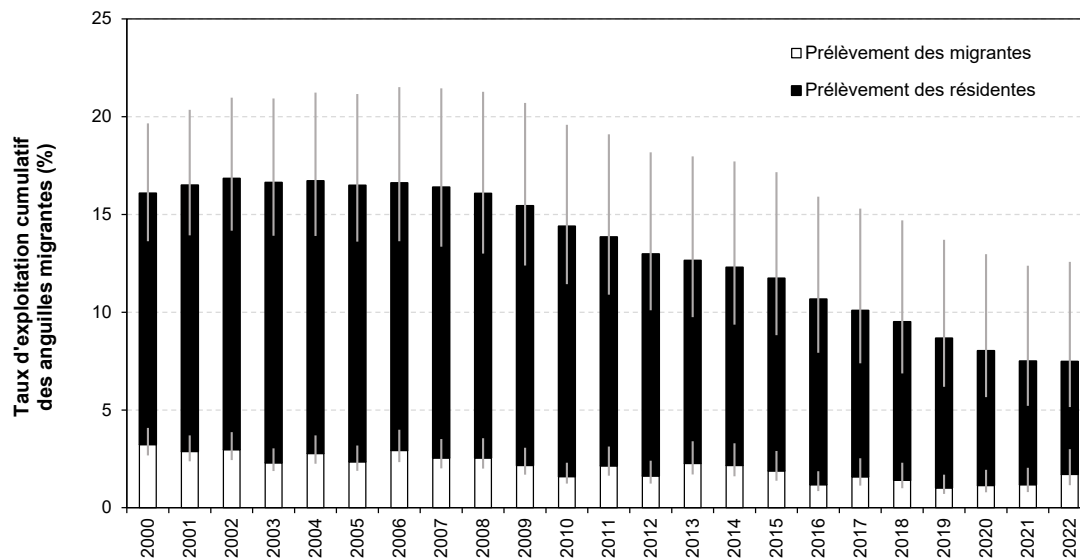


Figure 12. Taux d'exploitation annuel cumulatif (non corrigé) attribuable au prélèvement d'anguilles migrantes (blanc) et à l'exploitation des anguilles résidentes au cours des années précédentes de pêche commerciale (noir) aux verveux dans le secteur LSP-PLIO de 2000 à 2022. Le taux d'exploitation est estimé en fonction des débarquements déclarés et de l'estimation du contingent d'anguilles migrantes ayant dévalé annuellement le fleuve Saint-Laurent à la hauteur de Québec (MELCCFP, en préparation). Le taux d'exploitation moyen est calculé en utilisant l'estimation vraisemblable du contingent d'anguilles migrantes ayant dévalé le fleuve, alors que les valeurs minimum et maximum (lignes verticales grises) représentent les taux d'exploitation calculés en fonction des estimations pessimiste et optimiste du contingent d'anguilles migrantes.

La correction à la hausse du nombre d'anguilles migrantes qui auraient été récoltées annuellement en l'absence d'exploitation des anguilles résidentes n'a eu que très peu d'effet sur l'estimation du taux d'exploitation cumulatif. Dépendamment des années, le taux d'exploitation annuel cumulatif corrigé (7,6 % en 2021 et 17,2 % en 2002; modèle vraisemblable) était plus élevé de 0,1 à 0,4 point de pourcentage que le taux non corrigé.

## 4. Discussion

### 4.1 Caractéristiques morphologiques et âge des anguilles

La totalité des anguilles échantillonnées dans la pêcherie commerciale aux verveux du secteur LSP-PLIO en 2020 et en 2021 étaient des femelles. Il est reconnu que la différenciation sexuelle chez l'anguille d'Amérique survient lors de sa phase continentale de croissance au stade d'anguille jaune et qu'elle est influencée par des conditions environnementales et principalement par la densité de la population (COSEPAC, 2006). Une forte densité d'anguilles favorise la production de mâles (COSEPAC, 2006). Les eaux du système Saint-Laurent sont reconnues pour produire presque exclusivement des femelles et le secteur LSP-PLIO ne fait pas exception. Les anguilles échantillonnées en 2020 étaient semblables à celles de 2021 au regard de leur taille, de leur masse et de leur âge. De plus, les tailles et les masses des anguilles récoltées dans la pêcherie commerciale du secteur LSP-PLIO depuis les années 1980 ne présentaient aucune tendance temporelle marquée. Les tailles et les masses des anguilles de 2020-2021 étaient relativement similaires à ce qui était récolté en 1983 ainsi qu'en 1996-1997, et ce, malgré la chute importante de l'abondance de l'espèce dans le système. Cette similitude s'explique notamment par la stabilité historique de la sélectivité des engins de pêche commerciale utilisés pour l'exploitation de l'anguille dans les secteurs LSP et PLIO.

### 4.2 Atteinte de la maturité sexuelle

Les distributions en taille, en masse et en âge étaient différentes chez les anguilles résidentes et migrantes, mais présentaient un chevauchement important entre les deux stades, qui est notamment révélateur de l'atteinte graduelle de la maturité sexuelle chez l'anguille. Les anguilles résidentes étaient en moyenne âgées de  $10 \pm 3$  ans (5–19 ans), mesuraient  $755 \pm 95$  mm (541–1044 mm) et pesaient  $867 \pm 379$  g (251–2094 g), alors que les anguilles migrantes étaient âgées de  $13 \pm 2$  ans (8 à 19 ans), mesuraient  $928 \pm 108$  mm (669–1 156 mm) et pesaient  $1 763 \pm 649$  g (524–4 084 g). La masse et l'âge des anguilles classées comme étant migrantes en 2020-2021 selon le critère de l'IGS ( $IGS > 2$ ) étaient semblables à ceux des anguilles capturées les mêmes années dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent pendant la période de migration de fraie. L'utilisation de la masse des gonades pour différencier les anguilles sexuellement matures et immatures s'est donc avérée adéquate, comparativement aux mesures de diamètre oculaire inspirées des travaux de Pakhurst (1982), lesquels ont été invalidés par Acou et collab. (2006) et Cottrill et collab. (2002) chez l'anguille européenne et américaine, respectivement. Cottrill et collab. (2002) ont d'ailleurs démontré que les critères morphologiques uniques comme la taille, la masse ou les autres paramètres utilisés chez les anguilles européenne et australienne, soit notamment le diamètre oculaire et la longueur de la nageoire pectorale, ne peuvent s'appliquer aux anguilles du système Saint-Laurent. Ce constat s'expliquerait par une plus grande période de transformation chez l'anguille d'Amérique, produisant des stades intermédiaires. Fontaine (1994) précise qu'on ne peut éliminer la possibilité que les étapes de métamorphose s'échelonnent sur plus d'une année aussi chez l'anguille européenne, et que des anguilles résidentes dont la maturation sexuelle a débuté puissent ne pas entreprendre leur migration de fraie immédiatement. L'utilisation de modèles multivariés appliquant plusieurs critères morphométriques simultanément permettrait d'identifier plus adéquatement les anguilles migrantes, mais présenterait une marge d'erreur ainsi que des contraintes analytiques considérables (Cottrill et collab., 2002). La confirmation de l'atteinte de la maturité sexuelle par l'analyse des gonades représente le critère le plus précis et direct, et il s'est avéré efficace dans le cadre de la présente étude. Toujours selon Cottrill et collab. (2002), les anguilles migrantes du Saint-Laurent présenteraient deux des

trois critères suivants : un IGS supérieur à 2, un diamètre d'ovocyte moyen supérieur à 0,13 mm et une proportion d'ovocytes de stade 3 et 4 de plus de 75 %. Dans les prochaines études portant sur les anguilles du système Saint-Laurent, le diamètre et les stades de développement des ovocytes (Dutil et collab., 1985; Couillard et collab., 1997) pourraient être ajoutés à la mesure de la masse des gonades afin de raffiner les critères d'évaluation de la maturité sexuelle des anguilles. Les mêmes mesures chez des anguilles provenant de l'estuaire moyen du Saint-Laurent pourraient aussi être utilisées à titre de référence.

Les modèles probabilistes développés dans la présente étude ont permis de déterminer l'âge, la taille ainsi que la masse à maturité sexuelle des anguilles du secteur LSP-PLIO en 2020-2021, soit l'atteinte d'une probabilité de 50 % d'être sexuellement mature selon un IGS supérieur à 2. L'âge, la taille et la masse à maturité étaient de 15 ans, 953 mm et 1 750 g respectivement. Les trois modèles avaient une excellente capacité de distinguer les anguilles migrantes, mais le modèle utilisant la masse était légèrement plus performant que celui utilisant la taille, qui était lui-même plus performant que celui basé sur l'âge. L'âge à maturité des femelles est reconnu pour être fonction de la longueur chez l'anguille européenne (Vøllestad et Jonsson, 1986; De Leo et Gatto, 1996). Ceci pourrait notamment expliquer la meilleure performance du modèle utilisant la longueur par rapport à celui basé sur l'âge. Un meilleur classement des anguilles sexuellement matures basé sur l'ensemble des critères recommandés par Cottrill et collab. (2002) ainsi qu'un échantillon plus élevé d'anguilles migrantes permettraient d'améliorer ces modèles dans le futur. Cottrill et collab. (2002) ainsi que Hurley (1972) suggèrent que la probabilité qu'une anguille d'une longueur de moins de 800 mm soit migrante dans le Haut-Saint-Laurent est presque inexistante. C'est également le cas dans le secteur LSP-PLIO puisque selon le modèle, la probabilité d'être sexuellement mature à 800 mm était de 8 %. La proportion d'anguilles mesurant moins de 800 mm parmi les anguilles migrantes capturées dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent est plus élevée et était de 10,6 % en 2020-2021. L'âge à maturité de 15 ans estimé par modélisation est plus élevé que l'âge moyen de 13 ans estimé chez les anguilles migrantes en 2020-2021 dans le secteur LSP-PLIO et dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Ces âges sont beaucoup plus faibles que les âges moyens de 20 ou 21 ans des anguilles migrantes dans l'aire écologique d'eau douce du Saint-Laurent, soit les Grands Lacs et le secteur ouest du Saint-Laurent, mesurés dans plusieurs études antérieures et recensés dans le rapport de situation du COSEPAC (2006). La taille à maturité sexuelle et la taille moyenne des anguilles migrantes, de 953 mm et 928 mm respectivement, se situent pour leur part dans la gamme des tailles moyennes recensées qui varie de 837 à 1 019 mm (COSEPAC, 2006). La période de migration des anguilles adultes identifiée dans les études antérieures, qui s'étend de juin à octobre (COSEPAC, 2006), est similaire à la période de présence accrue d'anguilles migrantes dans la pêcherie du secteur LSP-PLIO, majoritairement concentrée entre juillet et septembre.

### 4.3 Prévalence d'anguilles issues des transferts et du parasite *A. Crassus*

La proportion des anguilles classées comme migrantes et provenant des transferts de 2005 à 2010 était plus faible dans le secteur LSP-PLIO que ce qui a été mesuré dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent en 2020 (5,3 % c. 34,5 %) et en 2021 (11,1 % c. 16,3 %; Landry-Massicotte et collab., 2022). Cette différence pourrait notamment s'expliquer par le fait que la majorité des anguilles issues des transferts sont capturées tard au cours de la saison de migration, soit majoritairement au mois de novembre dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent (Landry-Massicotte et collab., 2022, 2024). La probabilité de capture de ces anguilles dans le secteur LSP-PLIO diminue de façon importante à partir du début octobre. La proportion de la récolte annuelle d'anguilles migrantes en octobre et en novembre n'était que de 6,7 % en 2020 et de 3,8 % en 2021. Selon Landry-Massicotte et collab. (2022), la localisation géographique éloignée des eaux de croissance des anguilles transférées pourrait expliquer la date tardive de leur migration dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent, ce qui indiquerait un passage tardif dans le secteur LSP-PLIO. En effet, deux des cinq anguilles migrantes issues des transferts provenaient des échantillonnages menés à la fin du mois d'octobre. Le faible nombre de spécimens (seulement 60 anguilles migrantes, dont cinq marquées à l'OTC) peut aussi être à l'origine de ces décalages. Les neuf anguilles provenant de transferts capturées en 2020-2021 au LSP-PLIO étaient âgées de 11 à 14 ans, soit des âges comparables à celui des anguilles capturées dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent en 2021 (11-16 ans). Les transferts d'anguilles réalisés de 2005 à 2010 ont contribué au stock reproducteur produit dans le système Saint-Laurent depuis 2015 (Landry-Massicotte et collab., 2024). Entre 2015 et 2023, 433 118 reproductrices produites dans le système Saint-

Laurent étaient issues des transferts. Selon Landry-Massicotte et collab. (2024), les gains associés aux transferts d'anguilles réalisés de 2005 à 2010 s'estomperont au cours des prochaines années et le stock reproducteur reposera alors essentiellement sur le recrutement naturel après l'automne 2026.

Aucun parasite exotique *A. Crassus* n'a été détecté dans les vessies natatoires des anguilles en 2020 et le parasite a été détecté dans deux anguilles résidentes en 2021 (0,7 %). Ces anguilles n'étaient pas issues des opérations de transfert et provenaient vraisemblablement du recrutement naturel. La prévalence de ce nématode est en constante augmentation depuis le début du suivi en 2015 et a été estimée à 3,7 % chez les anguilles échantillonnées en 2021 et à 14,5 % en 2024 dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent (Landry-Massicotte et collab., 2022, 2024). La majorité des anguilles infectées étaient d'origine naturelle. En 2021, aucun nématode n'a été détecté par examen macroscopique dans trois anguilles résidentes et deux anguilles migrantes capturées en août lors de pêches électriques en embarcation ciblant l'espèce au LSP (MELCCFP, données non publiées). Chez l'anguille d'Europe, après l'atteinte d'un maximum d'abondance, la prévalence et l'intensité de l'infection ont diminué au cours d'une période de 20 à 40 ans post-invasion, laissant présager que l'espèce pourrait s'adapter à la présence du parasite (Unger et collab., 2024).

#### 4.4 Tendances temporelles des débarquements commerciaux

Les débarquements commerciaux d'anguilles dans les deux secteurs (LSP et PLIO) ont atteint un maximum de 143,4 tonnes (l'équivalent d'environ 145 000 anguilles) en 1990. Les débarquements ont ensuite connu une diminution marquée, de l'ordre de 80 % à 90 % au LSP de 1986 à 2008 ainsi que dans PLIO de 2001 à 2016, et se sont ensuite maintenus de 2016 à 2022 entre 13,5 à 21,2 tonnes (pour les deux secteurs; environ de 14 000 à 21 000 anguilles). Le déclin des débarquements s'explique par une baisse de l'abondance de l'espèce dans le système, couplée à des diminutions de la pression de pêche, non synchrones dans les deux secteurs. Les programmes de rachat de permis de pêche commerciale mis en œuvre dans le cadre des plans de gestion de la perchaude, ayant fait passer le nombre de verveux autorisés au LSP de 2 100 en 1986 à 300 depuis 2008, semblent avoir contribué à diminuer la récolte, comme en témoigne la diminution significative (de plus de 50 %) des taux d'exploitation annuels et cumulatifs. En 2023, une hausse marquée du succès de pêche a été enregistrée au LSP, dépassant le succès historique observé en 1996. La proportion des débarquements commerciaux issus de la pêche aux verveux provenant exclusivement du LSP a diminué au cours de la période 1986-2008, particulièrement à la suite des programmes de rachat déployés dans ce secteur. Depuis 2008, la tendance s'est inversée. Cette baisse est révélatrice de la diminution de l'effort de pêche déployé dans le secteur PLIO au cours des dernières années.

En 2013, un programme visant la réduction de l'effort de pêche à l'anguille a permis de racheter 497 verveux dans le secteur de PLIO et 20 lignes dormantes (palangres – totalisant 2 000 hameçons) au LSP. Ceci correspondait à une réduction de 36 % de l'effort de pêche aux verveux autorisé dans le secteur PLIO et de 100 % de l'effort de pêche à la ligne dormante au LSP, ce type d'engin étant pratiquement inutilisé avant le rachat. Les débarquements déclarés d'anguilles dans le secteur PLIO sont passés d'une moyenne annuelle de 22,0 t avant le rachat (2011-2013) à une moyenne annuelle de 17,9 t après le rachat (2014-2016), ce qui représente une diminution de 18 %. Puisqu'environ 40 % (n = 550) des 1 377 verveux autorisés n'étaient pas utilisés lors des inventaires d'engins réalisés en 2008 et en 2010 (avant le rachat de 2013), il est possible que le retrait de certains engins non déployés ait eu un effet mitigé sur le potentiel de récolte, limitant par le fait même l'efficacité du programme de rachat. La comparaison du nombre d'engins utilisés avant (2008-2010 : 825 verveux; 2013 : 748) et après le rachat (2014 : 652) dans le secteur PLIO a tout de même révélé une diminution de l'effort déployé variant entre 13 % et 21 %, dépendamment de l'inventaire. Des débarquements plus faibles, mais stables depuis 2016, combinés à des taux d'exploitation d'anguilles migrantes présentant le même patron, témoignent d'une diminution récente de la pression de pêche dans le secteur PLIO, et ce, en l'absence de changement au plan de gestion de la pêche commerciale. Cette diminution récente de la pression de pêche dans le secteur PLIO est appuyée par des décomptes de verveux sur le terrain indiquant que le nombre d'engins déployés en 2021 et en 2023 (433 et 446 verveux, respectivement) correspondait à environ 50 % de l'effort autorisé depuis le programme de rachat.

## 4.5 Taux de disparition

Le taux de disparition totale annuelle, combinant les effets de la mortalité naturelle et de la mortalité anthropique, dont celui de la pêche commerciale, ainsi que l'immigration et l'émigration d'individus matures et immatures, a été estimé pour 2020-2021 à 29,7 %, tous stades de développement confondus, et à 31,9 % chez les anguilles résidentes (groupes d'âge considérés : de 9 à 19 ans). Le taux de disparition calculé dans la présente étude se situe à des valeurs intermédiaires comparativement aux taux rapportés dans la littérature en présence et en l'absence de pêche commerciale. En l'absence de prélèvement par la pêche, des taux de disparition de 23 %, tous stades confondus, ont été estimés pour la sous-population d'anguilles de la rivière Pinette à l'Île-du-Prince-Édouard (groupes d'âge : de 4 à 16 ans; ICES, 2001) et dans la rivière Sud-Ouest au Bas-Saint-Laurent (groupes d'âge : de 10 à 29 ans; Verreault, 2002). Dans la rivière Hudson, un système sans exploitation, le taux moyen de disparition des anguilles jaunes a été estimé à 15 % (9–24 %, dépendamment des sites; groupes d'âge : de 5 à 35 ans; Morrison and Secor, 2003). En présence de pêche commerciale, le taux de disparition observé chez les anguilles résidentes, tous sexes confondus, a été estimé à 34–59 % (Fenske et collab., 2010) dans la région de la baie de Chesapeake et en moyenne à 54 % dans les eaux à marée de l'Île-du-Prince-Édouard (groupes d'âge 4 à 16 ans; ICES, 2001). Dans la baie de Chesapeake, Weeder et Hammond (2009) ont estimé le taux de disparition, tous stades et sexes confondus, à 46–76 %, dépendamment des secteurs. Aux Îles-de-la-Madeleine, en 2021, le taux de disparition annuelle observé chez les anguilles résidentes, en excluant l'effet de l'émigration, a été estimé à 42 % au Barachois de Fatima et à 50 % au Havre aux Basques (Richard, en préparation). Il est cependant imprudent de comparer les taux de disparition mesurés dans la présente étude à ceux rapportés dans la littérature. En effet, l'estimation du taux de disparition est influencée par plusieurs facteurs qui varient entre les études, dont la sélectivité des engins de capture, les groupes d'âge considérés, la méthode de calcul, les stades de développement, le sexe des individus et l'ampleur de l'immigration et de l'émigration des anguilles immatures et matures. La pêcherie d'anguilles du secteur LSP-PLIO s'exerce potentiellement sur une sous-population d'anguilles immatures qui utilisent un territoire beaucoup plus vaste que le secteur LSP-PLIO. L'immigration d'anguilles immatures provenant de secteurs non exploités situés en aval, en amont ou dans les tributaires pourrait potentiellement compenser les mortalités générées dans ce secteur de pêche et ainsi influencer à la baisse le taux de disparition. Cette hypothèse n'est toutefois pas appuyée par les constats de Béguyer-Pon et collab. (2015), qui suggèrent un taux élevé de sédentarité chez les anguilles jaunes du fleuve Saint-Laurent en s'appuyant sur le suivi téléométrique d'individus de 580 mm et plus. L'hypothèse de mouvements à grande échelle est partiellement soutenue par les constats de Benchetrit et collab. (2017), qui suggèrent notamment des échanges entre le secteur de Gentilly (dans le secteur PLIO) et l'estuaire moyen du Saint-Laurent chez les anguilles immatures d'après la signature chimique des otolithes. La poursuite des études sur l'utilisation spatiale du système Saint-Laurent par les anguilles immatures, soit par téléométrie acoustique ou par la chimie des otolithes, s'avère donc pertinente. La téléométrie acoustique, utilisant le vaste réseau de récepteurs déployé annuellement dans le fleuve Saint-Laurent, permettrait aussi d'estimer, par la méthode de capture-marquage-recapture, des taux de mortalité annuelle qui prennent en compte les phénomènes d'immigration et d'émigration. La téléométrie acoustique pourrait aussi permettre d'identifier des secteurs du système Saint-Laurent exempts de l'influence de la pêche commerciale. Un échantillonnage et l'analyse des courbes de capture dans des secteurs exempts de l'influence de la pêcherie permettraient d'obtenir des taux de mortalité naturelle basés sur des données empiriques provenant de la sous-population d'anguilles du système Saint-Laurent. Ces informations offriraient l'occasion de valider les taux de mortalité naturelle en fonction des équations théoriques développées pour l'anguille européenne (Bevacqua et collab., 2011), utilisées dans la plupart des exercices de modélisation de la dynamique du stock d'anguilles d'Amérique.

## 4.6 Taux d'exploitation

Les anguilles migrantes auraient composé environ 24 % de la biomasse des débarquements commerciaux en 2020-2021 dans le secteur LSP-PLIO. Le taux d'exploitation attribuable au prélèvement d'anguilles à ce stade de développement a connu une baisse de 57 % au cours de la période 1996-2022, reflétant une diminution de la pression de pêche. En moyenne, 1,3 % (0,7–3,0 %) du stock d'anguilles migrantes ayant

atteint annuellement l'estuaire moyen de 2016 à 2022 aurait été récolté par la pêche commerciale dans le secteur LSP-PLIO. Il convient de souligner que l'estimation du taux historique d'exploitation réalisée dans la présente étude s'appuie sur l'hypothèse voulant que la proportion d'anguilles migrantes dans la récolte commerciale ainsi que la masse moyenne des anguilles migrantes récoltées aient été relativement stables dans le temps. L'absence de différence significative de masse moyenne entre 2020 et 2021 ainsi que l'absence de différence marquée de masse moyenne des anguilles récoltées entre 1983, 1996-1997 et 2020-2021 appuient en partie cette hypothèse. Il s'avère toutefois impossible de comparer la proportion d'anguilles migrantes estimée dans la récolte de 2020-2021 avec des valeurs historiques. Une tentative d'estimation de la proportion d'anguilles migrantes dans la récolte (13,4 %) a été réalisée en 1996 par Mailhot (1997), mais cette dernière était basée sur le diamètre oculaire, un indicateur qui s'avère peu efficace pour l'anguille du système Saint-Laurent. Rappelons finalement que l'estimation du taux d'exploitation est fondée sur les déclarations volontaires des captures des pêcheurs commerciaux, dont la précision est inconnue et qui comportent inévitablement un certain niveau d'incertitude.

Le portrait de l'exploitation des anguilles dans les secteurs LSP et PLIO diffère lorsqu'on y inclut, ou pas, l'exploitation des anguilles résidentes, soit celles qui composaient 76 % de la biomasse des débarquements commerciaux en 2020-2021. Le taux d'exploitation spécifique à ce segment lors des années de pêche précédentes était de 3 à 8 fois plus élevé que le taux lié au prélèvement d'anguilles migrantes, dépendamment des années. Dès l'âge de 5 ans et jusqu'à leur maturation sexuelle, qui se produit entre 8 et 19 ans, ces anguilles juvéniles sont exposées à l'exploitation commerciale dans le secteur LSP-PLIO. Les anguilles sont des poissons reconnus pour avoir de faibles taux de mortalité naturelle dans leur phase continentale, étant peu prédatés en raison de leur place au sommet de la chaîne alimentaire et pouvant supporter des périodes de jeûne prolongé ainsi que des conditions environnementales extrêmes (Bevacqua et collab., 2011). Le taux de mortalité des anguilles utilisé dans cette étude (7,5 %) est comparable à celui qui a été utilisé par Bradford et collab. (2022) dans leur évaluation des pêcheries de l'anguille dans les Maritimes (taux de mortalité d'environ 5 % à 5 ans pour une température moyenne de l'eau de 8 °C). Il est à noter que le taux de 7,5 % utilisé est un maximum puisqu'il est basé sur la plus petite masse d'anguilles échantillonnées en 2020-2021 dans le secteur LSP-PLIO et que selon l'équation de Bevacqua et collab. (2011), la mortalité naturelle est inversement proportionnelle à la masse des anguilles. Le taux de survie annuelle élevé des anguilles âgées de 5 ans et plus (> 90 %) laisse croire qu'une proportion élevée des anguilles résidentes récoltées commercialement dans le secteur LSP-PLIO auraient atteint leur maturité sexuelle si elles n'avaient pas été prélevées. Il est cependant à noter que tous ces taux de mortalité et de survie annuelle sont calculés à partir d'équations théoriques développées pour l'anguille européenne et que leur validité pour l'anguille d'Amérique, plus particulièrement la sous-population du système Saint-Laurent, n'a jamais été démontrée. Il serait hautement pertinent dans l'avenir de travailler à définir le taux de mortalité naturelle de l'anguille du système Saint-Laurent, lequel permettrait une modélisation plus précise de la dynamique du stock. Les résultats de la présente étude mettent en lumière que la pêche d'anguilles résidentes aux verveux dans le secteur LSP-PLIO influe sur l'abondance du stock d'anguilles qui dévale l'estuaire moyen sur une période pouvant atteindre 14 ans. De plus, l'effet du prélèvement d'anguilles résidentes dans les 14 années antérieures s'ajoute annuellement aux prélèvements directs d'anguilles migrantes. Le taux d'exploitation cumulatif, sans distinction entre les deux stades de développement, s'élevait en moyenne à 16,5 % (13,0–21,5 %) au cours de la période de 2000 à 2008 et aurait diminué pour atteindre 7,7 % (5,2–13,0 %) de 2020 à 2022. Ce taux cumulatif d'exploitation dans le secteur LSP-PLIO s'ajoute au prélèvement d'anguilles migrantes par la pêcherie de l'estuaire moyen du Saint-Laurent, dont le taux d'exploitation moyen a varié entre 4,9 % et 7,5 % au cours de la période 2015-2023 (Landry-Massicotte et collab., 2024). Le taux global d'exploitation commerciale des pêcheries du secteur LSP-PLIO et de l'estuaire moyen aurait été en moyenne de 13,4 % (12,9–14,1 %) au cours de la période 2020-2022, dont environ la moitié serait issu de l'exploitation dans le secteur LSP-PLIO.

## 5. Conclusion

En dépit de la diminution globale des débarquements et de l'effort de pêche déployé au cours des 20 dernières années, la pêcherie d'anguilles des secteurs LSP et PLIO est importante pour les pêcheurs commerciaux de ces secteurs. L'anguille était l'espèce la plus lucrative en 2020-2021, représentant 22 % des revenus totaux des pêcheurs du LSP et 48 % dans le secteur PLIO (MAPAQ, données non publiées). Les revenus par pêcheur générés par cette pêcherie d'anguilles étaient de l'ordre de 1 000 \$ à 60 000 \$ annuellement en 2020 et en 2021. Dans le contexte où l'anguille d'Amérique est sous haute surveillance après l'important déclin observé dans le système Saint-Laurent, le suivi de l'espèce et l'estimation de ses sources de mortalité s'avèrent importants. La présente caractérisation de la pêcherie commerciale d'anguilles aux verveux dans le secteur LSP-PLIO a permis de décrire le segment exploité de cette sous-population. L'analyse des débarquements a permis de définir les niveaux historiques et récents d'exploitation ainsi que l'efficacité des programmes qui ont été instaurés pour réduire la pression de pêche. Les taux d'exploitation du stock d'anguilles sexuellement matures en dévalaison dans le Saint-Laurent apportent un éclairage inédit sur le niveau d'exploitation attribuable à la pêcherie du secteur LSP-PLIO. Le présent rapport permettra de comparer l'influence de la pêcherie avec d'autres sources de mortalité anthropiques agissant sur l'anguille. Cette étude rend aussi accessibles de précieuses données essentielles à d'éventuels exercices de modélisation de la dynamique du stock d'anguilles visant à estimer sa trajectoire future en présence ou en l'absence des sources de mortalité anthropiques.

## Remerciements

Nous tenons à remercier Simon Duval de SIMMER international, ainsi que l'ensemble des pêcheurs commerciaux du secteur LSP-PLIO pour leur collaboration essentielle au déroulement de cette étude. Merci à Claude Lemire pour son travail en laboratoire et aux techniciens de la faune du MELCCFP qui ont procédé à la détermination de l'âge des anguilles échantillonnées, soit Nicolas Auclair, Denise Deschamps, Vanessa Cauchon et William Cayer Blais. Un grand merci à Jean-François Dumont et Louis Landry-Massicotte pour leurs commentaires lors de la révision de ce rapport.



# Références

- Acou, A., P. Boury, P. Laffaille, A. J. Crivelli and E. Feunteun. 2005. Towards a standardized characterization of the potentially migrating silver European eel (*Anguilla anguilla*, L.). Archiv für Hydrobiologie, 164 : 237-255.
- Bartoń, K. 2024. MuMIn: Multi-Model Inference. R package version 1.48.4, <https://CRAN.R-project.org/package=MuMIn>.
- Béguer-Pon, M., M. Castonguay, J. Benchetrit, D. Hatin, M. Legault, G. Verreault, Y. Mailhot, V. Tremblay et J.J. Dodson. 2015. Large-scale, seasonal habitat use and movements of yellow American eels in the St. Lawrence River revealed by acoustic telemetry. Ecology of Freshwater Fish 24: 99–111.
- Benchetrit J., M. Béguer-Pon, P. Sirois, M. Castonguay, J. Fitzsimons et J.J. Dodson. 2017. Using otolith microchemistry to reconstruct habitat use of American eels *Anguilla rostrata* in the St. Lawrence River–Lake Ontario system. Ecology of Freshwater Fish 26: 19–33.
- Bernard, M. et G. Codin-Blumer. 1985. Caractéristique morphométrique de quinze espèces de poissons capturés par les verveux des pêcheurs commerciaux au lac Saint-Pierre en 1983. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche. Direction régionale de Trois-Rivières, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune. xxxii + 356 pages.
- Bevacqua, D., P. Melia, G.A. De Leo et M. Gatto. 2011. Intra-specific scaling of natural mortality in fish: the paradigmatic case of the European eel. Oecologia 165: 333-339.
- Bradford, R.G., A.M. Cook et S. Smith. 2022. Évaluation des pêches de l'anguille d'Amérique et de la civelle dans la région des Maritimes. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2022/009. v + 80 p. <https://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/library-bibliotheque/41040636.pdf>
- Cairns, D.K., G. Chaput, L.A. Poirier, T.S. Avery, M. Castonguay, A. Mathers, J.M. Casselman, R.G. Bradford, T. Pratt, G. Verreault, K. Clarke, G. Veinott, et L. Bernatchez. 2014. Recovery Potential Assessment for the American Eel (*Anguilla rostrata*) for eastern Canada: life history, distribution, reported landings, status indicators, and demographic parameters. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res., Doc. 2013/134, xiv + 157 p.
- Comité scientifique sur l'anguille d'Amérique. 2019. État de situation de l'anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*) au Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec, 6 p. [État de situation de l'anguille d'Amérique \(Anguilla rostrata\) au Québec \(gouv.qc.ca\)](#).
- COSEPAC. 2006. 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. x + 80 p. [Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur l'anguille d'Amérique au Canada-2006 - Canada.ca](#)
- Côté, C. L., M. Castonguay, M.S. Kalujnaia, G. Cramb et L. Bernatchez. 2014. In absence of local adaptation, plasticity and spatially varying selection rule: a view from genomic reaction norms in a panmictic species (*Anguilla rostrata*). BMC Genomics 15 (403) : 1-15.
- Côté, C. L., P.-A. Gagnaire, V. Bourret, G. Verreault, M. Castonguay et L. Bernatchez. 2013. Population genetics of the American eel (*Anguilla rostrata*): FST =0 and North Atlantic Oscillation effects on demographic fluctuations of a panmictic species. Molecular Ecology 22 (7) : 1763-76.
- Cottrill R. D., R.S. McKinley et G. Van Der Kraak. 2002. An examination of utilizing external measures to identify sexually maturing female American eels, *Anguilla rostrata*, in the St. Lawrence River. Environ Biol Fish 65:271–28.

De Leo, G.A. et M. Gatto. 1996. Trends in vital rates of the European eel: evidence for density dependence? *Ecol. Appl.* 6(4): 1281–1294. doi:10.2307/2269607.

Dumont, P. 1998. Caractérisation des captures d'anguilles d'Amérique dans des pêcheries commerciales de la rivière Richelieu et du lac Saint-François en 1997. dans *Compte rendu du troisième atelier sur les pêches commerciales*, M. Bernard et C. Groleau (eds.), ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction de la faune et des habitats, Québec, QC.

Dutil, J.-D. B. Légaré et C. Desjardins. 1985. Discrimination d'un stock de poisson, l'anguille (*Anguilla rostrata*), basée sur la présence d'un produit chimique de synthèse, le mirex. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 42: 455-458.

Fenske, K.H., D.H. Secor et M.J. Wilberg. 2010. Demographics and Parasitism of American Eels in the Chesapeake Bay, USA. *Transactions of the American Fisheries Society*, 139: 1699-1710.

Fontaine, Y. A. 1994. L'argenture de l'anguille : métamorphose, anticipation, adaptation. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 335: 171–185.

Fox, J. Weisberg, S. 2019. *An R Companion to Applied Regression*, Third edition. Sage, Thousand Oaks CA.

Gagnaire, P.-A., E. Normandeau, C. Côté, M. Moller Hansen et L. Bernatchez. 2012. The Genetic Consequences of Spatially Varying Selection in the Panmictic American Eel (*Anguilla rostrata*). *Genetics* 190 (2) : 725-736.

Hudon, C., A. Armellin, P. Gagnon et A. Patoine. 2010. Variations in water temperatures and levels in the St. Lawrence River (Québec, Canada) and potential implications for three common fish species. *Hydrobiologia* 647: 145–161.

Hurley, D.A. 1972. The American eel (*Anguilla rostrata*) in eastern Lake Ontario. *J. Fish. Res. Board Can.* 29: 535–543.

ICES. 2001. Report of the EIFAC/ICES working group on eels. 28 august – 1 september 2000, St. Andrew, N-B, Canada. 87 p.

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.

Jasjeet S. Sekhon. 2011. Multivariate and Propensity Score Matching Software with Automated Balance Optimization: The Matching Package for R. *Journal of Statistical Software*, 42(7), 1-52.

Landry-Massicotte, L., J. Doucet-Caron et J. Dussureault. 2022. Estimation de l'abondance et des caractéristiques des anguilles d'Amérique (*Anguilla rostrata*) provenant des ensemencements dans la pêcherie 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 pages. [Estimation de l'abondance et des caractéristiques des anguilles d'Amérique provenant des ensemencements dans la pêcherie commerciale de l'estuaire du Saint-Laurent en 2021 \(gouv.qc.ca\)](#)

Landry-Massicotte, L., J. Dussureault et L. Gamache. 2023. Estimation de l'abondance et des caractéristiques des anguilles d'Amérique (*Anguilla rostrata*) provenant des transferts dans la pêcherie 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, 17 pages. [Estimation de l'abondance et caractérisation des anguilles d'Amérique provenant des transferts dans la pêcherie commerciale de l'estuaire du Saint-Laurent en 2023.](#)

Landry-Massicotte, L., J. Dussureault et L. Gamache. 2024. 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 2023. 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, 17 pages. [Estimation de l'abondance et caractérisation des anguilles d'Amérique provenant des transferts dans la pêche commerciale de l'estuaire du Saint-Laurent en 2023 \(gouv.qc.ca\)](#)

Magnan, P., P. Brodeur, É. Paquin, N. Vachon, Y. Paradis, P. Dumont et Y. Mailhot. 2017. État du stock de perchaudes du lac Saint-Pierre en 2016. Comité scientifique sur la gestion de la perchaude du lac Saint-Pierre. Chaire de recherche du Canada en écologie des eaux douces, Université du Québec à Trois-Rivières et ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs. vii + 34 pages + annexes.

Mailhot, Y. 1997. Caractérisation des captures d'anguille d'Amérique au lac Saint-Pierre. *Dans* Compte rendu du deuxième atelier sur les pêches commerciales. Tenu à Duchesnay du 10 au 12 décembre 1996. Édité par Marcel Bernard et Conrad Groleau, Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction de la faune et des habitats. No.CAT. : 3627-97-04. 247 pages.

Mailhot, Y. 1998. Caractérisation des captures d'anguille d'Amérique au lac Saint-Pierre. *Dans* Compte rendu du troisième atelier sur les pêches commerciales tenu à Duchesnay du 13 au 15 janvier 1998. Édité par Marcel Bernard et Conrad Groleau, Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction de la faune et des habitats. mai 1998, 250 pages.

Mainguy, J. et R. de Andrade Moral. 2021. An improved method for the estimation and comparison of mortality rates in fish from catch-curve data. *North American Journal of Fisheries Management* 41 (5): 1436-1453. <https://doi.org/10.1002/nafm.10665>.

Mainguy, J. 2023. Guide pour la réalisation d'analyses statistiques en faune aquatique à l'aide du logiciel R. Document de travail internet Version 1.3. Ministère des Forêt, de la Faune et des Parcs, Service de la gestion des espèces aquatiques, Direction de l'expertise sur la faune aquatique. 216 pages.

Mainguy, J., M. Bélanger, E. Valiquette, S. Bernatchez, L. L'Italien, R.B. Millar et R. de Andrade Moral. 2023. Estimating fish mortality rates from catch curves: A plea for the abandonment of Ricker (1975)'s linear regression method. *Journal of Fish Biology*, 104(1), 4–10. <https://doi.org/10.1111/jfb.15577>.

Mainguy, J. et R. de Andrade Moral. 2024. Estimating and comparing mortality rates in fish from catch-curve analyses using R. Lien URL: <https://sites.google.com/view/catch-curve-analyses/accueil> consulté le 2024-11-26.

MFFP. 2020. *Anguillicoloides crassus* – Fiche d'information du ministère des Forêts de la Faune et des Parcs. Gouvernement du Québec, Québec, 11 p.

MFFP. 2022. Plan d'action du ministère de Forêts, de la Faune et des Parcs sur l'anguille d'Amérique. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du gouvernement du Québec. ISBN (PDF) : 978-2-550-92917-8. [Plan d'action du Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs sur l'anguille d'Amérique \(gouv.qc.ca\)](#).

MELCCFP. En préparation. Mise à jour de l'état de situation de l'anguille d'Amérique du système du Saint-Laurent et bilan des sources de mortalité. Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs.

MELCCFP. 2023. Surveillance des maladies de la faune 2015-2020 — Stratégie québécoise sur la santé des animaux sauvages du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs. Gouvernement du Québec, Québec, 108 p. [Surveillance des maladies de la faune 2015-2020 — Stratégie québécoise sur la santé des animaux sauvages \(gouv.qc.ca\)](#).

MELCCFP. 2024. Plan de gestion de la pêche 2024-2025. Direction de l'expertise sur la faune aquatique du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs. [Plan de gestion de la pêche 2024-2025 \(quebec.ca\)](#)

Miranda, L. E. et P. W. Bettoli. 2007. Mortality. Pp. 229-277 dans Analysis and interpretation of freshwater fisheries data. Guy, C. S. et M. L. Brown, editors. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.

Mollie E. Brooks, Kasper Kristensen, Koen J. van Benthem, Arni Magnusson, Casper W. Berg, Anders Nielsen, Hans J. Skaug, Martin Maechler et Benjamin M. Bolker. 2017. glmmTMB Balances Speed and Flexibility Among Packages for Zero-inflated Generalized Linear Mixed Modeling. The R Journal,9(2), 378-400. doi: 10.32614/RJ-2017-066.

Moral RA, J. Hinde et C.G.B. Demétrio. 2017. "Half-Normal Plots and Overdispersed Models in R: The hnp Package." Journal of Statistical Software, \*81\*(10), 1-23. doi:10.18637/jss.v081.i10.

Morrison, W. E. et D. H. Secor. 2003. Demographic attributes of yellow-phase American eels (*Anguilla rostrata*) in the Hudson River estuary. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 60:1487–1501.

MPO. 2014. Évaluation du potentiel de rétablissement de l'anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*) dans l'est du Canada. Secrétariat canadien de consultation scientifique Avis scientifique 2013/078. Pêches et Océans Canada Sciences, Golfe, Centre et Arctique, Maritimes, Terre-Neuve-et-Labrador, Québec. 67 pages.

Ogle, D. 2018. Introductory Fisheries Analyses, with R. Chapman and Hall/CRC, 337 p.

Pankhurst, N. W. 1982. Relation of visual changes to the onset of sexual maturation in the European eel *Anguilla anguilla* (L.). Journal of Fish Biology, 21:127–140.

Pavey, S.A., J. Gaudin, E. Normandeau, M. Dionne, M. Castonguay, C. Audet et L. Bernatchez. 2015. RAD Sequencing Highlights Polygenic Discrimination of Habitat Ecotypes in the Panmictic American Eel, Current Biology. Current Biology 25 : 16.

R Core Team. 2024. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Richard, A. en préparation. Caractérisation de la pêche commerciale à l'anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*) aux Îles-de-la-Madeleine en 2021. Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs, Direction de la gestion de la faune de la Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine.

Robin, X., N. Turck, A. Hainard, N. Tiberti, F. Lisacek, J.C. Sanchez et M. Müller. 2011. *pROC: an open-source package for R and S+ to analyze and compare ROC curves*, BMC Bioinformatics, 12, p. 77.

Schmidt, J. 1922. The Breeding Places of the Eel. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Containing Papers of a Biological Character 211 : 179-208.

Scott, W.B. et E.J. Crossman. 1974. Poissons d'eau douce du Canada. Ministère de l'Environnement, Services des pêches et des sciences de la mer, Ottawa. 1026 p.

Signorell, A. 2023. DescTools: Tools for Descriptive statistics, R package version 0.99.48.

Stacey, J. A., Pratt, T. C., Verreault, G. et M. G. Fox. 2014. A caution for conservation stocking as an approach for recovering Atlantic eels. Aquatic Conservation : Marine and Freshwater Ecosystems.

Tesch, F. W. 2003. The Eel, J. E. Thorpe, Blackwell Science Ltd., Oxford, UK. 408 p.

Venables W.N. et B.D. Ripley. 2002. Modern applied statistics with S, fourth edition. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0, <https://www.stats.ox.ac.uk/pub/MASS4/>.

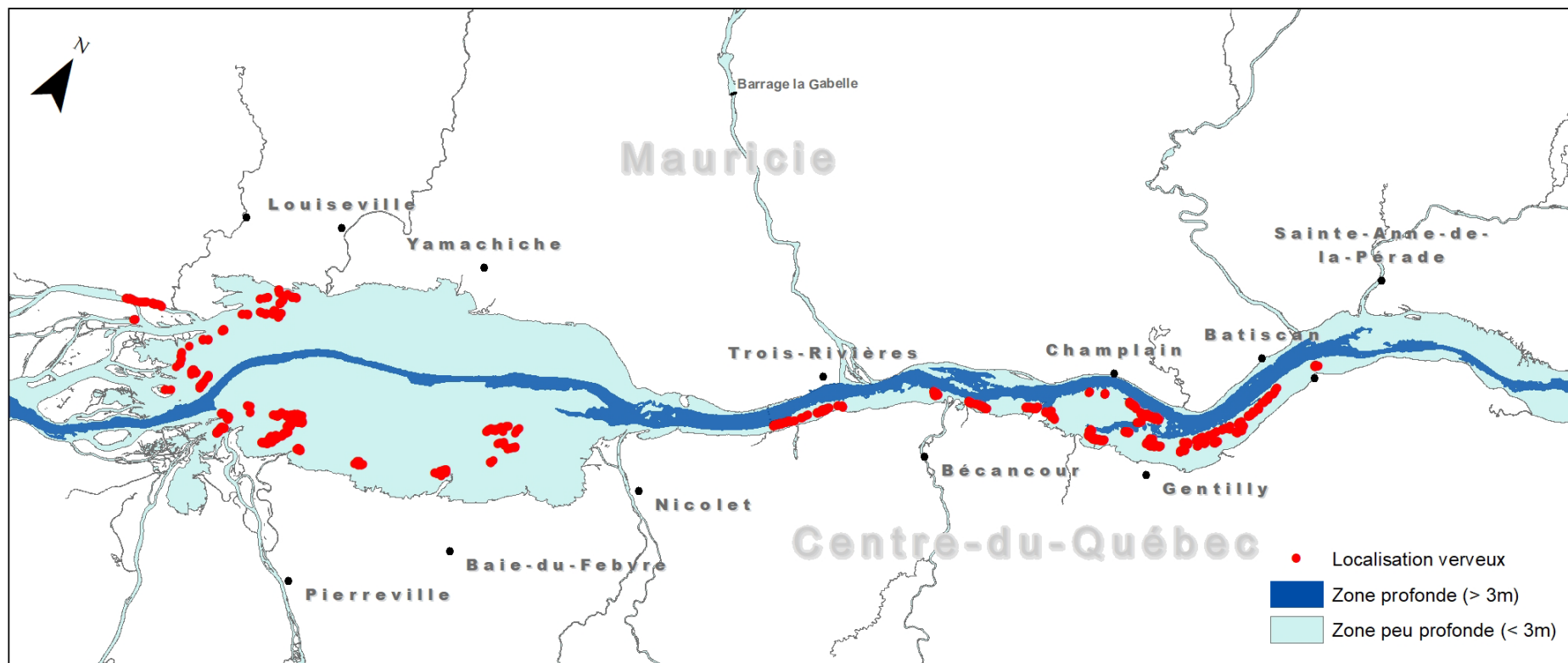
Verreault, G. 2002. Dynamique de la sous-population d'anguilles d'Amérique (*Anguilla rostrata*) du bassin versant de la rivière du Sud-Ouest. Mémoire présenté à l'Université du Québec à Rimouski comme exigence partielle de la Maîtrise en gestion de la faune et de ses habitats. Société de la faune et des parcs du Québec, Direction de l'aménagement de la faune de la région du Bas-Saint-Laurent. 112 p.

Vøllestad, L.A. et B. Jonsson. 1986. Life-history characteristics of the European eel *Anguilla anguilla* in the Imsa River, Norway. *Trans. Am. Fish. Soc.* 115(6): 864–871. doi:10.1577/1548-8659 (1986)115:2.0.CO;2.

Weeder, J.A. et S.D. Hammond. 2009. Age, growth, mortality, and sex ratio of American eels in Maryland's Chesapeake Bay. In *Eels at the edge: science, status, and conservation concerns*. Edited by J.M. Casselman and D.K. Cairns. *Am. Fish. Soc. Symp.* 58: 113– 128



Annexe 2. Répartition spatiale des verveux de pêche commerciale localisés durant quatre périodes de pêche (avril, mai, juillet et octobre) en 2021 au lac Saint-Pierre ainsi que dans le secteur pont Lavolette–île d’Orléans.



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

**Québec** 