

Caractérisation de la pêche commerciale de l'anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*) aux îles de la Madeleine en 2021, état du stock et recommandations de gestion

Janvier 2025



Coordination et rédaction

Cette publication a été réalisée par la Direction de la gestion de la faune de la Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP). Elle a été produite par la Direction des communications du MELCCFP.

Renseignements

Téléphone : 418 388-2125

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

Internet : www.environnement.gouv.qc.ca

Photo de couverture : Antoine Richard

Dépôt légal – 2024

Bibliothèque et Archives nationales du Québec

ISBN 978-2-555-00177-0 (PDF)

Tous droits réservés pour tous les pays.

© Gouvernement du Québec – 2025

Résumé

L'anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*) est pêchée commercialement à l'aide de verveux et de lignes dormantes dans les eaux des îles de la Madeleine. En 2021, un sondage et des pêcheurs repères ont permis de caractériser la pêcherie en matière d'effort, de capture et de captures par unité d'effort (CPUE). Des verveux du Barachois de Fatima et du Havre aux Basques, les deux sites de pêche les plus exploités, ont été échantillonnés afin d'établir les caractéristiques biologiques des anguilles pêchées. Les résultats de 2021 ont été comparés avec ceux qui ont été rapportés pour les saisons 2007 et 2008. L'état du stock local d'anguille des îles de la Madeleine a été évalué en fonction des points de référence publiés pour l'espèce. Pour la pêche à la ligne dormante, le nombre de pêcheurs actifs a été estimé à 4, pour un effort de pêche estimé à 3341 hameçons-jour, une récolte estimée à 134 anguilles et une CPUE moyenne de 0,04 anguille par hameçon-jour. Pour la pêche aux verveux, le nombre de pêcheurs actifs a été estimé à 25, ceux-ci auraient exploité 29 engins, pour un effort de pêche estimé de 1151 verveux-jours, une récolte de 8633 anguilles et une CPUE moyenne de 10,2 anguilles par verveux-jour. En comparaison avec 2007 et 2008, l'effort de pêche était en baisse, les captures étaient stables et les CPUE étaient en hausse. La récolte du Barachois de Fatima était composée à 22 % d'anguilles argentées. La proportion était de 70 % dans le Havre aux Basques, où les argentées étaient plus abondantes dans la récolte à partir de la fin de septembre. À l'échelle de l'archipel, les anguilles récoltées avaient une taille moyenne de $59,9 \pm 18$ cm, une masse moyenne de $0,582 \pm 0,524$ kg et un âge moyen de $8,45 \pm 4,65$ ans. Pour ces trois caractéristiques, les valeurs moyennes obtenues dans la récolte du Havre aux Basques étaient plus élevées que dans le Barachois de Fatima. Globalement, les anguilles pêchées avaient une croissance rapide, qui leur permet d'atteindre le stade d'argenture en bas âge en comparaison avec ce qui est observé dans les eaux intérieures au Québec. La prévalence et l'intensité d'infection moyenne du parasite *Anguillicola crassus* étaient élevées, respectivement de 52,5 % et de $10,1 \pm 11,9$ parasites par anguille infectée. En 2021, l'influence des verveux s'étendait sur 36,901 km² (26 %) des 142,837 km² de l'habitat disponible pour le stock local d'anguille d'Amérique aux îles de la Madeleine. Cette proportion respecte la cible établie pour l'espèce (<50 %), ce qui suggère que le stock local se situerait vraisemblablement dans la zone de saine gestion. Afin de favoriser le rétablissement de l'espèce, et dans le but de maintenir une saine gestion de son exploitation sur le territoire madelinot, il est recommandé de protéger de tout prélèvement plus de 50 % de l'habitat disponible pour l'anguille dans l'archipel.

A. Richard, 2025. Caractérisation de la pêche commerciale de l'anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*) aux îles de la Madeleine en 2021, état du stock et recommandations de gestion. Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs, Direction de la gestion de la faune Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine, 53 p.

Table des matières

Résumé	i
Table des matières	ii
Liste des tableaux.....	iv
Liste des figures.....	vi
Liste des annexes.....	viii
1. Introduction.....	1
2. Description de la pêcherie	3
2.1. Site à l'étude.....	3
2.2. Historique des débarquements	4
2.3. Réglementation	5
2.4. Pêcheurs	7
3. Caractérisation de la pêche commerciale en 2021	7
3.1. Méthodologie.....	7
3.2. Résultats	11
3.3. Discussion	14
3.4. Biais et améliorations potentielles.....	16
4. Caractérisation des anguilles pêchées en 2021	16
4.1. Méthodologie.....	16
4.2. Résultats	21
4.3. Discussion	35
5. État du stock et recommandations de gestion	41
5.1. Introduction.....	41
5.2. Méthodologie.....	42
5.3. Résultats	42
5.4. Discussion et recommandations de gestion	43
6. Conclusion et recommandations	45
7. Remerciements	47
8. Bibliographie.....	47
Annexes.....	54

Liste des tableaux

Tableau 1. Statistiques de pêche fournies par les deux pêcheurs commerciaux à la ligne dormante actifs en 2021 aux îles de la Madeleine, ayant répondu au sondage	11
Tableau 2. Provenance et date de capture des anguilles analysées	22
Tableau 3. Valeurs des variables d'indice oculaire (IO), d'indice de la nageoire pectorale (IP), de la circonférence et de la couleur des flancs pour le groupe des anguilles jaunes et le groupe des anguilles argentées	23
Tableau 4. Taux de croissance annuelle (CA) tels que prédits par le modèle de Gompertz en fonction du site de capture pour les âges de 2 à 9 ans. Pour les anguilles capturées à la pêche commerciale aux verveux en 2021 aux îles de la Madeleine	32
Tableau 5. Taux de mortalité instantanés et annuels pour les sites du Barchois de Fatima et du Havre aux Basques aux îles de la Madeleine.....	33
Tableau 6. Taux de croissance annuel moyen (mm/an) en fonction de l'âge et du site de capture pour les petites (75 cm et moins) et les grandes (>75 cm) anguilles argentées capturées en 2021 dans la pêche commerciale aux verveux des îles de la Madeleine. Le nombre d'individus dans chaque catégorie est inscrit entre parenthèses.	38

Liste des figures

Figure 1.	Cycle de vie de l’anguille d’Amérique. Illustration : Frédéric Lecomte (ministère de l’Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs, MELCCFP).....	1
Figure 2.	Localisation des principaux sites de pêche commerciale de l’anguille aux îles de la Madeleine et de certains plans d’eau discutés dans le présent rapport. La zone où la pêche commerciale est interdite est illustrée en rouge.....	4
Figure 3.	Débarquements d’anguilles d’Amérique sur le territoire des îles de la Madeleine de 1870 à 2008. Il est à noter que le suivi des débarquements a été interrompu à plusieurs reprises.	5
Figure 4.	Verveux installé dans une lagune des îles de la Madeleine.	6
Figure 5.	Période de pêche déclarée des huit verveux exploités par sept pêcheurs repères aux îles de la Madeleine en 2021. Les lignes pointillées verte et rouge indiquent respectivement les dates de début et de fermeture de la saison de pêche commerciale aux verveux. Les lignes pointillées grises indiquent le moment des décomptes de verveux, réalisés le 8 septembre et le 6 octobre. Le nom de chaque verveux est composé du code alphanumérique du pêcheur, suivi du numéro séquentiel du verveux.	12
Figure 6.	Moyenne (lignes noires) et intervalles de confiance à 95 % (rubans semi-transparents) des captures par unité d’effort pour les saisons 2007, 2008 et 2021 de la pêche commerciale aux verveux de l’anguille aux îles de la Madeleine, obtenus à l’aide d’un modèle binomial négatif de type 2. Le panneau de gauche (a) présente les résultats du modèle considérant l’ensemble des données disponibles. Le panneau de droite (b) présente les résultats du modèle ne considérant que les verveux installés sur les deux sites de pêche communs aux trois années de suivi. .	14
Figure 7.	Localisation des 29 verveux (Δ) déployés lors de la saison de pêche à l’anguille aux îles de la Madeleine en 2021. La quantité et la provenance des échantillons analysés au laboratoire sont également indiquées.....	22
Figure 8.	Probabilité de capture d’une anguille argentée à la pêche commerciale aux verveux en 2021 aux îles de la Madeleine (modèle cloglog). Afin d’illustrer l’effet de l’interaction entre la date de capture et le site, les prédictions provenant du meilleur modèle sont illustrées dans des volets différents pour le Barachois de Fatima et le Havre aux Basques. L’intervalle de confiance à 95 % est illustré par un ruban semi-transparent.	24
Figure 9.	Structure en taille, exprimée en densité de probabilité, c’est-à-dire que l’aire totale sous chaque courbe est égale à 1, des anguilles d’Amérique capturées en 2021 dans la pêche commerciale aux verveux des îles de la Madeleine.....	25
Figure 10.	Structure en taille, exprimée en fréquence absolue, en fonction du site de capture et du stade de développement, des anguilles d’Amérique capturées en 2021 dans la pêche commerciale aux verveux des îles de la Madeleine.....	26
Figure 11.	Structure en masse, exprimée en densité de probabilité, c’est-à-dire que l’aire totale sous chaque histogramme et sous chaque courbe est égale à 1, des anguilles d’Amérique capturées en 2021 dans la pêche commerciale aux verveux des îles de la Madeleine.	27
Figure 12.	Structure en masse, exprimée en fréquence absolue, en fonction du site de capture et du stade de développement, pour les anguilles d’Amérique capturées en 2021 dans la pêche commerciale aux verveux des îles de la Madeleine.....	28

Figure 13.	Relation masse-longueur pour les anguilles capturées à la pêche commerciale aux verveux en 2021 aux îles de la Madeleine. Afin d'illustrer l'effet de l'interaction entre la longueur totale et le site sur la masse, les prédictions provenant du meilleur modèle sont illustrées par les lignes orange (Barachois de Fatima) et bleue (Havre aux Basques). L'intervalle de confiance à 95 % est illustré par un ruban semi-transparent.	29
Figure 14.	Structure d'âge, exprimée en densité de probabilité, c'est-à-dire que l'aire totale sous chaque courbe est égale à 1, pour les anguilles d'Amérique capturées en 2021 dans la pêche commerciale aux verveux des îles de la Madeleine.....	30
Figure 15.	Structure d'âge, exprimée en fréquence absolue, en fonction du site de capture et du stade de développement, pour les anguilles d'Amérique capturées en 2021 dans la pêche commerciale aux verveux des îles de la Madeleine.....	31
Figure 16.	Longueur en fonction de l'âge et ajustement des courbes de croissance de Gompertz pour les anguilles capturées à la pêche commerciale aux verveux en 2021 aux îles de la Madeleine. Les portions pointillées des courbes présentent les prédictions des modèles en dehors des âges observés pour chaque site. L'intervalle de confiance à 95 % est illustré par un ruban semi-transparent. Les données provenant d'anguilles argentées sont représentées par des triangles, celles des anguilles jaunes, par des ronds.	32
Figure 17.	Distribution de fréquence du nombre d' <i>A. crassus</i> par anguille au sein des anguilles infectées du Barachois de Fatima et du Havre aux Basques en 2021 aux îles de la Madeleine. *Lorsque le nombre de parasites dépassait 51, le dénombrement était arrêté et le nombre arbitraire de 52 était attribué.	34
Figure 18.	Prédictions du modèle GLM avec famille de distribution de type Poisson généralisé du nombre d' <i>A. crassus</i> retrouvés dans la vessie natatoire des anguilles infectées en fonction de l'âge. L'intervalle de confiance à 95 % est illustré par un ruban semi-transparent.	35
Figure 19.	Distribution du taux de croissance annuel moyen, exprimée en densité de probabilité, c'est-à-dire que l'aire totale sous chaque courbe est égale à 1, en fonction du site de capture, de la taille et du stade de maturité des anguilles d'Amérique capturées en 2021 dans la pêche commerciale aux verveux des Îles-de-la-Madeleine. Les grandes argentées mesurent plus de 75 cm et les petites mesurent 75 cm ou moins.....	37
Figure 20.	Habitat de l'anguille d'Amérique en eaux salées, saumâtres et douces aux îles de la Madeleine (bleu). Les polygones orangés montrent les portions de cet habitat qui étaient à moins de 2 km d'un des 29 verveux utilisés en 2021 et, en plus pâle, la lagune du Havre aux Basques, dont toute la superficie a été considérée sous l'influence des verveux.....	43

Liste des annexes

Annexe 1 : Lettre et sondage adressés aux pêcheurs à la ligne dormante en début de saison .	56
Annexe 2 : Lettre adressée aux pêcheurs à la ligne dormante pour le retour des sondages en fin de saison	58
Annexe 3 : Lettre et sondage adressés aux pêcheurs aux verveux en début de saison.....	60
Annexe 4 : Lettre adressée aux pêcheurs aux verveux pour le retour des sondages en fin de saison	62
Annexe 5 : Extrait du carnet de pêche remis aux pêcheurs repères (verveux)	64
Annexe 6 : Protocole de prise de mesures au laboratoire	69

1. Introduction

L'anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*) est une espèce catadrome facultative (Durif et coll., 2023). Elle forme une population panmictique qui se reproduit dans la mer des Sargasses et qui croît dans les eaux continentales de l'ouest de l'Atlantique, des Caraïbes au sud, jusqu'au Groenland au nord. L'espèce est semelpare et longévive, pouvant vivre jusqu'à 40 ans et atteindre plus d'un mètre de longueur dans le nord de son aire de distribution. Son cycle de vie est résumé dans la figure 1. Pour une description plus complète de la biologie de l'espèce, le lecteur peut se référer au document produit par le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC, 2012).

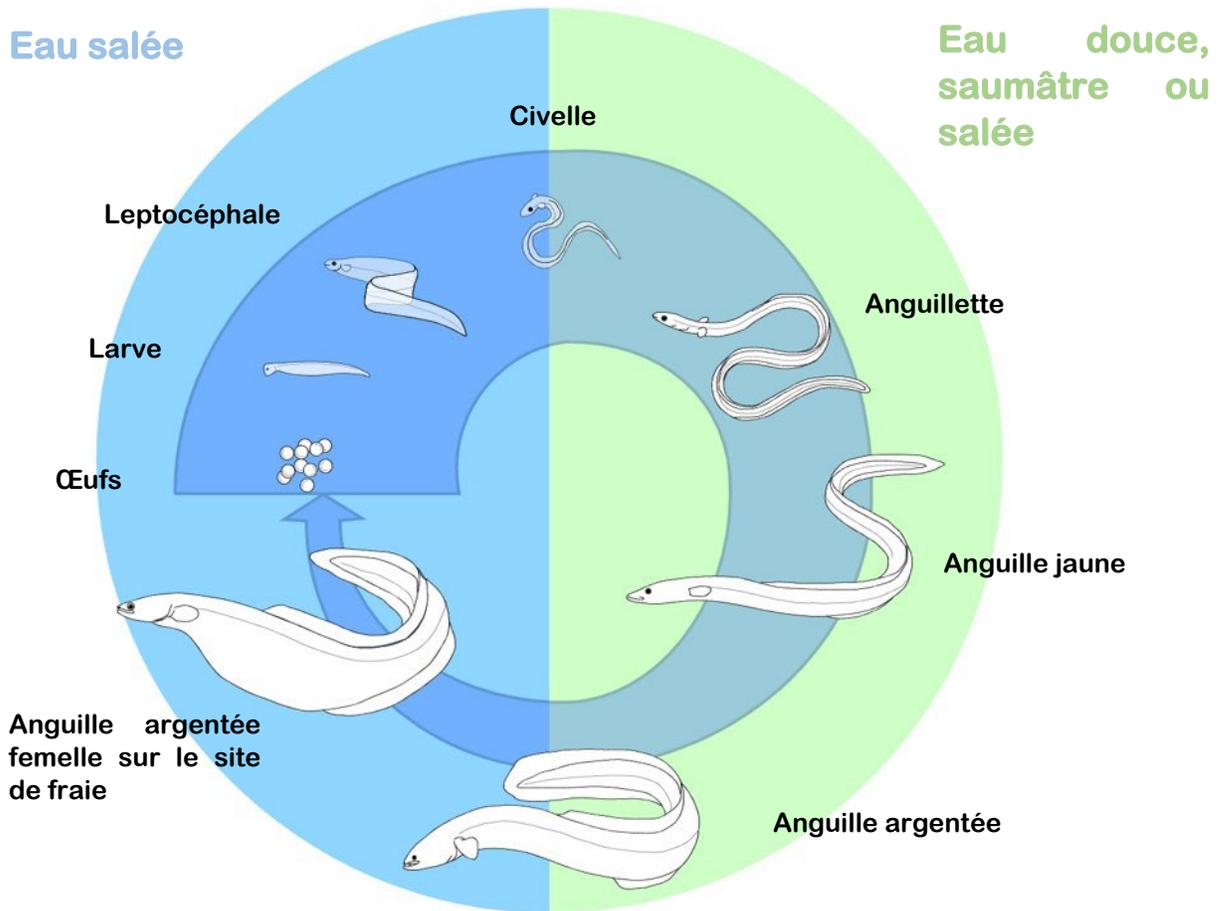


Figure 1. Cycle de vie de l'anguille d'Amérique. Illustration : Frédéric Lecomte (ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs, MELCCFP).

Au Québec, l'anguille d'Amérique a subi un déclin important entre 1990 et 2010. En 2017, le recrutement annuel des jeunes anguilles en amont du système Saint-Laurent était estimé à 0,8 % de la moyenne de la période 1975-1985 (Comité scientifique sur l'anguille d'Amérique, 2019). L'anguille est d'ailleurs inscrite sur la liste des espèces susceptibles d'être désignées comme menacées ou vulnérables au Québec. Au Canada, le Comité sur la situation des espèces en péril propose le statut de « menacée » pour l'anguille (COSEPAC, 2012). Bien que l'espèce ne bénéficie d'aucun statut de protection légal au provincial ou au fédéral, l'état du stock d'anguilles est très préoccupant. Toutefois, la situation de l'anguille dans les tributaires et les eaux côtières du golfe

du Saint-Laurent et de la baie des Chaleurs est plus difficile à établir, puisque le suivi du recrutement et de la dévalaison des anguilles adultes ne couvre qu'une brève période, avec des données temporellement ponctuelles. Ces suivis récents suggèrent que le déclin serait moins prononcé dans l'est du Québec et dans le golfe du Saint-Laurent que dans le système du fleuve Saint-Laurent (Comité scientifique sur l'anguille d'Amérique, 2019). À l'échelle provinciale, six principales menaces pouvant expliquer le déclin ou le maintien des faibles abondances ont été relevées : la fragmentation de l'habitat, la mortalité lors du passage dans les turbines des barrages hydroélectriques, les parasites et maladies, les pêcheries commerciales, la contamination et les changements climatiques et océaniques (Comité scientifique sur l'anguille d'Amérique, 2022). Les menaces que représentent la pêche commerciale et les parasites et maladies seront traitées dans ce document.

Aux îles de la Madeleine, la pêche commerciale de l'anguille est une tradition qui se perpétue de génération en génération. Aujourd'hui, la majorité des pêcheurs pratiquent l'activité pour obtenir un revenu d'appoint ou simplement pour combler leur besoin personnel. Toutes les prises sont écoulées sur le marché local. Bien que ce ne soit pas le poisson le plus populaire dans l'archipel actuellement, il reste recherché par une portion de la population qui l'utilise notamment dans la confection de plats traditionnels, comme le fameux pot-en-pot. L'anguille fait aussi l'objet d'une pêche sportive dans l'archipel. La pêche sportive est ouverte à l'année. Les engins permis sont la ligne, l'arc, l'arbalète et le harpon. Le harpon constitue la technique la plus populaire. Elle se pratique l'hiver, au moyen de trous percés dans la glace. Lors de la dernière caractérisation de la pêche sportive en 2004, la récolte totale a été estimée entre 1 et 1,5 tonne (Georges, 2005).

L'*Anguillicola crassus* (*A. crassus*) est un nématode parasite d'origine asiatique qui se loge dans la vessie natatoire et qui progresse vers le nord de l'aire de distribution de l'anguille d'Amérique depuis son introduction dans les populations sauvages de l'Amérique du Nord en 1996 (Pratt et coll., 2019). L'effet du parasite sur la survie et le succès reproducteur des anguilles d'Amérique du Québec reste à préciser. Des études suggèrent qu'il altère le fonctionnement de la vessie natatoire et la capacité de nage des individus infectés (Pelster, 2023), ce qui affecterait négativement le taux de survie annuel (Warshafsky et coll., 2019).

Dans le contexte du déclin généralisé de l'espèce, le ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) a publié, en 2022, un plan d'action visant à contribuer au rétablissement et à la gestion durable de l'espèce au Québec (Comité scientifique sur l'anguille d'Amérique, 2022). L'action 3.3.1 de ce plan consiste à « caractériser les pêcheries des secteurs du lac Saint-Pierre, du tronçon pont Laviolette-Île d'Orléans et des Îles-de-la-Madeleine ». En effet, les dernières données disponibles sur la pêcherie et les anguilles obtenues aux îles de la Madeleine datent de 2007 et 2008 (Georges, 2008, Richard, 2008). La présente étude visait à mettre à jour ces connaissances. Les objectifs étant de caractériser la pêcherie (effort de pêche, débarquements, captures par unité d'effort) et les captures commerciales d'anguilles d'Amérique (longueur, âge, masse, sexe, prévalence d'*A. crassus*). Le but étant d'évaluer l'état du stock local, l'efficacité des modalités de pêche commerciale en vigueur et la menace que représente le parasite *A. crassus*.

Ce rapport est divisé en six sections. Suivant cette introduction, la section deux présente un portrait de la pêche commerciale de l'anguille aux îles de la Madeleine. En plus de l'historique de la pêcherie, on y présente les détails de la réglementation de pêche commerciale ainsi que le site à l'étude. La troisième section est consacrée à la caractérisation de la pêche commerciale de l'anguille en 2021 en matière d'effort, de récolte et de captures par unité d'effort. La quatrième section s'attarde aux caractéristiques biologiques des anguilles pêchées en 2021. On y détaille les structures en taille, en âge et en masse, en plus de présenter des analyses sur la croissance, les taux de mortalité et la présence du parasite *A. crassus*. La cinquième section s'intéresse à la superficie de l'habitat sous l'influence de la pêcherie, afin d'émettre un avis sur l'état du stock local.

On y présente aussi des recommandations de gestion. Finalement, la sixième section dresse un bilan des connaissances acquises grâce à cette étude et des recommandations qui en émanent.

2. Description de la pêcherie

2.1. Site à l'étude

L'archipel des îles de la Madeleine est situé dans le golfe du Saint-Laurent, à 210 km au sud-est de la péninsule gaspésienne (figure 2). La pêche commerciale de l'anguille se déroule dans les zones peu profondes des milieux abrités et plus ou moins saumâtres, comme les lagunes, les étangs et les barachois. Bien que la pêche se pratique dans plusieurs secteurs, elle se concentre récemment dans le Barachois de Fatima et la baie du Havre aux Basques. Le Barachois de Fatima est un étang de 0,35 km² qui est connecté à la lagune du Havre aux Maisons par un petit canal anthropisé. L'eau y est légèrement saumâtre (10,7 ppm; mesuré le 13 octobre 2022). La baie du Havre aux Basques est un plan d'eau peu profond (profondeur moyenne de 2,5 m; Asselin et coll. 1995) de 20,41 km², isolé de la mer par des cordons littoraux. La lagune était autrefois connectée en permanence à la baie de Plaisance par une passe qui a été fermée définitivement en 1956 par la construction d'une jetée pour protéger la route 199 (Asselin et coll. 1995). De nos jours, une passe, appelée goulet, s'ouvre périodiquement dans la dune de l'Ouest au gré des tempêtes. L'eau y est saumâtre, variant de près de 15 ppm au printemps, à plus de 25 ppm en été (Asselin et coll. 1995, données non publiées de Pêches et Océans Canada).

Il est à noter que la nomenclature des sites de pêche peut porter à confusion, car un même site peut être nommé de diverses manières en fonction de l'interlocuteur. Dans les communications avec les pêcheurs, la nomenclature utilisée était celle que ceux-ci utilisaient le plus communément et la même que celle qui a été présentée par Richard (2008). Une carte était également fournie afin de s'assurer d'une compréhension commune. Dans ce rapport, la nomenclature utilisée est la toponymie officielle reconnue par la Commission de toponymie du Québec.

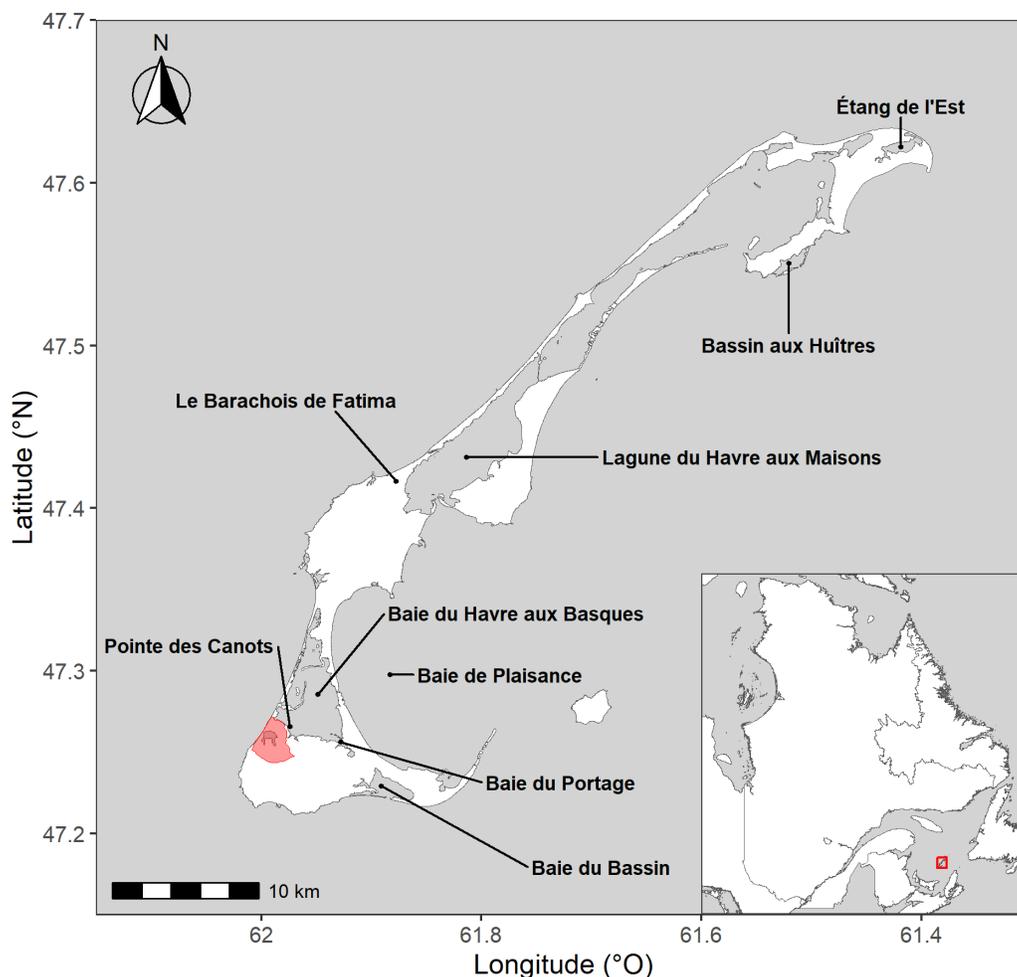


Figure 2. Localisation des principaux sites de pêche commerciale de l’anguille aux îles de la Madeleine et de certains plans d’eau discutés dans le présent rapport. La zone où la pêche commerciale est interdite est illustrée en rouge.

2.2. Historique des débarquements

Les données les plus anciennes sur la pêche commerciale de l’anguille aux îles de la Madeleine datent de 1870 (figure 3). Plusieurs entités ont été responsables de la récolte et de la publication des statistiques de débarquement et le suivi a été interrompu à plusieurs reprises depuis 1870. Trois ouvrages regroupent les statistiques disponibles pour la période pré-1984. Cairns (2020) a rassemblé les données pour la période 1870-1920, alors que les données pour la période 1917-1983 ont été publiées dans deux rapports produits par le Bureau de la statistique du Québec (Bérubé et Yergeau, 1992; Bérubé, 1990). Les données pour la période 1984-1990 et pour 1995 sont disponibles dans les revues annuelles des pêches maritimes du Québec publiées par le service des statistiques de Pêches et Océans Canada. Enfin, en 2007 et 2008, une caractérisation de la pêcherie a été réalisée et les données de débarquement ont été publiées respectivement par Georges (2008) et par Richard (2008).

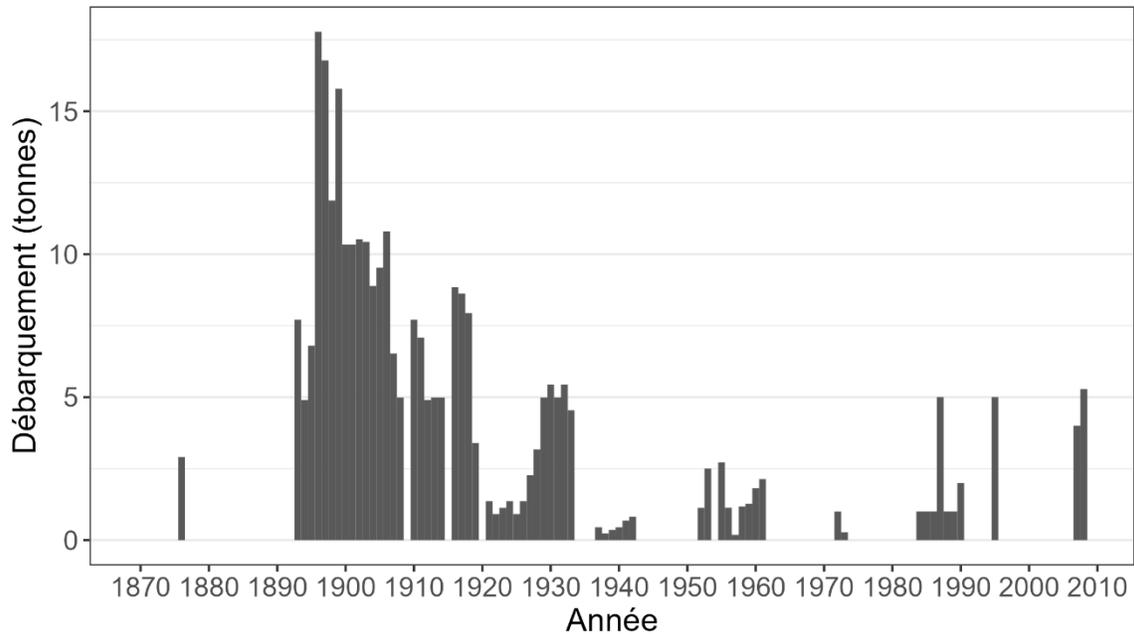


Figure 3. Débarquements d’anguilles d’Amérique sur le territoire des îles de la Madeleine de 1870 à 2008. Il est à noter que le suivi des débarquements a été interrompu à plusieurs reprises.

Les données historiques de débarquement doivent être interprétées avec prudence. En effet, des variables comme l’effort de pêche, les méthodes de pêche, les sites de pêche et la rigueur avec laquelle les données furent récoltées peuvent avoir grandement changé dans le temps. La citation suivante, tirée de l’article de Mousseau (1979), est particulièrement révélatrice en ce sens : « Selon quelques Madelinots, cette espèce serait très abondante dans l’étang de l’Est; on la pêche à l’automne en pratiquant une ouverture dans la dune permettant un contact avec la mer. Les anguilles sont alors capturées lorsqu’elles tentent d’atteindre la mer. » De nos jours, la pêche à l’anguille n’est plus pratiquée dans l’étang de l’Est et la méthode de pêche décrite par Mousseau est illégale. Par ailleurs, il ne faut pas interpréter l’absence de données comme garante d’années sans capture, puisqu’il s’agit probablement d’années où la pêche a eu lieu, mais où aucun suivi n’a été réalisé.

La figure 3 demeure intéressante et permet de dégager certaines grandes tendances : (1) les débarquements d’anguilles aux îles de la Madeleine ont atteint leur maximum vers la fin des années 1890 alors que les captures ont dépassé 15 tonnes; (2) Après ce maximum, les captures ont été en baisse jusqu’en 1925; (3) Depuis, lorsqu’elles sont déclarées, les captures sont relativement stables, dépassant rarement 5 tonnes.

2.3. Réglementation

Au Québec, le MELCCFP détermine annuellement, lors de la publication du plan de gestion de la pêche, les modalités relatives à la pêche commerciale. Les eaux où la pêche commerciale peut être pratiquée, les engins utilisés pour chacune des espèces, les limites de prises et de taille à respecter ainsi que les périodes de pêche y sont spécifiés. L’article 5 (1) du plan de gestion de la pêche spécifie les modalités de la pêche commerciale de l’anguille pour le territoire des îles de la Madeleine.

En vertu du plan de gestion de la pêche de 2020-2021, deux types de pêches commerciales de l'anguille d'Amérique étaient permis aux îles de la Madeleine, soit la pêche à la ligne dormante et la pêche aux verveux/trappe/seine. Dans le présent document, nous référerons à cette dernière catégorie comme la « pêche aux verveux », puisque seul ce type d'engin est utilisé. Dans le *Règlement de pêche du Québec* (1990) - DORS/90-214 (article 2), on définit la ligne dormante comme une « ligne à laquelle sont attachés des hameçons espacés les uns des autres ». Pour la pêche de l'anguille aux îles de la Madeleine, chaque ligne est composée de 50 ou 100 hameçons, qui sont appâtés avec de petits poissons (p. ex., choquemort). Selon le même article, un verveux est défini comme un « engin de pêche composé d'une série de poches coniques interconnectées se rétrécissant à distances égales jusqu'à une pointe; composé d'une ou plusieurs ailes ou d'un ou plusieurs guideaux; fabriqué de fil à mailles ou de treillis métallique ou plastique; monté sur des cerceaux ou des cadres ». La pêche aux verveux se pratique dans les lagunes ou dans de petits lacs d'eau plus ou moins salée (certains sont appelés barachois aux îles de la Madeleine). Les verveux y sont tendus à l'aide de piquets de bois plantés dans la vase. Le guideau est installé à partir de la rive et perpendiculairement à celle-ci, afin de guider les anguilles vers le piège installé en eau plus profonde (figure 4).



Figure 4. Verveux installé dans une lagune des îles de la Madeleine.

La pêche commerciale est permise dans les eaux intérieures des îles ainsi que les eaux entourant les îles jusqu'à 1 km de leur contour, à l'exception des plans d'eau situés au nord-ouest du chemin de la Montagne et du chemin de la Pointe-des-Canots sur l'île du Havre Aubert (voir figure 2). La pêche à la ligne dormante est ouverte du 15 mai au 15 août. Le plan de gestion de la pêche autorise un maximum de 100 engins comportant un maximum de 100 hameçons par engin. Pour ce qui est

de la pêche aux verveux, elle est ouverte du 1^{er} août au 31 octobre. Le plan de gestion de la pêche autorise un maximum de 300 engins comportant chacun un maximum de 15 brasses de guideau. Peu importe le type de pêche, seules les anguilles de 20 cm et plus peuvent être conservées. Il n'y a pas de contingent à respecter.

2.4. Pêcheurs

En 2021, le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) a délivré 21 permis pour la pêche à la ligne dormante et 120 permis pour la pêche aux verveux. Chaque détenteur d'un permis de pêche à la ligne dormante a le droit d'utiliser jusqu'à deux lignes, avec un maximum de 100 hameçons par ligne. Le permis de pêche aux verveux permet d'utiliser un (8 permis) ou deux verveux (112 permis), pour un total de 232 verveux autorisés en 2021. Puisque plusieurs pêcheurs achètent leur permis sans pratiquer l'activité, le nombre de permis délivrés n'est pas représentatif du nombre de pêcheurs actifs ni de l'effort réel de pêche déployé (François Bourque, MAPAQ, communication personnelle). Lors de la caractérisation de la pêcherie en 2007, il était estimé que seulement un peu plus de 28 % (30 sur 106) des détenteurs de permis avaient pratiqué la pêche (Georges, 2008).

3. Caractérisation de la pêche commerciale en 2021

3.1. Méthodologie

Pour la pêche à la ligne dormante et aux verveux, l'effort total, la récolte totale et les captures par unité d'effort de pêche ont été estimés à partir de sondages postaux et, dans le cas de la pêche aux verveux spécifiquement, à partir de carnets remplis par des pêcheurs repères. Les sections ci-dessous présentent les détails de l'enquête pour chaque type de pêche ainsi que les équations permettant d'estimer les variables et leurs variances (tirées de Pollock et coll., 1994).

Pêche à la ligne dormante

Juste avant le début de la saison de la pêche à la ligne dormante, un sondage a été envoyé par la poste aux titulaires de permis, à remplir et à acheminer au bureau régional du MAPAQ à la fin de la saison de pêche de 2021. Le sondage et la lettre l'accompagnant sont présentés à l'annexe 1. Les pêcheurs devaient mentionner s'ils avaient pêché en 2021, indiquer le nombre de lignes utilisées et, pour chaque ligne, mentionner le nombre d'hameçons, le secteur de pêche (voir la carte de l'annexe 1), le nombre total de jours de pêche et le nombre total d'anguilles capturées. À la fin de la saison, une seconde lettre a été envoyée aux pêcheurs afin de leur rappeler de remplir le sondage et de l'acheminer au MAPAQ (annexe 2). Une enveloppe affranchie était fournie avec ce deuxième envoi afin de faciliter le retour des formulaires.

Effort de pêche

L'effort de pêche annuel d'un pêcheur est défini comme le nombre total d'hameçons utilisés, multiplié par le nombre de jours de pêche et s'exprime donc en hameçon-jour. L'effort de pêche total pour la saison 2021 a été estimé grâce à la formule suivante :

$$\hat{E} = N\bar{e}$$

où N correspond au nombre de détenteurs de permis de pêche à la ligne dormante et \bar{e} est l'effort de pêche moyen pour les pêcheurs ayant répondu au sondage¹.

La variance de l'effort moyen par pêcheur est estimée par :

$$\widehat{Var}(\bar{e}) = \left(\frac{N-n}{N}\right) \frac{s^2}{n}$$

où n représente le nombre de pêcheurs ayant répondu au sondage et s^2 la variance de l'échantillon.

L'erreur type de l'effort total pour le territoire des îles de la Madeleine est estimé par :

$$ET(\hat{E}) = \sqrt{N^2 \widehat{Var}(\bar{e})}$$

Capture totale

Le nombre total de captures est estimé par :

$$\hat{C} = N\bar{c}$$

où N est le nombre de détenteurs de permis de pêche à la ligne dormante et \bar{c} la récolte moyenne par pêcheur, exprimée en nombre d'anguilles, chez les pêcheurs ayant répondu au sondage.

La variance de la récolte moyenne par pêcheur est estimée par :

$$\widehat{Var}(\bar{c}) = \left(\frac{N-n}{N}\right) \frac{s^2}{n}$$

où n représente le nombre de pêcheurs ayant répondu au sondage et s^2 la variance de l'échantillon.

L'erreur type du nombre total de captures pour le territoire des îles de la Madeleine est estimé par :

$$ET(\hat{C}) = \sqrt{N^2 \widehat{Var}(\bar{c})}$$

Captures par unité d'effort

Les captures par unité d'effort (CPUE) sont exprimées en nombre d'anguilles capturées par hameçon-jour :

$$\hat{R} = \frac{\bar{c}}{\bar{e}}$$

Nombre de pêcheurs actifs

Le nombre de pêcheurs à la ligne dormante actifs en 2021 a été estimé par :

$$Pêcheurs = \frac{\text{répondants actifs}}{n} \times N$$

Où *répondants actifs* est le nombre de pêcheurs actifs ayant répondu au sondage, n est le nombre de pêcheurs ayant répondu au sondage et N est le nombre de détenteurs de permis pour ce type de pêche en 2021.

1. « Les pêcheurs ayant répondu au sondage » comprend tous les détenteurs de permis ayant répondu au sondage, qu'ils aient déclaré avoir pêché ou non en 2021.

Pêche aux verveux

Comme pour la pêche à la ligne dormante, un sondage a été envoyé aux détenteurs de permis de pêche aux verveux en début de saison, suivi d'un rappel accompagné d'une enveloppe affranchie en fin de saison (annexes 3 et 4). De plus, sept pêcheurs repères ont accepté de remplir un carnet de pêche dans lequel ils devaient consigner leurs prises à chaque visite de leurs verveux. À chaque sortie, en plus du nombre total d'anguilles capturées par stade de développement (anguilles argentées ou anguilles jaunes), les pêcheurs devaient consigner le nombre de nuits de pêche depuis la dernière levée et préciser la longueur du guideau utilisé (voir le carnet à l'annexe 5). Pour éviter les doublons, les pêcheurs repères n'ont pas rempli le sondage envoyé par la poste.

La pêche aux verveux est particulière, car ceux-ci sont bien visibles et normalement installés pour plusieurs jours au même endroit (moyenne de 52 jours par verveux en 2008; Richard, 2008). De plus, les principaux sites de pêche sont connus et réutilisés d'une année à l'autre. Ainsi, une première estimation du nombre de verveux déployés en 2021 a été obtenue à partir de décomptes réalisés le 8 septembre et le 6 octobre. Chaque décompte a été réalisé en une journée, au cours de laquelle l'observateur parcourait l'ensemble des sites de pêche potentiels. Ces dates ont été sélectionnées, car elles couvrent la période où la plupart des pêcheurs étaient actifs lors des dernières caractérisations de cette pêcherie (Richard, 2008; Georges, 2008). Après la saison de pêche, les pêcheurs ont été conviés à une rencontre afin de valider le résultat des décomptes et de les compléter au besoin, ce qui a permis d'obtenir l'estimation finale du nombre total de verveux déployés en 2021 sur le territoire des îles de la Madeleine.

Effort de pêche

Puisque chaque pêcheur peut utiliser un ou deux verveux, l'effort de pêche n'est pas exprimé en fonction du pêcheur, mais plutôt en verveux-jour, soit le nombre de jours qu'un verveux a pêché.

L'effort de pêche total pour la saison 2021 a été estimé grâce à la formule suivante :

$$\hat{E} = N\bar{e}$$

où N est le nombre total de verveux déployés en 2021 et \bar{e} est la moyenne du nombre de jours de pêche par verveux, calculé à partir des informations fournies par les pêcheurs actifs² en 2021 ayant répondu au sondage et ceux ayant rempli un carnet du pêcheur.

La variance de l'effort moyen par pêcheur est estimée par :

$$\widehat{Var}(\bar{e}) = \left(\frac{N-n}{N}\right) \frac{s^2}{n}$$

où n est le nombre de verveux exploités par les pêcheurs actifs ayant répondu au sondage ou ayant rempli un carnet.

L'erreur type de l'effort total pour le territoire des îles de la Madeleine est estimé par :

$$ET(\hat{E}) = \sqrt{N^2 \widehat{Var}(\bar{e})}$$

2. « Les pêcheurs actifs » sont ceux ayant déclarés avoir pêché en 2021.

Capture totale

Le nombre total de captures est estimé par :

$$\text{Capture totale : } \hat{C} = N\bar{c}$$

où N est le nombre total de verveux déployés en 2021 et \bar{c} est la récolte annuelle moyenne par verveux, exprimée en nombre d'anguilles, calculée à partir des informations fournies par les pêcheurs actifs en 2021 ayant répondu au sondage et ceux ayant rempli un carnet du pêcheur.

La variance de la récolte moyenne par pêcheur est estimée par :

$$\widehat{Var}(\bar{c}) = \left(\frac{N-n}{N}\right) \frac{s^2}{n}$$

où n est le nombre de verveux exploités par les pêcheurs actifs ayant répondu au sondage ou ayant rempli un carnet.

L'erreur type du nombre total de captures pour le territoire des îles de la Madeleine est estimé par :

$$ET(\hat{C}) = \sqrt{N^2 \widehat{Var}(\bar{c})}$$

Captures par unité d'effort

Les CPUE sont exprimées en nombre d'anguilles capturées par verveux-jour. Les CPUE moyennes pour la saison ont été obtenues en faisant la moyenne des CPUE annuelles de chaque verveux.

Nombre de pêcheurs actifs

Le nombre total de pêcheurs aux verveux actifs en 2021 a été estimé par :

$$\text{Pêcheurs} = \frac{\text{répondants actifs}}{n} \times N$$

où *répondants actifs* est le nombre de pêcheurs actifs ayant répondu au sondage ou ayant rempli un carnet, n est le nombre de verveux exploités par ces derniers et N est le nombre total de verveux déployés en 2021.

Comparaison des statistiques de pêches de 2021 avec celles des années précédentes

Afin de comparer les statistiques de pêche de la saison 2021 avec celles qui ont été recueillies en 2007 et 2008, les données sur la pêche aux verveux récoltées respectivement par Georges (2008; tableau 3) et Richard (2008; annexe 4) ont été réanalysées selon la méthode décrite ci-dessus. Dans le cas des données du tableau 3 de Georges (2008), puisque les captures étaient rapportées par pêcheur (donc par groupe de deux verveux), un seul verveux par pêcheur, auquel fut attribué la moitié des prises et de l'effort, fut pris en compte dans les calculs des variances afin de ne pas artificiellement les sous-estimer. Pour les estimations d'effort et de captures, un test de Z a été utilisé pour déterminer si les différences observées entre les années étaient statistiquement significatives. Pour les CPUE, nous avons construit un modèle binomial négatif de type 2, en utilisant le nombre total d'anguilles capturées par verveux comme variable dépendante, l'année comme variables indépendantes et le logarithme de l'effort de pêche comme décalage (*offset*), grâce à la librairie MASS (Venables et Ripley, 2002). Cette modélisation a été réalisée en deux étapes : d'abord avec l'ensemble des verveux, puis en se concentrant uniquement sur ceux qui sont situés sur les sites de pêche communs aux trois années de suivi (c'est-à-dire la pointe des Canots et les autres sites du Havre aux Basques) et en ajoutant alors le site comme variable

indépendante au modèle. Ces modèles ont servi à comparer les CPUE de pêche moyennes des trois années de suivi, à l'aide de comparaisons par paires avec correction de Bonferroni (Lenth, 2024).

Finalement, nous avons vérifié l'effet potentiel de la diminution de la densité des verveux observée entre la fin des années 2000 et 2021 (voir la section résultat ci-dessous) sur l'évolution des CPUE par une méthode de simulation. Nous avons utilisé les données de 2008 (seule année où des données étaient disponibles pour l'ensemble des verveux), en conservant seulement les sites de pêche pour lesquels nous avons obtenu des données en 2021 afin d'éliminer un biais potentiel lié au lieu d'échantillonnage. Pour chaque site retenu, nous avons sous-échantillonné un nombre donné (X) de verveux correspondant au nombre de verveux exploités dans ce secteur en 2021. Pour chaque site, l'ensemble des captures des verveux ne faisant pas partie de ce sous-échantillonnage fut attribué, en parts égales, aux verveux sélectionnés. Cette opération a été répétée 1000 fois afin d'obtenir une valeur moyenne et une erreur type pour les CPUE.

3.2. Résultats

Pêche à la ligne dormante

Des 21 détenteurs de permis de pêche commerciale, 11 pêcheurs à la ligne dormante ont répondu au sondage, ce qui correspond à un taux de réponse de 52 %. Parmi les onze répondants, deux (18 %) ont déclaré avoir pêché en 2021. Ces pêcheurs étaient actifs dans le secteur de la baie du Bassin (figure 2). Le tableau 1 présente les données fournies par ces deux pêcheurs.

Tableau 1. Statistiques de pêche fournies par les deux pêcheurs commerciaux à la ligne dormante actifs en 2021 aux îles de la Madeleine, ayant répondu au sondage

ID Pêcheur	Nb de lignes	Ligne 1				Ligne 2			
		Nb d'hameçons	Secteur	Nb jours pêche	Nb total d'anguilles	Nb d'hameçons	Secteur	Nb jours pêche	Nb total d'anguilles
1	1	50	Bassin	5	22	-	-	-	-
2	2	100	Bassin	1	17	100	Bassin	14	31

Effort, récolte totale et CPUE

Le nombre de pêcheurs à la ligne dormante actifs en 2021 est estimé à 4 (3,82), soit 19 % des 21 permis émis par le MAPAQ. L'effort total estimé pour la saison de pêche à la ligne dormante en 2021 aux îles de la Madeleine est de 3341 hameçons-jour, avec une erreur type de 1970 hameçons-jour. Le nombre total de captures a été estimé à 134 anguilles, avec une erreur type de 67 anguilles. En appliquant une masse moyenne de 0,5824 kg par anguille (voir la section Caractérisation des anguilles pêchées), la récolte totale pour ce type de pêche en 2021 est estimée à 77,8 kg avec une erreur type de 38,9 kg. Pour cette pêche, en 2021, la CPUE moyenne est estimée à 0,04 anguille par hameçon-jour.

Pêche aux verveux

Sur les 120 détenteurs de permis de pêche commerciale aux verveux, 22 ont répondu au sondage, ce qui correspond à un taux de réponse de 19 %. De ce nombre, six (27 %) ont déclaré avoir exploité leur permis de pêche en 2021. Les sondages de deux répondants ont été exclus des

analyses suivantes. Dans le premier cas, il n'était pas possible de déchiffrer le nombre d'anguilles capturées et, dans le deuxième, la récolte déclarée était anormalement élevée et a été considérée comme fortement improbable. Les estimations d'effort, de captures et de CPUE sont donc basées sur les données fournies par les sept pêcheurs repères et les quatre pêcheurs actifs ayant répondu correctement au sondage. Ces 11 pêcheurs ont exploité 13 verveux : 2 d'entre eux ont exploité 2 verveux alors que les 9 autres n'ont exploité qu'un seul verveux.

Les pêcheurs repères ont exploité leurs verveux pour une période variant de 11 à 77 jours, sur une saison potentielle de 92 jours. Le premier verveux a été installé dès l'ouverture de la saison de pêche, alors que le dernier verveux a été retiré de l'eau au dernier jour de la saison, le 31 octobre. La figure 5 illustre la période de pêche des huit verveux exploités par les sept pêcheurs repères. Tous les verveux suivis étaient exploités lors du décompte du 6 octobre.

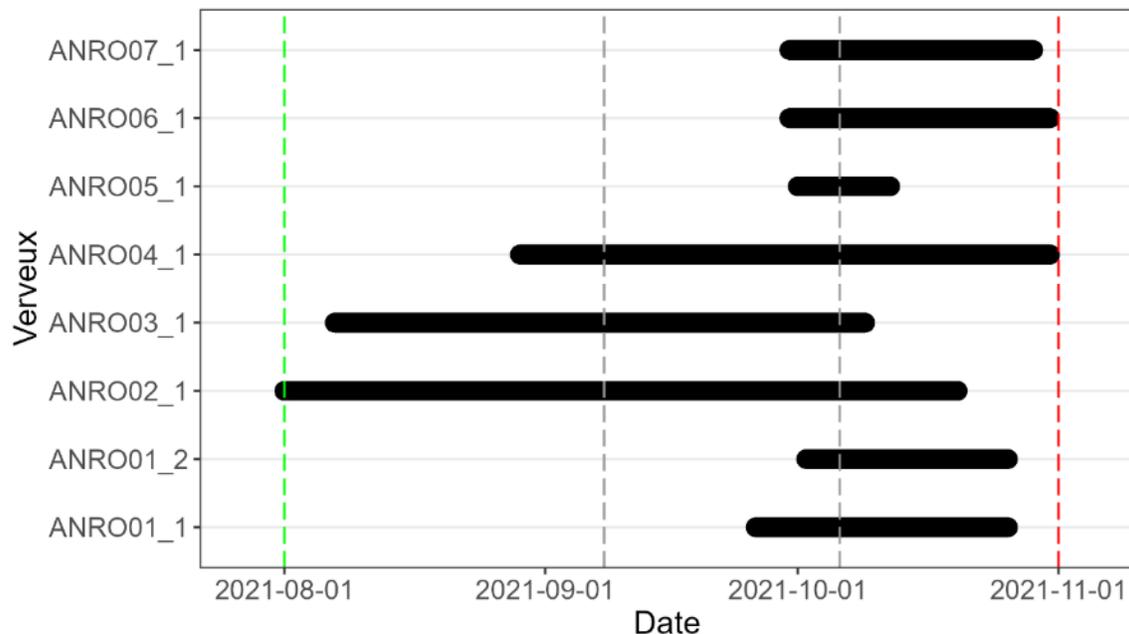


Figure 5. Période de pêche déclarée des huit verveux exploités par sept pêcheurs repères aux îles de la Madeleine en 2021. Les lignes pointillées verte et rouge indiquent respectivement les dates de début et de fermeture de la saison de pêche commerciale aux verveux. Les lignes pointillées grises indiquent le moment des décomptes de verveux, réalisés le 8 septembre et le 6 octobre. Le nom de chaque verveux est composé du code alphanumérique du pêcheur, suivi du numéro séquentiel du verveux.

Effort, récolte totale et CPUE

Lors du décompte réalisé le 8 septembre 2021, 20 verveux ont été observés, alors que 23 verveux ont été dénombrés le 6 octobre. Dix-neuf des 20 verveux localisés le 8 septembre étaient encore tendus au même endroit le 6 octobre. Il est peu probable que le verveux ayant « disparu » entre les deux décomptes ait été déplacé. Ainsi, il a été considéré pour déterminer le nombre total d'engins en exploitation au cours de la saison 2021. D'après les informations transmises par les pêcheurs, nous savons qu'au moins 5 verveux de plus que les 24 localisés lors des décomptes étaient en exploitation en 2021. Ces verveux n'ont pas été observés, car ils se trouvaient dans des zones qui n'ont pas été inventoriées. Ainsi, le nombre total de verveux en service pour la saison 2021 est estimé à 29. La figure 7 présente la localisation des verveux en exploitation en 2021.

Certains sites de pêche qui étaient exploités en 2008 (Richard, 2008) ne l'étaient plus en 2021. C'est le cas du bassin aux Huîtres et de l'étang des Caps. En 2021, la pêche aux verveux était concentrée dans la portion sud-ouest de l'archipel et les sites de pêche les plus prisés étaient les secteurs de la baie du Portage dans le Havre aux Basques (9 verveux) et le Barachois de Fatima (6 verveux). Les autres sites de pêche abritaient pour leur part entre un et trois verveux.

Le nombre de pêcheurs actifs pour la pêche aux verveux en 2021 est estimé à 25. Ce serait donc seulement 21 % des 120 détenteurs de permis qui auraient effectivement pratiqué cette pêche.

L'effort de pêche moyen par verveux est de 40 jours de pêche. Ce qui se traduit par un effort total estimé pour la saison de pêche aux verveux 2021 aux îles de la Madeleine de 1151 verveux-jours, avec erreur type de 147 verveux-jours. L'effort estimé pour 2021 était significativement inférieur à l'effort estimé en 2007 (3105 ± 114 verveux-jours; $Z = 10,5$; $p < 0,001$) et 2008 (3029 ± 32 verveux-jours; $Z = 12,4$; $p < 0,001$).

Le nombre total de captures en 2021 a été estimé à 8633 anguilles, avec une erreur type de 2024 anguilles. En appliquant une masse moyenne de 0,5824 kg par anguille, la récolte totale pour ce type de pêche en 2021 est estimée à 5,0 tonnes, avec erreur type de 1,2 tonne. En 2007, le nombre total de captures estimé était de 6345 anguilles, avec erreur type de 1237 anguilles, ce qui correspond à un tonnage de 3,1 tonnes, avec une erreur type de 0,6 tonne en fonction d'une masse moyenne de 495,5 g par anguille rapportée par George (2008). Pour 2008, la capture totale est estimée à 10 632 anguilles, avec erreur type de 290 anguilles. Il n'y a pas de différence significative entre le nombre d'anguilles capturées en 2021 et celles qui ont été capturées en 2007 ($Z = 0,96$; $p = 0,33$) ou 2008 ($Z = -0,98$; $p = 0,33$).

Pour la saison de pêche 2021, la CPUE moyenne est estimée à 10,2 anguilles par verveux-jour. En 2007, la CPUE était estimée à 2,1 anguilles par verveux-jour et 3,5 anguilles par verveux-jour en 2008 (figure 6a). Les comparaisons par paires basées sur le modèle comprenant l'ensemble des sites suggèrent une différence significative entre la CPUE moyenne de 2021 et celles de 2007 ($p = 0,02$) ou 2008 ($p = 0,004$). Cette différence s'accroît légèrement et demeure significative lorsque la même analyse est basée sur le modèle ne comprenant que les sites communs aux trois années (figure 6b). La CPUE obtenue par la simulation basée sur un rééchantillonnage et une redistribution des captures de 2008 était de $8,1 \pm 0,4$ anguilles par verveux-jour.

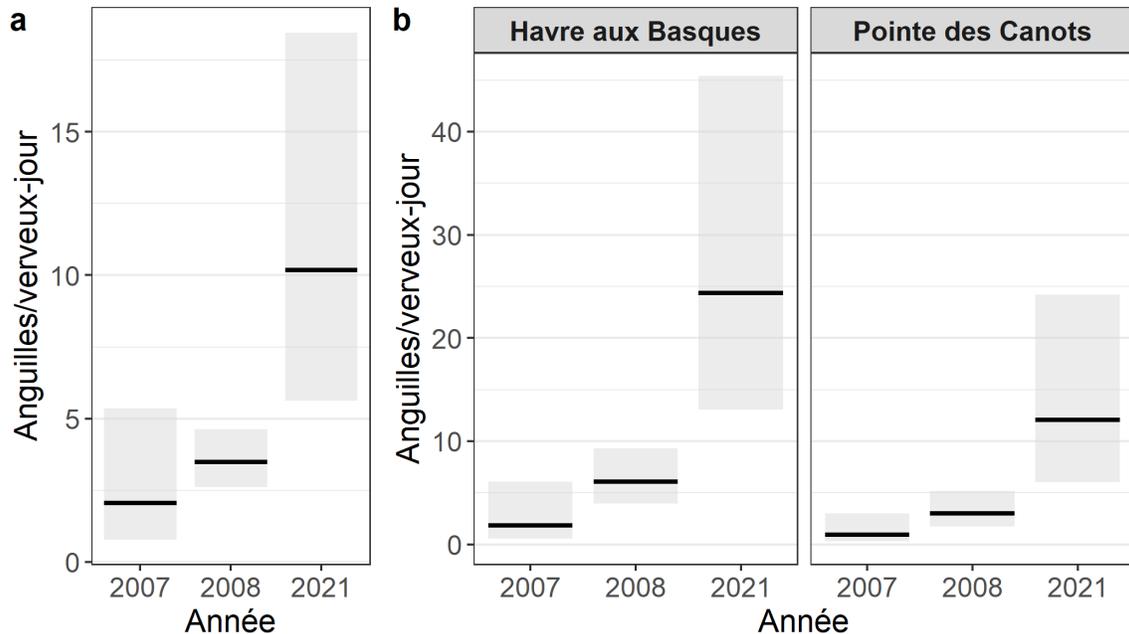


Figure 6. Moyenne (lignes noires) et intervalles de confiance à 95% (rubans semi-transparents) des captures par unité d'effort pour les saisons 2007, 2008 et 2021 de la pêche commerciale aux verveux de l'anguille aux îles de la Madeleine, obtenus à l'aide d'un modèle binomial négatif de type 2. Le panneau de gauche (a) présente les résultats du modèle considérant l'ensemble des données disponibles. Le panneau de droite (b) présente les résultats du modèle ne considérant que les verveux installés sur les deux sites de pêche communs aux trois années de suivi.

3.3. Discussion

Pêche à la ligne dormante

La pêche à la ligne dormante est une activité marginale qui génère des débarquements modestes. Les dernières informations sur ce type de pêche aux îles de la Madeleine provenaient des résultats d'un sondage postal réalisé en 2008. À l'époque, l'effort total avait été estimé à 5065 hameçons-jour (Richard, 2008). Bien que l'effort estimé pour 2021 montre une tendance à la baisse, cette différence n'est pas significative. La récolte totale attribuable à cette pêche aurait diminué, passant de 390 anguilles en 2008 à 134 en 2021.

Pêche aux verveux

L'effort de pêche estimé pour 2021 est près de trois fois moindre que celui qui a été estimé en 2007 et en 2008. Deux facteurs expliquent cette baisse. Premièrement, bien que le nombre de permis délivrés ait augmenté, passant de 106 en 2007 (Georges, 2008) à 120 en 2021, le nombre de pêcheurs actifs a suivi une tendance inverse, passant de 30 en 2007 (Georges, 2008) à 25 en 2021. Conséquemment, le nombre total de verveux dénombrés a lui aussi diminué, passant de 45 en 2007 et 58 en 2008, à 29 en 2021. Finalement, les verveux ont servi, en moyenne, pour une période plus courte, le nombre de jours de pêche par verveux ayant diminué de près de 50 %

en comparaison avec 2007. Malgré la diminution de l'effort, la récolte totale d'anguilles aux verveux en 2021 est comparable à celle des saisons 2007 et 2008. Cela s'explique par une CPUE plus de trois fois supérieure en 2021.

Cette augmentation de CPUE pourrait refléter une augmentation de l'abondance de la ressource, à condition que la probabilité de capture d'une anguille disponible à la pêche par un verveux dans les sites suivis soit restée stable de 2007 à 2021. Dans le contexte de la diminution du nombre de verveux utilisés pendant la même période aux îles de la Madeleine, il est peu probable que cette prémisse soit respectée. Dans l'archipel, la pêche se concentre dans quelques sites prisés par les pêcheurs et il n'y a pas de distance minimale réglementaire à conserver entre les engins. Sur ces sites, il peut donc y avoir plusieurs verveux tendus très près les uns des autres (littéralement moins de 10 m entre les verveux). Donc, lorsqu'un verveux est retiré, la probabilité de capture d'une anguille disponible à la pêche par les engins restants est susceptible d'augmenter. En d'autres termes, il est probable que l'augmentation des CPUE observée en 2021 s'explique en partie par le fait que le nombre d'anguilles disponibles à la pêche soit resté stable, mais que ces anguilles aient été capturées par un nombre restreint de verveux. Cette hypothèse est appuyée par le résultat de la simulation basée sur un rééchantillonnage et une redistribution des captures de 2008, qui ont produit une estimation de CPUE qui, bien qu'elle soit plus faible, n'était pas statistiquement différente de l'estimation de 2021. Il faut toutefois analyser ce résultat avec prudence, puisque la simulation s'appuie sur des hypothèses draconiennes favorisant l'obtention de CPUE élevées. En somme, puisqu'on ne connaît pas exactement l'évolution de la probabilité de capture d'une anguille par un verveux entre la fin des années 2000 et 2021, on ne peut exclure que l'augmentation observée des CPUE soit en partie attribuable à une augmentation de l'abondance de l'anguille aux îles de la Madeleine. Toutefois, l'ampleur de cette augmentation, si elle est présente, ne peut être quantifiée avec les données disponibles.

À cet égard, il est intéressant de comparer la tendance observée aux îles de la Madeleine à celle qui a été observée à proximité dans l'aire de distribution. Ailleurs dans le golfe du Saint-Laurent, la pêche aux verveux visant l'anguille jaune est pratiquée en Nouvelle-Écosse et à l'Île-du-Prince-Édouard. Dans les deux cas, les engins utilisés et le type d'habitat pêché sont très semblables à ceux des îles de la Madeleine. Le cas de l'Île-du-Prince-Édouard est d'autant plus intéressant qu'une distance minimale de 200 mètres est imposée entre les verveux (Cairns, 2020), ce qui limite le biais lié à la diminution du nombre d'engins utilisés discuté ci-dessus. Cairns (2020) rapporte les biomasses par unité d'effort (BPUE) pour ces pêcheries de 1996 à 2019. Ces BPUE sont exprimées en kilogrammes d'anguille de taille légale par verveux-jour. Afin de comparer les CPUE observées en 2021 aux îles de la Madeleine aux BPUE rapportées dans les Maritimes, nous les avons transformées en les multipliant par la proportion d'anguilles de ≥ 53 cm (taille légale dans les Maritimes) dans l'échantillon de 2021 et en multipliant ce nombre d'anguilles par la masse moyenne des anguilles de ≥ 53 cm dans le même échantillon. On obtient ainsi une BPUE de 5,41 kg/verveux-jour, ce qui se compare avantageusement à celles qui sont rapportées par Cairns (2020). En effet, les BPUE moyennes pour la période 2015-2019 étaient de 1,39 kg/verveux-jour pour l'Île-du-Prince-Édouard et de 5,81 kg/verveux-jour pour la Nouvelle-Écosse. Comme aux îles de la Madeleine, les BPUE y sont en augmentation au cours des dernières années. Par exemple, les BPUE moyennes pour la période 2000-2005 étaient de 0,83 kg/verveux-jour pour l'Île-du-Prince-Édouard et de 1,48 kg/verveux-jour pour la Nouvelle-Écosse. On peut donc conclure que la BPUE de la pêche aux verveux aux îles de la Madeleine est relativement élevée et qu'elle est en augmentation, une tendance également observée dans des pêcheries similaires du golfe du Saint-Laurent (Cairns et coll., 2014). Une analyse plus poussée serait nécessaire pour déterminer la cause ultime de cette tendance, notamment pour évaluer si elle reflète une augmentation de la ressource dans le golfe du Saint-Laurent.

3.4. Biais et améliorations potentielles

Les enquêtes de pêche sont sensibles à certains biais dont il faut tenir compte lors de l'interprétation des résultats; la présente étude n'échappe pas à cette règle.

Le biais de non-réponse est inhérent aux sondages postaux (Pollock et coll., 1994). Il est en effet possible que les pêcheurs ayant répondu au sondage ne soient pas représentatifs de l'ensemble des détenteurs de permis. Par exemple, on peut penser que les pêcheurs les plus actifs ont été les plus enclins à participer au sondage. Deux moyens ont été utilisés pour limiter l'impact du biais de non-réponse. Dans un premier temps, tous les pêcheurs commerciaux ont été conviés à une rencontre d'information tenue à Cap-aux-Meules en amont de l'étude, en octobre 2019. Cette rencontre a permis de présenter le projet et de répondre aux questions. Enfin, une lettre de rappel, accompagnée d'une nouvelle copie du sondage et d'une enveloppe de retour préaffranchie, a été envoyée après la fin de la saison de pêche.

Il faut également prendre en compte le fait que le nombre total de verveux utilisés en 2021 a été estimé à partir d'un décompte ponctuel. Bien que ce décompte ait été fait au plus fort de la saison de pêche, il est très possible que des verveux aient été en fonction seulement avant ou après cette journée. Il faut aussi mentionner que certains verveux ont pu être manqués lors du décompte, comme nous l'ont d'ailleurs fait remarquer certains pêcheurs. L'estimation du nombre de verveux utilisés pris en compte dans cette étude représente donc le minimum du nombre total de verveux utilisés en 2021. Ainsi, si l'on fait abstraction du biais de non-réponse, on peut considérer que les estimations d'effort et de récolte totale représentent des minimums.

Les statistiques présentées dans cette section n'en demeurent pas moins informatives et utiles à la gestion de la pêcherie. Il est d'ailleurs rassurant de constater que les estimations d'effort obtenues en 2021 sont plus faibles que celles de 2007 et 2008 et que la variance est plus élevée, ce qui suggère que notre échantillonnage représentait un large éventail de pêcheurs et non seulement les plus actifs. Afin d'améliorer la qualité des données récoltées et de limiter les biais potentiels, il serait souhaitable d'établir un suivi annuel en utilisant un carnet du pêcheur à remplir par l'ensemble des détenteurs de permis. La saisie des statistiques de pêche dans ce carnet pourrait être une exigence inscrite sur le permis de pêche, comme c'est la norme dans les pêches commerciales.

4. Caractérisation des anguilles pêchées en 2021

4.1. Méthodologie

Un échantillon des anguilles capturées aux verveux a été obtenu grâce à la collaboration de quatre pêcheurs volontaires. Un permis à des fins de gestion de la faune leur a été délivré pour qu'ils puissent, dans le cadre du présent projet, récolter les anguilles de toutes tailles. Ces pêcheurs étaient actifs dans les secteurs du Barachois de Fatima (1 pêcheur), de la pointe des Canots dans le Havre aux Basques (2 pêcheurs) et du barachois à Lapière dans le Havre aux Basques (1 pêcheur) (figures 2 et 7). Les jours d'échantillonnage ont été choisis en fonction de la disponibilité de chaque pêcheur et ont été concentrés lors de la période où l'effort et les CPUE sont normalement les plus élevés, soit entre le 13 septembre et le 18 octobre (figure 5). Lors d'un jour d'échantillonnage, le pêcheur remettait toutes ses prises à l'équipe de MERINOV. Le nombre total de jours d'échantillonnage n'était pas prédéterminé, mais visait plutôt à atteindre les objectifs suivants : (1) obtenir au moins 30 anguilles par pêcheur, (2) obtenir au moins 100 anguilles par grand secteur (Havre aux Basques et Barachois de Fatima) et (3) obtenir un total de 240 anguilles.

La prise de mesures et d'échantillons a été réalisée par l'équipe de MERINOV, dans leur laboratoire de Cap-aux-Meules, au maximum 24 heures suivant la capture. Chaque poisson a été photographié, mesuré (longueur totale ± 1 mm) et pesé ($\pm 0,5$ g). Le sexe était premièrement déterminé par l'observation macroscopique de la morphologie des gonades, puis confirmé par l'observation au microscope binoculaire d'un bout de gonade écrasé. Lorsque des ovocytes étaient observés, l'individu était classé comme une femelle. En l'absence d'ovocytes, lorsque le mélange était uniformément granulaire, l'individu était classé comme un mâle.

Plusieurs mesures étaient prises afin de déterminer le niveau d'argenture : la circonférence du corps au niveau de l'insertion de la nageoire dorsale (± 1 mm), la mesure horizontale et verticale de l'œil gauche (± 1 mm), la longueur de la nageoire pectorale gauche (± 1 mm), le niveau de mélanisation des nageoires pectorales, la présence de corpuscules noirs sur la ligne latérale, la coloration des flancs, la coloration du ventre, la coloration du dessous du menton et l'ouverture de l'anus. L'annexe 6 présente le protocole détaillé de ces prises de données.

Les otolithes sagitta étaient prélevés sur chaque individu, conservés à sec dans des microtubes et envoyés au laboratoire du MELCCFP pour analyse. Les anneaux de croissance ont été mis en évidence par la méthode de meulage et de polissage décrite par Tardif (2012) ou par la méthode de coupe et de brûlage décrite dans ICES (2011). Les otolithes ont ensuite été interprétés par deux lecteurs indépendants, afin de déterminer l'âge de chaque spécimen. Lorsque l'âge attribué par les deux lecteurs était différent, l'otolithe était réexaminé par les deux lecteurs. S'ils ne parvenaient toujours pas à un consensus sur l'âge de l'individu, le spécimen était rejeté. L'âge attribué correspond à l'âge pour la phase de croissance continentale, c'est-à-dire que l'annulus correspondant à l'âge 1 était le premier suivant la ligne d'arrêt de croissance (*elver check*).

La vessie natatoire était prélevée, puis ouverte, afin de déceler visuellement la présence du parasite *A. crassus*. Lorsque le parasite était présent, les individus étaient dénombrés à l'œil nu, sans égard au stade de développement.

Analyses statistiques

Toutes les analyses ont été réalisées avec le logiciel R version 4.3.1 (R Core Team, 2023).

Stade de maturité sexuelle

À la fin de leur phase de croissance, les anguilles traversent une série de changements morphologiques et physiologiques en préparation pour leur migration vers la mer des Sargasses (McGrath et coll., 2003). L'aspect général de ces anguilles, dont la couleur de la peau passe d'un jaune-vert au argent-bronze, leur a valu le nom d'anguilles argentées. Les anguilles qui sont toujours dans leur phase de croissance sont pour leur part appelées anguilles jaunes. La couleur de la peau est toutefois un critère qualitatif qui permet difficilement, à lui seul, de départager avec certitude les anguilles qui se reproduiront dans l'année de celles qui continueront leur croissance en eau continentale (Acou et coll., 2005). Pour l'anguille d'Amérique, McGrath et ses collaborateurs (2003) ont décrit cinq traits morphologiques permettant de distinguer les deux groupes d'anguilles, soit la longueur, la masse, la circonférence, l'indice oculaire et l'indice de la nageoire pectorale. Chez l'anguille d'Europe (*Anguilla anguilla*), le facteur de condition de Fulton a également été retenu comme un trait permettant de départager les résidentes des migrantes (Rad et coll., 2013), tout comme la couleur des flancs (vert-jaune ou autre) et la présence de corpuscules noirs sur la ligne latérale (Acou et coll., 2005). Ces huit variables ont été utilisées pour départager les deux groupes d'anguilles (jaune et argentée) au sein de notre échantillon à l'aide d'une analyse de groupement (*clustering*). Dans un premier temps, les indices ont été calculés.

L'indice oculaire (*IO*) a été calculé à partir de la formule proposée par Pankhurst (1982) :

$$IO = [(Ov + Oh)/4]^2 \times (\pi/LT) \times 100$$

où Ov et Oh correspondent aux diamètres vertical et horizontal de l'œil gauche (mm) et LT est la longueur totale (mm).

L'indice de la nageoire pectorale (IP) a été calculé selon la formule de Durif et ses collaborateurs (2000) :

$$IP = (LNP/LT) \times 100$$

où LNP est la longueur de la nageoire pectorale (mm).

L'indice de condition utilisé est le facteur de condition de Fulton :

$$K_F = 100 \times W/LT^3$$

où W est la masse en gramme et où LT est la longueur totale en centimètres.

Les six variables quantitatives ont ensuite été normalisées (soustraction de la moyenne et division par l'écart-type) afin de les ramener sur une échelle commune en vue de l'analyse de groupement. Le coefficient de corrélation de Pearson entre les variables numériques a été mesuré afin de ne conserver que les variables ayant un coefficient de corrélation $\leq 0,7$. Le nombre de groupes à utiliser pour l'analyse a été validé à l'aide de la librairie `nbClust` (Charrad et coll., 2014), puis l'algorithme `kproto` disponible dans la librairie `clustMixType` (Szepannek, 2018) a été utilisé pour réaliser le groupement des anguilles. Le résultat a été interprété à l'aide du coefficient de silhouette disponible dans la librairie `factoextra` (Kassambara et Mundt, 2020). L'analyse a été réalisée en intégrant, puis en excluant, les variables afin de ne retenir, sur la base du coefficient de silhouette, que celles permettant d'améliorer les groupements (Rousseeuw, 1987).

Une fois le stade de maturité sexuelle déterminé, la probabilité de capture d'une anguille argentée a été modélisée à l'aide d'une régression binomiale. Afin de tester l'effet du site et de la date de capture, ces deux variables ainsi que leur terme d'interaction ont été intégrés au modèle complet comme variables indépendantes. Le modèle complet et tous les modèles nichés (c'est-à-dire ceux provenant d'un sous-ensemble des paramètres du modèle complet, y compris le modèle nul) ont été comparés à l'aide de la librairie `MuMIn` (Bartoń, 2023). Nous avons également testé la performance de différentes fonctions de lien (logit, cloglog et probit) afin de sélectionner la plus adéquate. Le meilleur modèle a été sélectionné sur la base du critère d'information d'Akaike corrigé pour les échantillons de petite taille (AICc : Burnham et Anderson, 2002). La performance du modèle choisi a été évaluée grâce à la proportion de la déviance expliquée.

Condition

La relation masse-longueur a été modélisée à l'aide d'une régression linéaire après transformation logarithmique en base 10 des données de masse et de longueur. Afin de tester l'effet du site de capture sur la condition des anguilles, nous avons d'abord produit un modèle complet avec la longueur, le site et le terme d'interaction entre le site et la longueur comme variables indépendantes. Tous les modèles nichés dans le modèle complet ont été construits et comparés, puis le meilleur modèle a été sélectionné sur la base du critère AICc.

Croissance

Dans un premier temps, nous avons testé trois types de modèles de croissance afin de sélectionner celui qui était le plus adapté à nos données sur la base du critère AICc. Les modèles testés sont :

1. Un modèle de régression linéaire;
2. La version classique du modèle de croissance de Gompertz :

$$E[L|t] = L_{\infty} \cdot e^{-e^{-K(t-t_0)}}$$

3. La version proposée par Beverton et Holt (1957) de la fonction de croissance de von Bertalanffy, qui est de loin l'équation la plus utilisée pour représenter la croissance chez les poissons (Ogle, 2016) :

$$E[L|t] = L_{\infty}(1 - e^{-K(t-t_0)})$$

où $E[L|t]$ est la taille moyenne à l'âge t . L_{∞} , K et t_0 sont des paramètres devant être estimés, soit respectivement la taille moyenne asymptotique, un paramètre servant à décrire à quelle « vitesse » la longueur prédite s'approche de L_{∞} , et l'âge théorique à la longueur nulle (voir Ogle, 2016).

La librairie FSA (Ogle et coll., 2023) a été utilisée afin de mesurer l'effet du site de capture sur la croissance. Toujours à l'aide du critère AICc, un modèle faisant varier les paramètres L_{∞} , K et t_0 en fonction du site de capture a été comparé à un modèle où ces paramètres ne variaient pas entre les sites. Par la suite, le critère AICc a été utilisé afin de trouver le meilleur modèle au sein du modèle complet et des six modèles nichés.

Une fois les prédictions du meilleur modèle obtenues, celles-ci ont été utilisées afin de calculer le taux de croissance annuelle pour chaque tranche d'âge et pour chaque site, à l'aide de l'équation :

$$CA_t = E[L|t] - E[L|t - 1]$$

Enfin, pour comparer la croissance observée aux îles de la Madeleine à celle qui est rapportée dans la littérature, nous avons estimé la croissance annuelle moyenne de chaque anguille pour la phase de croissance continentale (CA_{moy} , mm/an) par :

$$CA_{moy} = \frac{(LT - L_{civelle})}{\hat{Age}}$$

où LT est la longueur totale d'un individu en millimètres et $L_{civelle}$ la longueur moyenne des civelles arrivant aux îles de la Madeleine telle qu'elle a été obtenue à partir de résultats de pêche électrique datant de 1965 (57,6 mm; MELCCFP, données non publiées). Seules les anguilles argentées (voir la section Stade de maturité sexuelle) ont été retenues pour ce calcul.

Nous avons utilisé l'approche proposée par Jessop (2010) pour estimer la durée de la période de croissance (nombre de jours avec une température d'eau moyenne ≥ 10 °C, débutant et se terminant par au moins trois jours consécutifs ≥ 10 °C) et le nombre de degrés-jours ≥ 10 °C cumulés à l'intérieur de cette période. Faute de données plus récentes, ou plus représentatives des sites de pêche échantillonnés en 2021, ces calculs sont basés sur des données récoltées en 2013 dans la baie du Bassin (thermographe à environ 1 m de profondeur; MAPAQ, 2021).

Taux de mortalité

Dans un premier temps, le taux instantané de mortalité (Z) a été estimé pour les sites du Barachois de Fatima et du Havre aux Basques à partir de l'analyse des courbes de capture. La méthode basée sur l'utilisation de modèles linéaires généralisés ayant recours à la famille de distribution de Poisson et de ses extensions (p. ex. : binomiale négative) proposée par Mainguy et Moral (2021) a été utilisée. Un modèle $GLM_{Poisson}$ a d'abord été construit et l'hypothèse d'équi-dispersion a été vérifiée. Lorsque cette prémisse n'était pas respectée, nous avons testé différentes extensions de la famille de distribution de Poisson. Ces nouveaux modèles ont été comparés à l'aide du critère

AICc. La qualité d'ajustement des modèles a par la suite été testée par l'analyse de leurs résidus de Pearson (Moral et coll., 2017).

Une des prémisses de l'utilisation des méthodes d'analyse des courbes de capture (voir Ogle, 2016) est que la population étudiée est fermée, c'est-à-dire sans émigration ou immigration. Puisque l'anguille est une espèce migratrice, cette prémisses ne peut être respectée. D'ailleurs, les pêcheurs positionnent souvent leurs verveux de manière à capturer des anguilles argentées en migration en plus des anguilles jaunes présentes à proximité. Pour minimiser ce biais, l'analyse a été réalisée seulement avec les anguilles jaunes de 9 ans et moins, dans le but de ne conserver que les anguilles plus jeunes que l'âge minimal de migration estimé en fonction de l'analyse visuelle de la figure 15. L'âge maximal retenu est cohérent avec les connaissances sur les populations voisines de l'Île-du-Prince-Édouard, où l'on considère que l'émigration commence à 8 ans (ICES 2001).

L'âge minimal inclus dans l'analyse a été fixé à 4 ans, soit à la classe d'âge la plus fréquemment échantillonnée (valeur maximale). Smith et ses collaborateurs (2012) proposent plutôt d'utiliser la valeur maximale plus un (*Peak Plus*, soit 5 ans dans notre cas). Toutefois, le fait d'utiliser cette méthode aurait réduit considérablement le nombre d'individus inclus dans l'analyse (passant de 48 à 24 pour le Barachois de Fatima et de 23 à 9 pour le Havre aux Basques). De plus, des analyses préliminaires ont montré que, dans notre cas, l'estimation de Z était peu sensible à l'utilisation de l'une ou l'autre des méthodes, mais que l'inclusion de la valeur maximale (4 ans) permettait de réduire les erreurs types.

Dans un deuxième temps, le taux de mortalité instantané naturel (M) a été estimé. Il est très difficile d'estimer M sans mettre en place de coûteux et complexes protocoles de capture-marquage-recapture (Maunder et coll., 2023). Il existe bien des méthodes indirectes de calcul de M basées sur la théorie des histoires de vie, qui utilise les liens entre M et des caractéristiques comme l'âge, la taille et la maturité sexuelle, mais les approches développées donnent souvent des résultats variables et empreints d'incertitude (Cope et Hamel, 2022). De plus, le cycle de vie particulier des anguillidés rend ces méthodes inexactes, voire inappropriées (ICES, 2012; Cairns et coll., 2014).

Bevacqua et ses collaborateurs (2011) ont établi une méthode de calcul de M spécifiquement pour l'anguille d'Europe. Cette méthode est depuis reconnue comme la plus adaptée pour cette espèce (ICES, 2012). Les similitudes entre les deux espèces ont mené Cairns et ses collaborateurs (2014) à déterminer qu'elle représente la méthode la plus appropriée pour l'anguille d'Amérique. La méthode de Bevacqua et ses collaborateurs (2011) produit des valeurs de M souvent beaucoup plus faibles que les autres méthodes disponibles, mais celles-ci sont jugées vraisemblables, considérant le métabolisme extrêmement efficace des anguilles (Bevacqua et coll., 2011), de leur statut de prédateur et de leur comportement cryptique et nocturne (Cairns et coll., 2014). C'est donc cette méthode qui a été retenue pour estimer M, qui se calcule ainsi :

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

où

e = la constante mathématique 2,71828 liée à la base du log naturel

q = une constante spécifique au sexe et à la densité :

$q_{m\grave{a}le}$ = 48,5, 49,3, et 49,7 respectivement pour des densités faibles, moyennes et élevées

$q_{femelle}$ = 49,9, 50,4, et **50,8** respectivement pour des densités faibles, moyennes et élevées

E = une constance spécifique au sexe :

$E_{m\grave{a}le}$ = 1,22 et $E_{femelle}$ = **1,24**

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

T = la température moyenne annuelle de l'eau en Kelvin ($0 \text{ }^\circ\text{K} = -273,15 \text{ }^\circ\text{C}$)

W = la masse corporelle en g

b = -0,46

Un calcul de M a été fait pour chaque site de pêche. Nous avons considéré n'avoir que des femelles (voir la section sexe ci-dessous) et être dans un habitat où la densité est forte (en fonction des CPUE observées; voir les sections pêche aux verveux ci-dessus). Les constantes utilisées sont donc celles en gras dans la liste précédente. La température moyenne annuelle a été estimée à 9 °C, sur la base de mesures prises par le MAPAQ en 2013 (MAPAQ, 2021). Enfin, la masse retenue pour chaque site est la masse moyenne des anguilles les plus jeunes retenues dans l'estimation de Z (4 ans). Cette masse a été obtenue à l'aide des courbes de croissance et des relations masse-longueur spécifiques à chaque site de pêche (voir les sections correspondantes ci-dessous) et correspond à 135 g pour le Barachois de Fatima et 223 g pour le Havre aux Basques.

À partir de Z et de M , F , soit le taux de mortalité instantané attribuable à la pêche, a été estimé selon :

$$F = Z - M$$

Parasite

Dans un premier temps, des modèles de régression logistique ont été construits afin de déterminer, tous sites confondus, quels facteurs influencent la probabilité d'infection par *A. crassus*. Puisque la longueur, la masse et l'âge d'un individu sont fortement corrélés, une première série de modèles comprenant chacun de ces facteurs comme unique variable indépendante ont été comparés afin de sélectionner, sur la base du critère AICc, le facteur le plus informatif. Par la suite, le facteur retenu (l'âge), le site de capture et l'interaction entre ces facteurs ont été inclus comme variables indépendantes dans un modèle dit complet. Nous avons construit les modèles logés dans le modèle complet, pour ensuite les comparer et sélectionner le modèle le plus parcimonieux selon le critère AICc. La performance de classification de ce modèle a été calculée en utilisant l'aire sous la courbe ROC à l'aide de la librairie pROC (Robin et coll., 2011).

Dans un deuxième temps, en suivant la même méthode de sélection de modèles que celle qui a été détaillée dans la section taux de mortalité ci-dessus, des modèles linéaires généralisés ayant recours à la famille de distribution de Poisson ou de ses extensions ont été construits et comparés afin de déterminer si le nombre d'*A. crassus* observé chez un individu infecté était influencé par l'âge, le site de capture, la longueur, la masse ou une combinaison de ces facteurs et de leurs interactions.

4.2. Résultats

Quatre pêcheurs ont fourni 241 anguilles pour les analyses au laboratoire. Des erreurs de saisie ont été relevées pour 3 anguilles, qui ont été retirées des analyses subséquentes, qui concernent donc 238 individus (ou moins lorsque cela est mentionné). Le tableau 2 présente le nombre d'anguilles fournies par pêcheur en fonction de la date et la figure 7 présente l'emplacement des sites de capture de ces anguilles. En somme, 107 anguilles proviennent du Barachois de Fatima (toutes fournies par le pêcheur 3) et 131 anguilles proviennent du Havre aux Basques (fournies par les pêcheurs 2 et 4, installés à la pointe des Canots, et le pêcheur 1, installé au barachois à Lapierre, près de la baie du Portage). Les anguilles analysées ont été capturées entre le 13 septembre et le 18 octobre 2021.

Tableau 2. Provenance et date de capture des anguilles analysées

Pêcheur	Site	Date de capture								Total
		09-13	09-15	09-23	10-04	10-06	10-12	10-14	10-18	
1	Havre aux Basques	-	-	-	-	14	8	-	-	22
2	Havre aux Basques	19	22	-	-	-	-	-	-	41
3	Barachois de Fatima	-	-	19	35	-	-	-	53	107
4	Havre aux Basques	-	-	-	-	-	-	68	-	68
Total	-	19	22	19	35	14	8	68	53	238

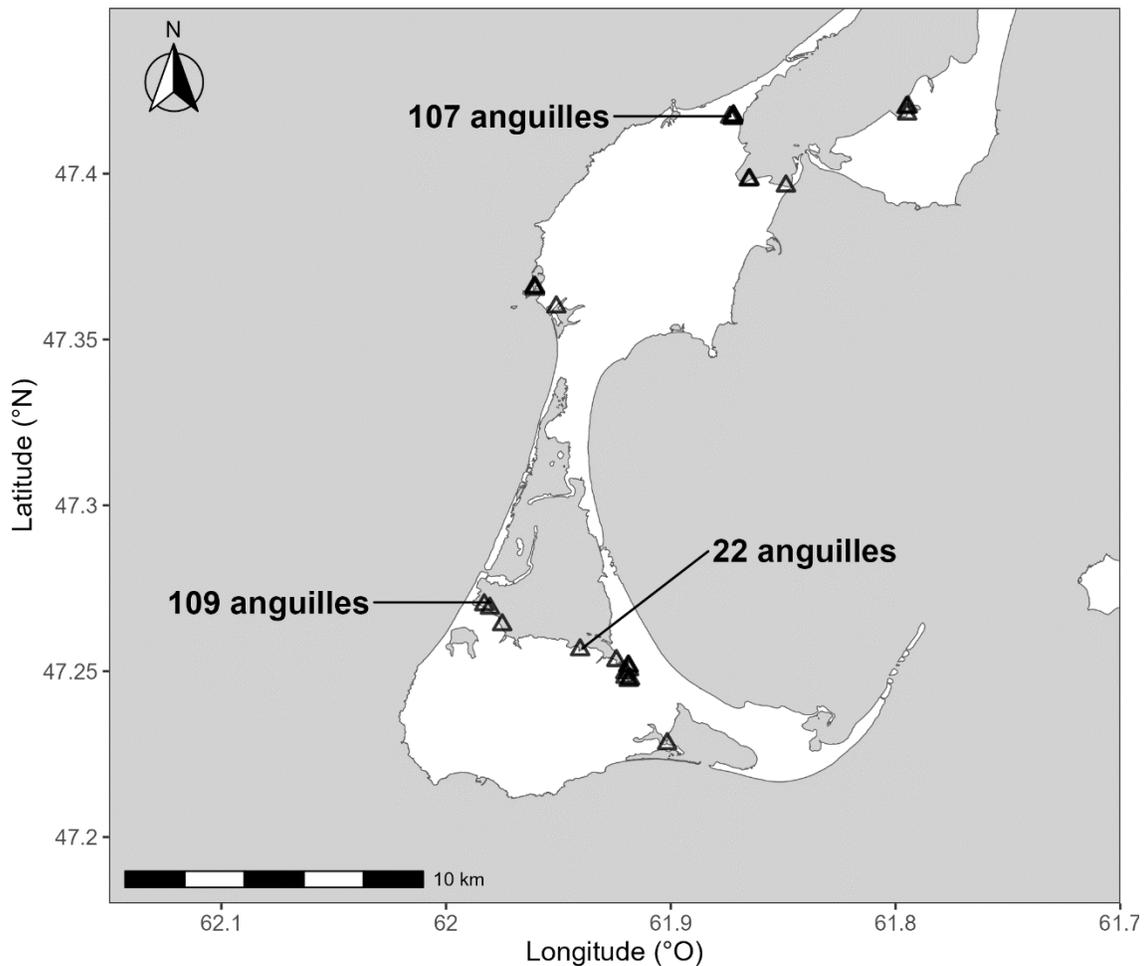


Figure 7. Localisation des 29 verveux (Δ) déployés lors de la saison de pêche à l'anguille aux îles de la Madeleine en 2021. La quantité et la provenance des échantillons analysés au laboratoire sont également indiquées.

Sexe

Une erreur dans l'application du protocole a rendu impossible la détermination du sexe. Dans les études précédentes, aucun mâle n'a été observé aux îles de la Madeleine (Georges [2005] : n = 99;

Georges [2008] : n = 169; MELCCFP, données non publiées [2019] : n = 15). La plupart des relevés historiques confirment d'ailleurs que les mâles sont peu fréquemment échantillonnés, voire absents, dans la partie septentrionale de l'aire de distribution, y compris dans le sud du golfe du Saint-Laurent (Dolan et Power, 1997; Krueger et Oliveira, 1997), à l'exception d'une seule étude conduite au Nouveau-Brunswick (Vladykov, 1966). Cette dernière étude concerne toutefois des sujets juvéniles, un segment qui n'a pas toujours complété sa différenciation sexuelle et pour lequel la gonade peut passer par une phase intersexuelle, complexifiant davantage la détermination du sexe (Geffroy et Bardonnnet, 2015). En 2022, pour confirmer cette tendance, 30 anguilles provenant de la pointe aux Canots, dans le Havre aux Basques, et 30 anguilles provenant du Barachois de Fatima ont été sexées par analyse microscopique de coupes histologiques des gonades. Ces 60 anguilles ont toutes été identifiées comme des femelles ayant des ovaires complètement différenciés (Lair, 2023). Ainsi, bien qu'aucun sexe ne soit attribué aux anguilles échantillonnées en 2021, on peut présumer qu'elles sont toutes des femelles où, minimalement, que la proportion de mâles y est négligeable.

Stade de maturité sexuelle

Les données de longueur totale, de masse, d'indice de condition et de circonférence étaient corrélées entre elles ($r > 0,68$ pour toutes les paires de comparaisons possibles). Conséquemment, seule la circonférence a été retenue pour les analyses de groupement, notamment pour éviter la redondance, puisque la longueur est considérée dans le calcul des indices oculaires et de nageoire pectorale et qu'elle est fortement corrélée à la masse. Le nombre de groupements expliquant le mieux nos données était de deux, ce qui suggère que les variables utilisées sont effectivement utiles pour départager les anguilles argentées des anguilles jaunes. L'inclusion de la variable de la ligne latérale ne permettait pas d'obtenir de meilleurs groupes. Ce sont donc l'indice oculaire, l'indice de nageoire pectorale, la circonférence et la couleur des flancs qui ont été utilisés dans l'analyse finale de groupement. Le coefficient de silhouette moyen était de 0,46, les deux groupes étant donc raisonnablement départagés par l'analyse. Le groupe d'anguilles jaunes comptait 122 individus (coefficient de silhouette de 0,49) et celui des anguilles argentées, 116 individus (coefficient de silhouette de 0,43). Le tableau 3 présente les valeurs des variables retenues pour les deux groupes.

Tableau 3. Valeurs des variables d'indice oculaire (IO), d'indice de la nageoire pectorale (IP), de la circonférence et de la couleur des flancs pour le groupe des anguilles jaunes et le groupe des anguilles argentées

Groupe	Nombre	IO			IP			Circonférence (cm)			Couleur flanc % vert et/ou jaune
		Moyenne ± écart-type	Min.	Max.	Moyenne ± écart-type	Min.	Max.	Moyenne ± écart-type	Min.	Max.	
Argentée	116	7,96 ± 1,87	3,58	15,86	0,052 ± 0,005	0,042	0,068	15,3 ± 3,1	6,3	21,1	15 %
Jaune	122	4,91 ± 1,46	2,52	9,33	0,041 ± 0,005	0,030	0,052	8,2 ± 2,5	5,0	16,0	98 %

Au site du Barachois de Fatima, la récolte était dominée par des anguilles jaunes (78 %). À l'inverse, ce sont surtout des anguilles argentées qui furent capturées dans le Havre aux Basques (70 %).

Le modèle décrivant la probabilité de capture d'une anguille argentée le mieux supporté statistiquement était le modèle complet avec la fonction de lien cloglog (poids d'Akaike = 0,90). Ce dernier expliquait 32 % de la déviance. La figure 8 illustre les prédictions du modèle et permet de visualiser l'effet de la date, du site de capture et de leur interaction sur la probabilité de capture

d'une anguille argentée. Le modèle prédit que, pour le site du Barachois de Fatima, la probabilité de capture des anguilles argentées est faible et reste constante au cours de la saison, alors qu'elle augmente en fonction de la date pour le site du Havre aux Basques, passant d'environ 25 % à la mi-septembre, à environ 90 % à la mi-octobre. Pour ce site, le modèle prédit une transition entre des captures dominées (> 50 %) par des anguilles jaunes à des captures dominées par des argentées entre le 25 septembre et le 5 octobre (intervalle de confiance à 95 %).

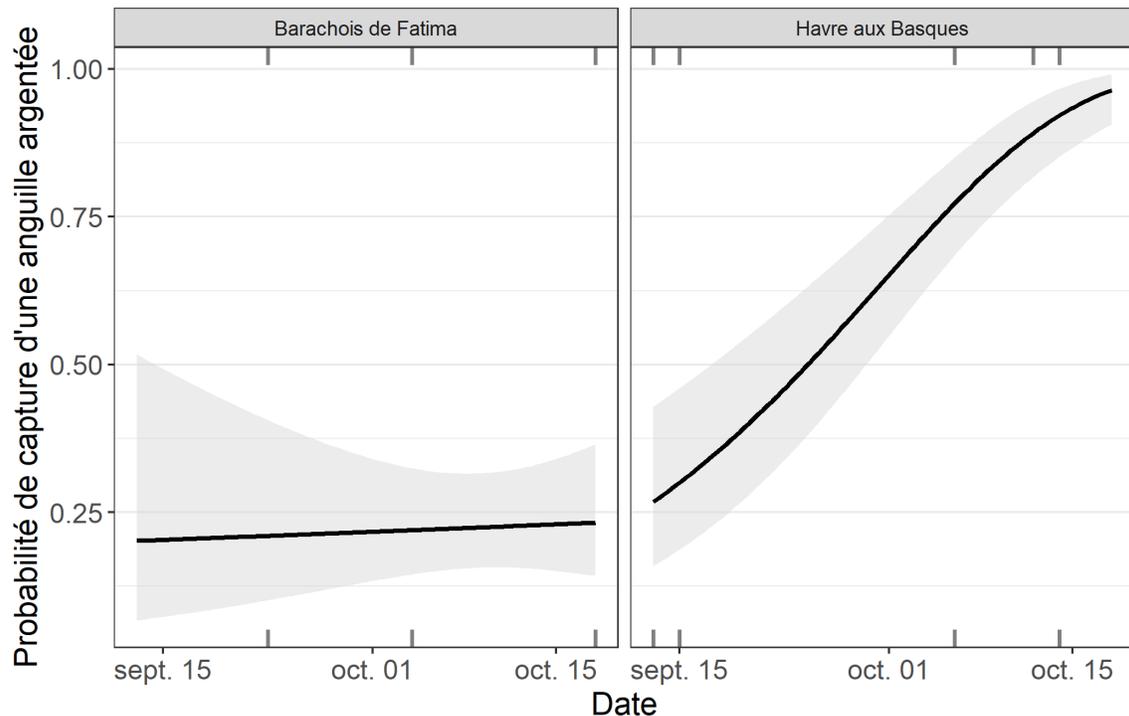


Figure 8. Probabilité de capture d'une anguille argentée à la pêche commerciale aux verveux en 2021 aux îles de la Madeleine (modèle cloglog). Afin d'illustrer l'effet de l'interaction entre la date de capture et le site, les prédictions provenant du meilleur modèle sont illustrées dans des volets différents pour le Barachois de Fatima et le Havre aux Basques. L'intervalle de confiance à 95 % est illustré par un ruban semi-transparent.

Taille

La taille moyenne des anguilles analysées était de 59,9 cm, avec un écart-type de 18 cm. La plus petite anguille mesurait 30 cm et la plus longue, 96,4 cm. Les structures en taille des échantillons provenant du barachois Lapierre et de la pointe des Canots partageaient la même distribution (Kolmogorov-Smirnov; $D = 0,258$; $p = 0,14$). Ces deux sites, qui sont géographiquement près l'un de l'autre, ont donc été regroupés dans le site nommé « Havre aux Basques » pour les analyses ci-dessous.

La structure en taille des anguilles capturées dans le Barachois de Fatima était différente de celle des anguilles capturées dans le Havre aux Basques (Kolmogorov-Smirnov; $D = 0,605$; $p < 0,001$; figure 9). Dans les deux cas, la distribution était bimodale (figure 9), avec un premier mode composé de petites anguilles d'environ 30 à 45 cm. Pour le site du Barachois de Fatima, le deuxième mode était composé d'anguilles d'environ 45 à 60 cm, alors que, pour le site du Havre aux Basques, le deuxième mode était composé d'anguilles mesurant de 65 à 95 cm. D'ailleurs, la taille moyenne des anguilles capturées dans le Havre aux Basques (69,1 cm avec écart-type de

18,0 cm) était plus élevée que la taille moyenne des anguilles capturées dans le Barchois de Fatima (48,8 cm avec écart-type de 10,6 cm) (Mann-Whitney; $W = 11410$; $p < 0,001$).

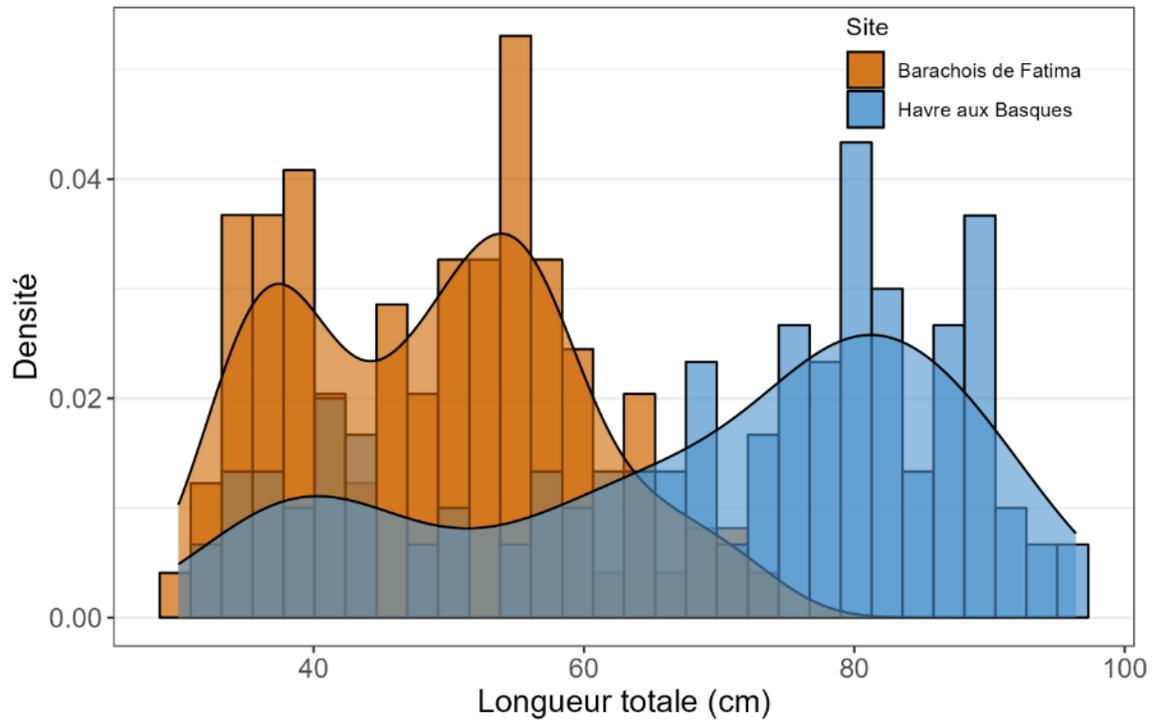


Figure 9. Structure en taille, exprimée en densité de probabilité, c'est-à-dire que l'aire totale sous chaque courbe est égale à 1, des anguilles d'Amérique capturées en 2021 dans la pêche commerciale aux verveux des îles de la Madeleine.

Le deuxième mode observé dans la distribution pour le Havre aux Basques est composé d'anguilles argentées (figure 10). Pour ce qui est du Barchois de Fatima, le deuxième mode est composé d'anguilles jaunes et argentées (figure 10).

La taille moyenne des anguilles argentées était plus grande dans le Havre aux Basques (78,74 cm avec écart-type de 9,54 cm) qu'au Barchois de Fatima (58,03 cm avec écart-type de 8,97 cm) (Mann-Whitney; $W = 2084$; $p < 0,001$) (figure 10).

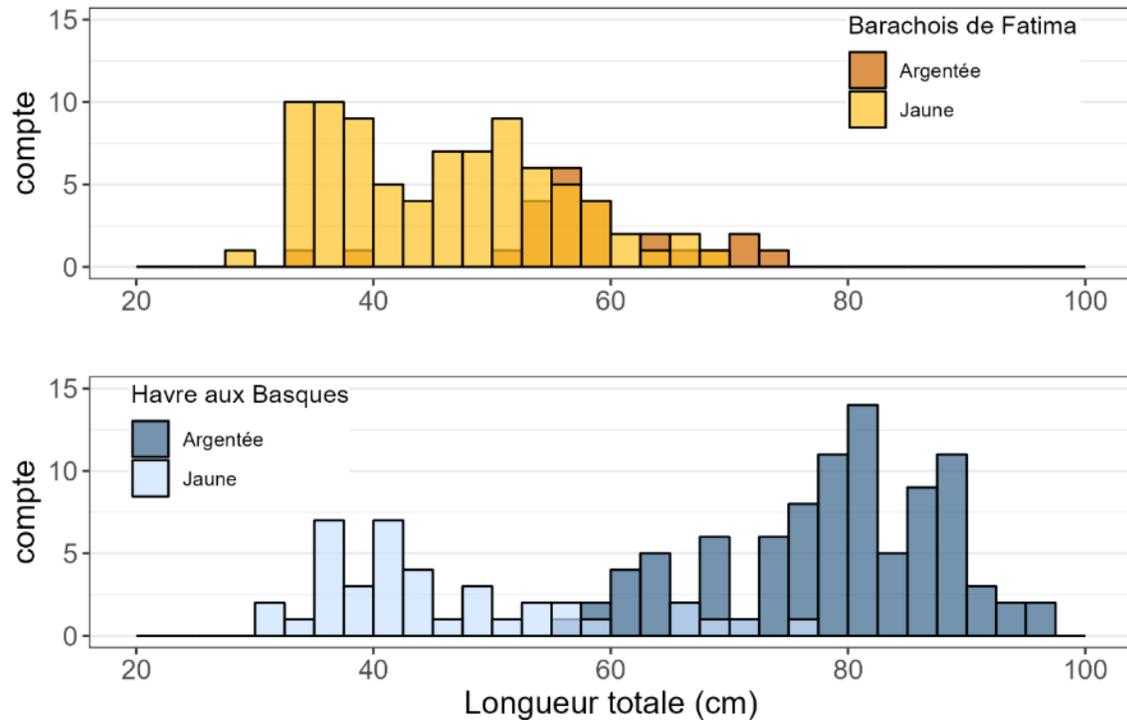


Figure 10. Structure en taille, exprimée en fréquence absolue, en fonction du site de capture et du stade de développement, des anguilles d'Amérique capturées en 2021 dans la pêche commerciale aux verveux des îles de la Madeleine.

Masse

La masse moyenne des anguilles analysées était de 0,582 kg, avec un écart-type de 0,524 kg. L'anguille la plus légère pesait 0,044 kg et la plus lourde, 1,950 kg.

Comme pour la taille, la structure en masse des anguilles capturées dans le Barachois de Fatima était différente de celle des anguilles capturées dans le Havre aux Basques (Kolmogorov-Smirnov; $D = 0,571$; $p < 0,001$; figure 11). La masse des anguilles capturées dans le Barachois de Fatima ne dépassait pas 1 kg, alors qu'une proportion importante de celles provenant du Havre aux Basques pesaient entre 1 et 2 kg. D'ailleurs, la masse moyenne des anguilles capturées dans le Havre aux Basques (0,855 kg avec écart-type de 0,551 kg) était plus élevée que la masse moyenne des anguilles capturées dans le Barachois de Fatima (0,249 kg avec écart-type de 0,194 kg) (Mann-Whitney; $W = 11539$; $p < 0,001$).

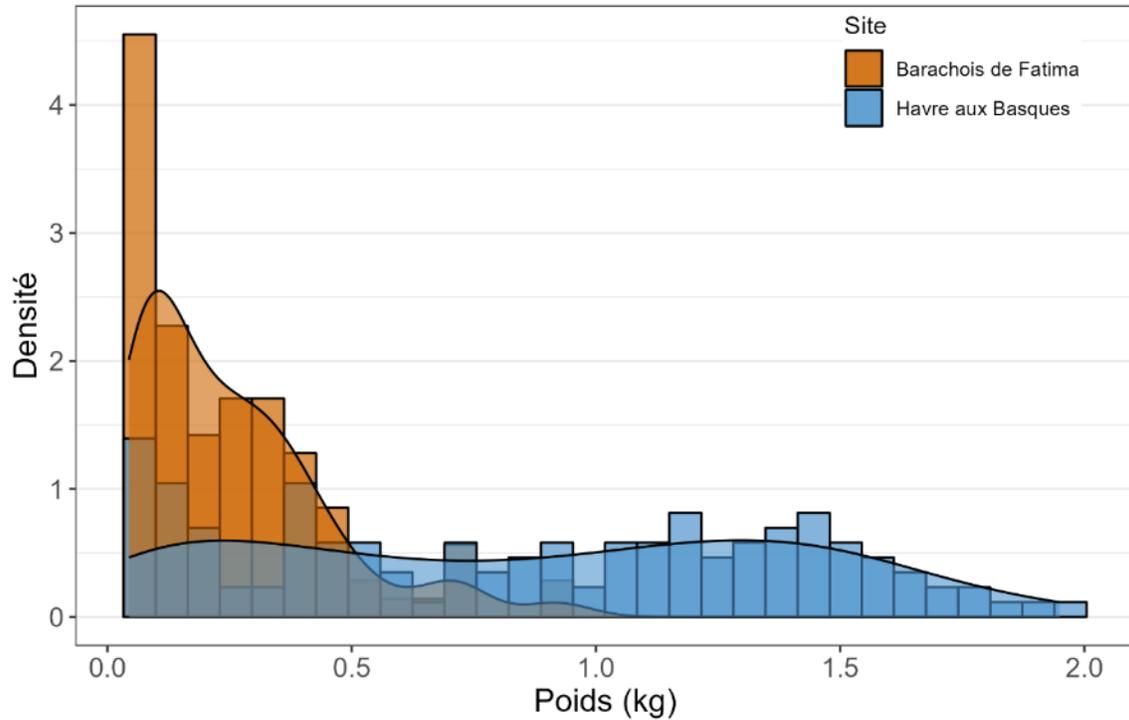


Figure 11. Structure en masse, exprimée en densité de probabilité, c'est-à-dire que l'aire totale sous chaque histogramme et sous chaque courbe est égale à 1, des anguilles d'Amérique capturées en 2021 dans la pêche commerciale aux verveux des îles de la Madeleine.

La figure 12 présente la distribution de fréquence de la masse des anguilles pour les deux sites de pêche en fonction du stade de maturité. On y constate que la forte présence des anguilles argentées dans la récolte du Havre aux Basques explique la masse moyenne élevée qu'on y observe. Toutes les anguilles pesant plus de 1 kg étaient des anguilles argentées.

La masse moyenne des anguilles argentées était significativement (Mann-Whitney; $W = 2032,5$; $p < 0,001$) plus grande dans le Havre aux Basques (1,117 kg avec écart-type de 0,424 kg) qu'au Barchois de Fatima (0,439 kg avec écart-type de 0,212 kg).

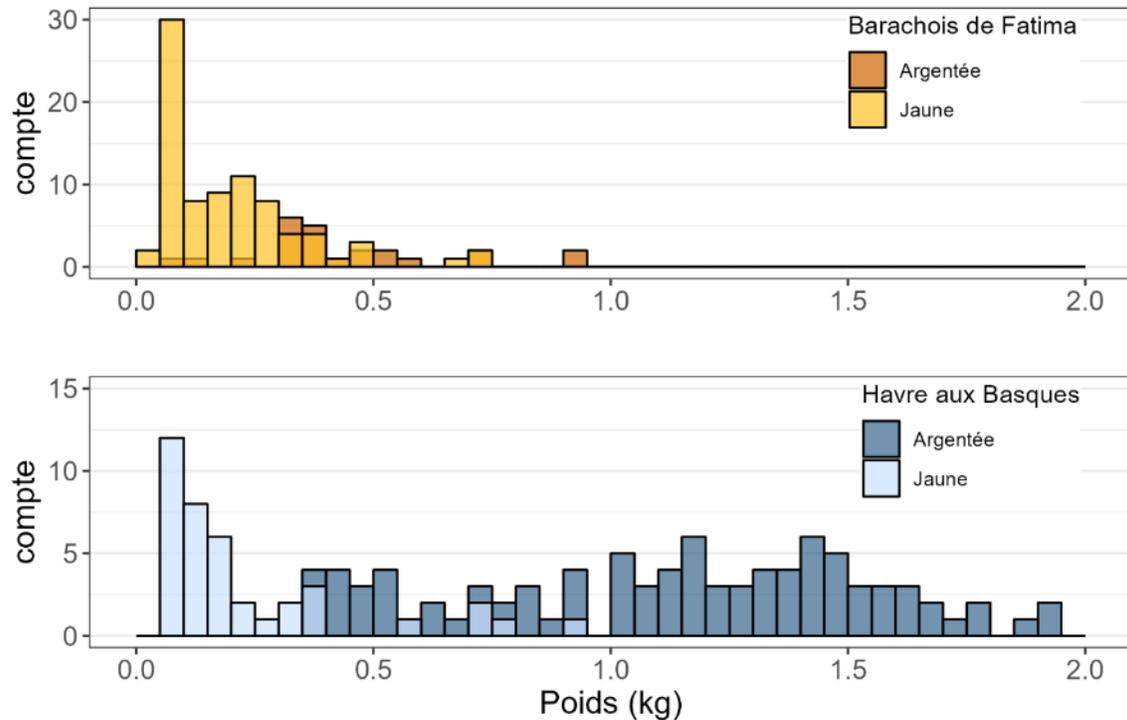


Figure 12. Structure en masse, exprimée en fréquence absolue, en fonction du site de capture et du stade de développement, pour les anguilles d'Amérique capturées en 2021 dans la pêche commerciale aux verveux des îles de la Madeleine.

Condition

À la suite d'une transformation logarithmique, les données de masse et de longueur montraient une forte relation linéaire. Le modèle permettant de mieux modéliser cette relation était le modèle complet (poids Akaike = 0,999; $R^2 = 98,6\%$). En effet, le logarithme de la longueur ($p < 0,001$), le site ($p < 0,001$) et l'interaction entre le site et le logarithme de la longueur ($p < 0,001$) avaient un effet significatif sur le logarithme de la masse. La figure 13 illustre les prédictions de ce modèle suivant la transformation inverse des valeurs préalablement transformées en logarithmes. On constate que la masse moyenne à une taille donnée est similaire pour les anguilles des deux sites pour les grands spécimens, mais que les anguilles de moins de 55 cm provenant du Havre aux Basques ont une masse moyenne significativement plus élevée que celle des anguilles provenant du Barachois de Fatima.

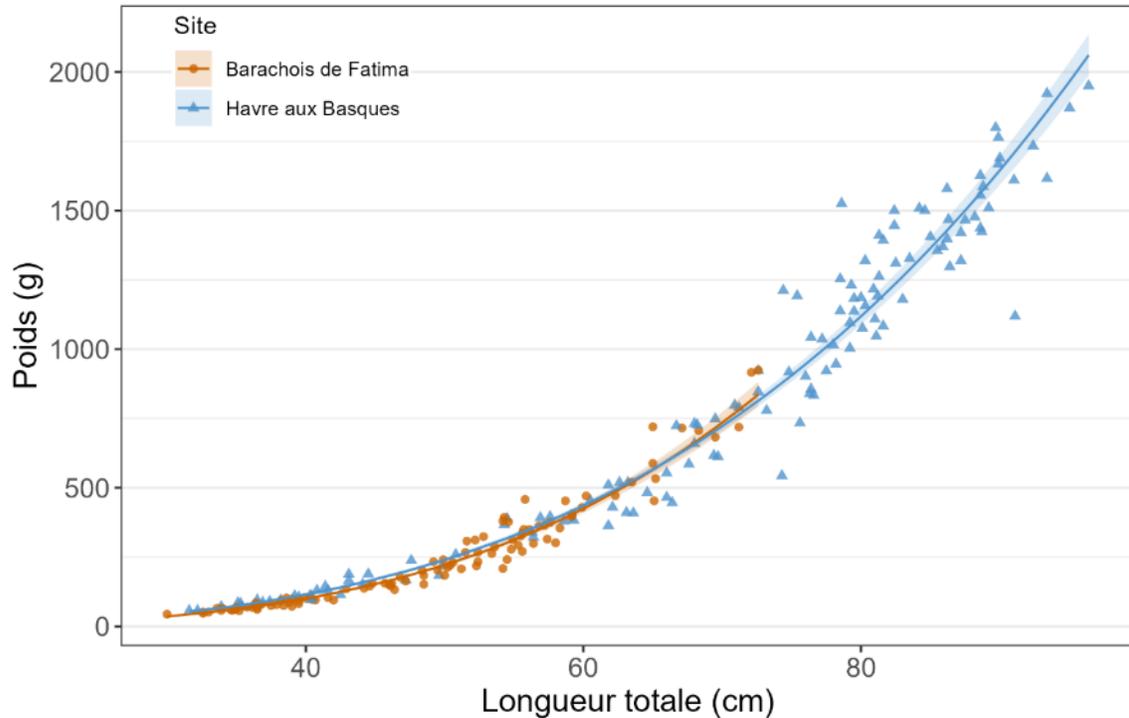


Figure 13. Relation masse-longueur pour les anguilles capturées à la pêche commerciale aux verveux en 2021 aux îles de la Madeleine. Afin d'illustrer l'effet de l'interaction entre la longueur totale et le site sur la masse, les prédictions provenant du meilleur modèle sont illustrées par les lignes orange (Barchois de Fatima) et bleue (Havre aux Basques). L'intervalle de confiance à 95 % est illustré par un ruban semi-transparent.

Bien qu'il s'ajustait moins bien aux données ($\Delta AICc = 21,8$), le modèle comprenant seulement le logarithme de la taille comme variable indépendante permet de prédire le logarithme de la masse avec une très bonne calibration ($R^2 = 98,4 \%$). Ce modèle plus simple pourrait être utile pour estimer la masse d'une anguille capturée aux îles de la Madeleine sans égard à sa provenance. L'équation ci-dessous permet de calculer la masse pour une taille donnée grâce aux paramètres estimés par ce modèle (et leur erreur standard) et à un facteur de correction (1,009336) pour les valeurs provenant d'une transformation inverse des valeurs transformées en logarithmes (Sprugel, 1983).

$$Masse = 1,009336 \times 10^{[-3,448 \pm 0,04962] + (3,41307 \pm 0,02816) \times \log_{10}(\text{longueur})}$$

Âge

La lecture des otolithes a permis de déterminer l'âge de 217 anguilles. L'âge de certaines anguilles n'a pu être déterminé à cause de problèmes lors de la préparation des otolithes, d'un schéma de croissance illisible ou encore parce que les deux lecteurs n'ont pas pu arriver à un consensus. L'âge moyen des anguilles analysées était de 8,45 ans, avec un écart-type de 4,65 ans. L'anguille la plus âgée avait 25 ans et la plus jeune, 2 ans.

Comme pour la taille et la masse, la structure d'âge des anguilles capturées dans le Barachois de Fatima était significativement différente de celle des anguilles capturées dans le Havre aux Basques (Kolmogorov-Smirnov; $D = 0,402$; $p < 0,001$; figure 14). Les anguilles capturées dans le Barachois de Fatima (âge moyen de 7,2 ans avec écart-type de 4,6 ans) étaient en moyenne plus jeunes que celles qui ont été capturées dans le Havre aux Basques (âge moyen de 9,5 ans avec écart-type de 4,4 ans) (Mann-Whitney; $W = 4179$; $p < 0,001$). Pour les deux sites de pêche, la récolte était composée principalement de jeunes anguilles (<5 ans) et d'anguilles âgées (>10 ans), alors que les anguilles d'âge intermédiaire étaient peu représentées dans les captures. Deux anguilles capturées dans le Havre aux Basques ont atteint plus de 20 ans, soit 21 et 25 ans.

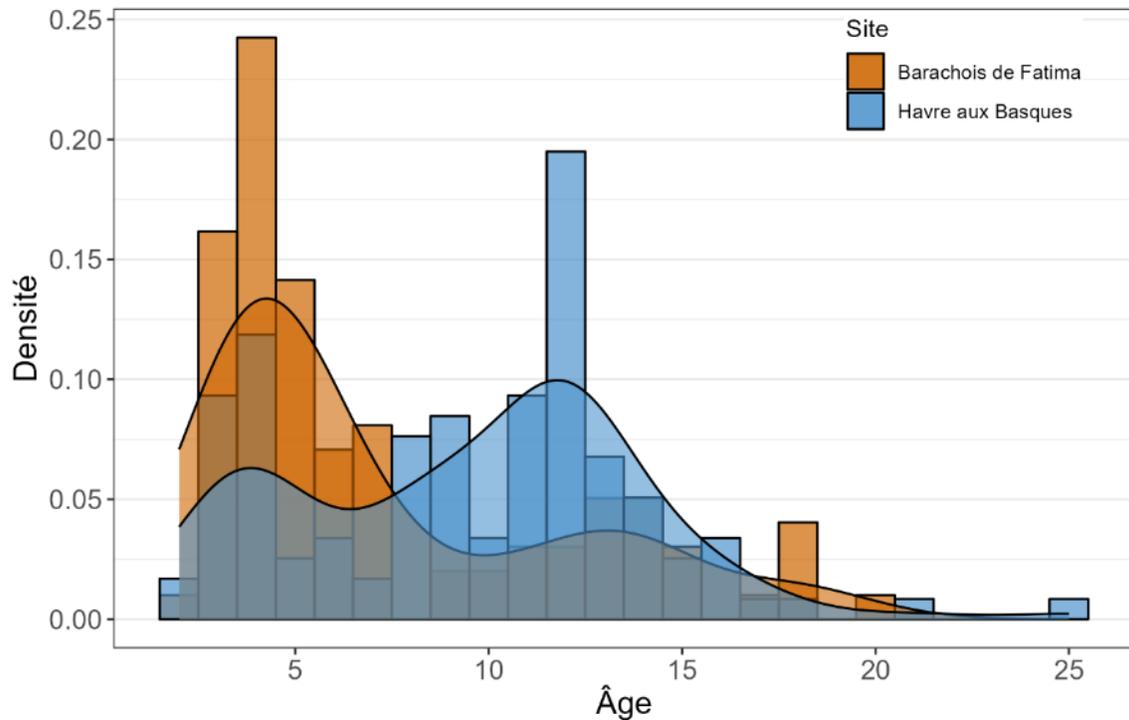


Figure 14. Structure d'âge, exprimée en densité de probabilité, c'est-à-dire que l'aire totale sous chaque courbe est égale à 1, pour les anguilles d'Amérique capturées en 2021 dans la pêche commerciale aux verveux des îles de la Madeleine.

Pour les deux sites, le deuxième mode de la distribution illustrée à la figure 14 est composé d'anguilles argentées (figure 15). Les anguilles argentées avaient en grande majorité plus de 9 ans.

Contrairement aux résultats obtenus pour la taille et la masse, il n'y avait pas de différence significative entre l'âge moyen des anguilles argentées capturées dans le Havre aux Basques (11,7 ans avec écart-type de 3,2 ans) et celles du Barachois de Fatima (12,9 ans avec écart-type de 3,6 ans) (test de Student; $t = -1,4121$; $p = 0,17$).

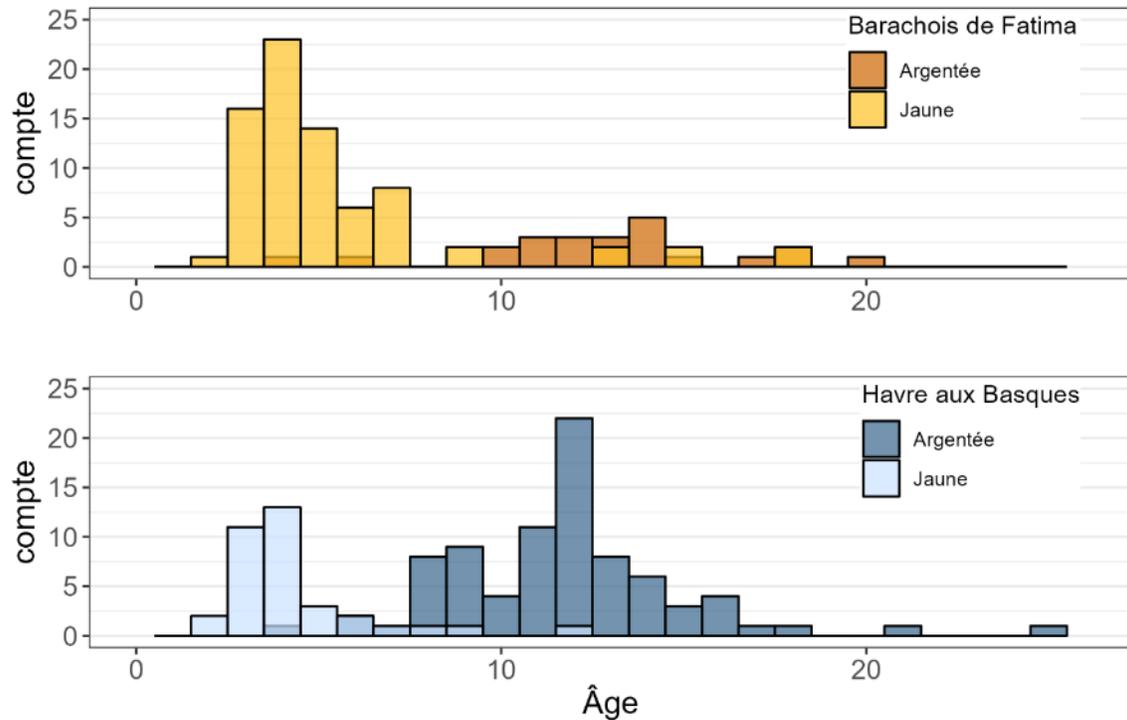


Figure 15. Structure d'âge, exprimée en fréquence absolue, en fonction du site de capture et du stade de développement, pour les anguilles d'Amérique capturées en 2021 dans la pêche commerciale aux verveux des îles de la Madeleine.

Croissance

Les deux anguilles de plus de 20 ans furent retirées des analyses de croissance, puisqu'il s'agit d'exceptions qui ne sont pas pertinentes pour la détermination de schémas généraux. Le modèle de croissance de Gompertz a été retenu, puisqu'il offrait la meilleure adéquation avec nos données (poids Akaike = 0,99). Le modèle le plus parcimonieux était le modèle ayant des paramètres différents pour les sites du Barchois de Fatima et du Havre aux Basques pour L_{∞} et t_0 , mais partageant le même paramètre pour K (poids Akaike = 0,63).

Ainsi, le modèle de croissance retenu pour le site du Barchois de Fatima est (l'erreur standard accompagne les paramètres estimés) :

$$E[L|t] = 59,6 \pm 1,5 \cdot e^{-e^{-0,4285 \pm 0,052 \cdot (t-1,396 \pm 0,323)}}$$

Et le modèle de croissance retenu pour le site du Havre aux Basques est :

$$E[L|t] = 80,6 \pm 1,3 \cdot e^{-e^{-0,4285 \pm 0,052 \cdot (t-2,445 \pm 0,180)}}$$

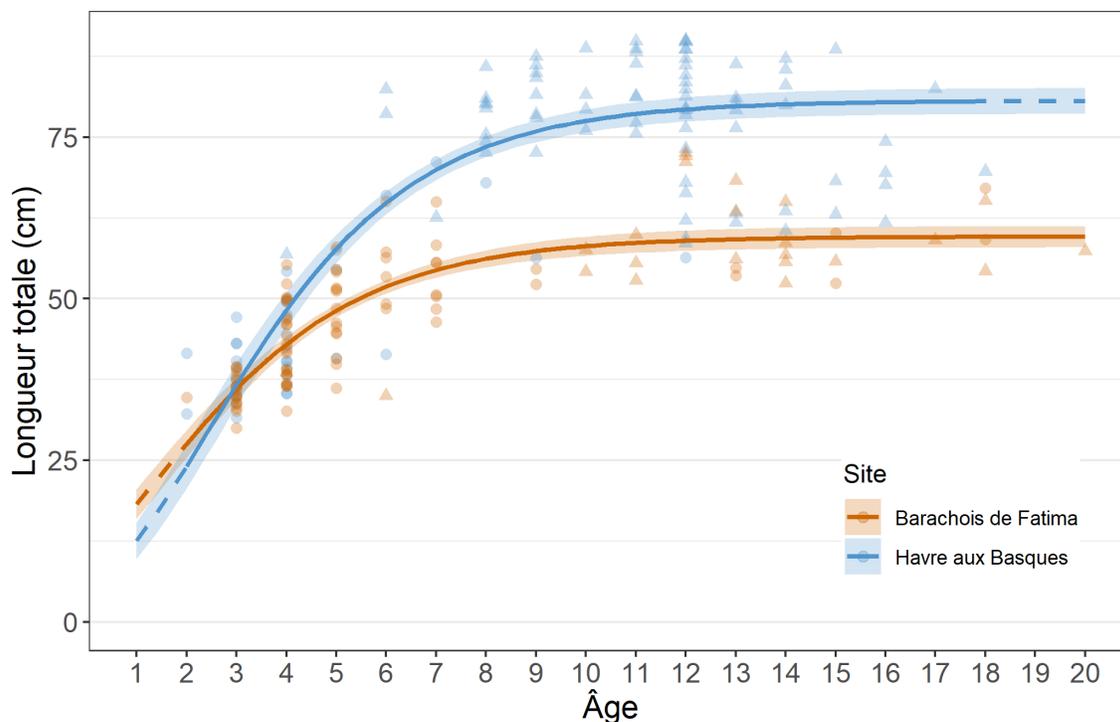


Figure 16. Longueur en fonction de l'âge et ajustement des courbes de croissance de Gompertz pour les anguilles capturées à la pêche commerciale aux verveux en 2021 aux îles de la Madeleine. Les portions pointillées des courbes présentent les prédictions des modèles en dehors des âges observés pour chaque site. L'intervalle de confiance à 95 % est illustré par un ruban semi-transparent. Les données provenant d'anguilles argentées sont représentées par des triangles, celles des anguilles jaunes, par des ronds.

L'analyse de la figure 16 suggère que les anguilles capturées dans le Havre aux Basques montrent une croissance plus rapide et atteignent des tailles plus importantes que celles des anguilles capturées dans le Barchois de Fatima. C'est d'ailleurs ce que l'on constate au niveau des taux de croissance annuelle calculés à partir des prédictions du modèle (tableau 4).

Tableau 4. Taux de croissance annuelle (CA) tels que prédits par le modèle de Gompertz en fonction du site de capture pour les âges de 2 à 9 ans. Pour les anguilles capturées à la pêche commerciale aux verveux en 2021 aux îles de la Madeleine

Période	Barchois de Fatima	Havre aux Basques
	CA (cm/an)	CA (cm/an)
2 à 3 ans	8,5	12,6
3 à 4 ans	6,9	11,6
4 à 5 ans	5,2	9,5
5 à 6 ans	3,7	7,1
6 à 7 ans	2,6	5,1
7 à 8 ans	1,7	3,6
8 à 9 ans	1,2	2,4

La croissance annuelle moyenne pour l'ensemble des anguilles argentées analysées est de 63 mm/an, avec un écart-type de 21 mm/an. En isolant chaque site, on obtient un taux de croissance annuelle moyen de 44 mm/an avec écart-type de 12 mm/an pour le Barachois de Fatima et de 68 mm/an avec écart-type de 20 mm/an pour le Havre aux Basques.

La période de croissance est estimée s'étendre sur 165 jours entre le début de mai (5 mai en 2013) et la fin d'octobre (24 octobre en 2013). Le nombre de degrés-jours $\geq 10^{\circ}\text{C}$ a été estimé à 1073.

Taux de mortalité

Pour les deux sites de pêche, les modèles $\text{GLM}_{\text{poisson}}$ étaient les plus adéquats pour représenter la relation du nombre de captures en fonction de l'âge. Les estimations de Z obtenues avec ces modèles sont de 0,551 pour le Barachois de Fatima et de 0,693 pour le Havre aux Basques. La proportion de la déviance expliquée par les modèles était respectivement de 82 % et 87 %.

Les estimations de M (mortalité naturelle instantanée) obtenues avec la méthode de Bevacqua et ses collaborateurs (2011) sont de 0,080 pour le Barachois de Fatima et de 0,063 pour le Havre aux Basques.

Conséquemment, le taux de mortalité instantané attribuable à la pêche (F) est estimé à 0,471 pour le Barachois de Fatima et à 0,630 pour le Havre aux Basques. Il n'y a pas de différence statistique entre les taux instantanés de mortalité observés au site du Barachois de Fatima et au site du Havre aux Basques. Le tableau 5 résume les estimations du taux de mortalité ainsi qu'une transformation de ces taux instantanés en pourcentage annuel.

Tableau 5. Taux de mortalité instantanés et annuels pour les sites du Barachois de Fatima et du Havre aux Basques aux îles de la Madeleine

Site	Z (\pm erreur-type)	M	F	A [IC 95 %]	PAMN	PAMP
Barachois de Fatima	0,551 \pm 0,103	0,080	0,471	42,3 % [29,8; 52,6]	6,14 %	36,16 %
Havre aux Basques	0,693 \pm 0,183	0,063	0,630	49,8 % [28,6; 64,8]	4,53 %	45,27 %

Z = taux instantané de mortalité; M = taux instantané de mortalité naturelle; F = taux instantané de mortalité attribuable à la pêche; A = pourcentage annuel de mortalité totale; PAMN = pourcentage annuel de mortalité naturelle; PAMP = pourcentage annuel de mortalité attribuable à la pêche.

Parasite

Anguillicola crassus a été observé dans 125 des 238 vessies natatoires analysées, ce qui correspond à une prévalence de 52,5 %. Chez les individus infectés, le nombre d'*A. crassus* observé variait de 1 à plus de 50 (le dénombrement arrêta à 51 et l'on attribuait un nombre arbitraire de 52 dans ces cas [n = 2]) avec une moyenne de 10,1 et un écart-type de 11,9 parasites par anguille infectée (figure 17).

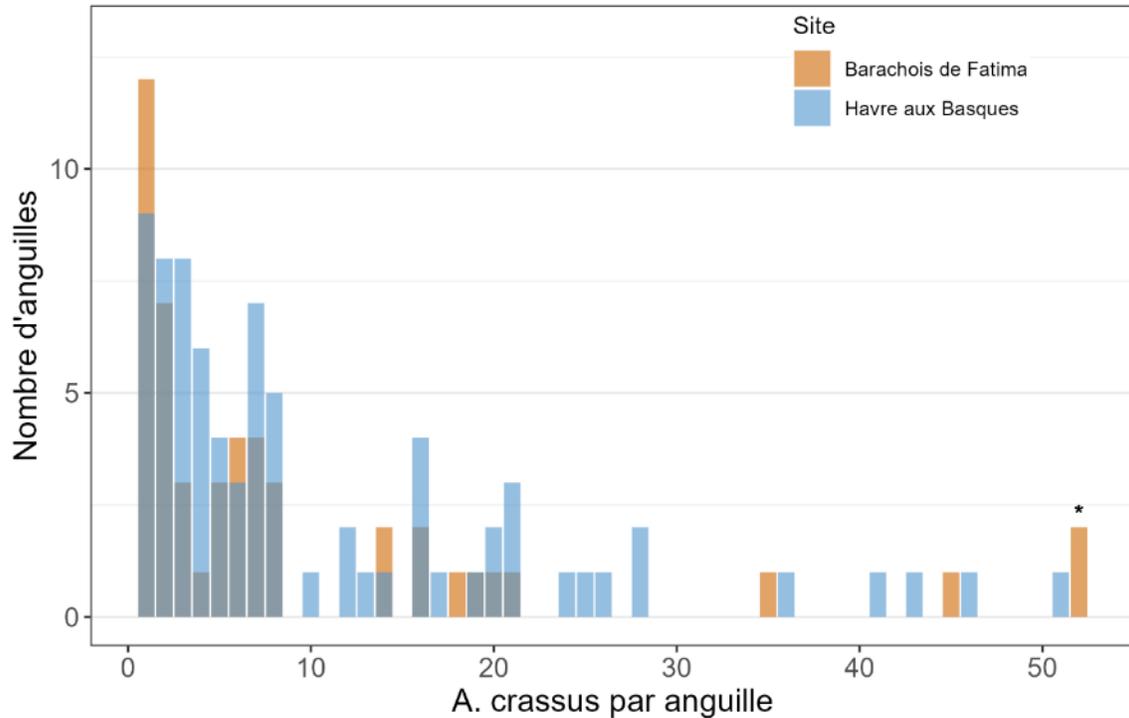


Figure 17. Distribution de fréquence du nombre d'*A. crassus* par anguille au sein des anguilles infectées du Barchois de Fatima et du Havre aux Basques en 2021 aux îles de la Madeleine. *Lorsque le nombre de parasites dépassait 51, le dénombrement était arrêté et le nombre arbitraire de 52 était attribué.

Le modèle logistique le plus informatif de la probabilité pour une anguille d'être infectée est celui ayant seulement l'âge comme variable indépendante. Selon ce modèle, la prévalence augmente significativement avec l'âge ($p < 0,001$). Toutefois, le modèle offrait un piètre rendement de classification (AUC = 0,64) et n'expliquait que 5 % de la déviance.

Chez les individus infectés, c'est un modèle GLM de type Poisson généralisé, comprenant seulement l'âge comme variable indépendante, qui prédisait le mieux l'intensité de l'infection. La figure 18 illustre la relation positive entre l'âge d'un individu et le nombre d'*A. crassus* observés dans sa vessie natatoire. Le modèle s'ajustait très bien aux données et expliquait 60 % de la variabilité observée (Nakagawa marginal pseudo $R^2 = 60\%$).

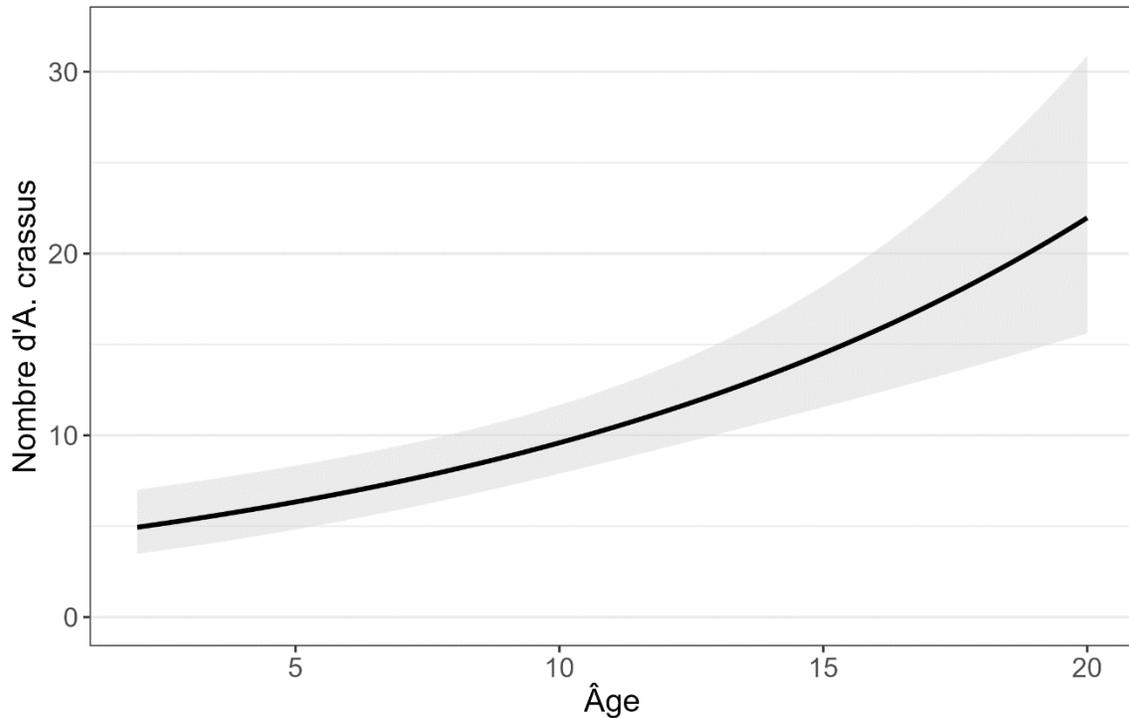


Figure 18. Prédications du modèle GLM avec famille de distribution de type Poisson généralisé du nombre d'*A. crassus* retrouvés dans la vessie natatoire des anguilles infectées en fonction de l'âge. L'intervalle de confiance à 95 % est illustré par un ruban semi-transparent.

4.3. Discussion

Sexe et stade de maturité sexuelle

L'analyse de groupement a permis de classer les anguilles comme anguilles jaunes ou argentées. Ce type d'analyse, qui se base sur des indices indirects du stade de maturité, comporte toutefois une part d'incertitude. Par exemple, l'indice conçu par McGrath et ses collaborateurs (2003) pour le fleuve Saint-Laurent permettait de classer correctement 87 % des anguilles migrantes. Dans notre cas, il n'est pas possible de mesurer l'exactitude de la classification obtenue. Elle comporte inévitablement une part d'erreur et il faut donc interpréter les résultats avec prudence. Les résultats obtenus permettent néanmoins d'expliquer les distributions généralement bimodales observées pour les données de taille, de masse et d'âge, le deuxième mode étant composé majoritairement d'anguilles argentées. L'âge, la taille et la masse des anguilles identifiées comme argentées sont par ailleurs à l'intérieur des plages des valeurs attendues pour les anguilles du golfe du Saint-Laurent ou supérieures à celles-ci (Cairns et coll., 2014), ce qui nous conforte quant à la validité de la classification.

Deux anguilles de petite taille (respectivement de 38,6 et 35,0 cm) capturées dans le Barchois de Fatima ont été identifiées comme argentées. Ces individus ont une taille anormalement petite pour des femelles matures, mais tout à fait normale pour des mâles matures de la région du golfe du Saint-Laurent (Cairns et coll., 2014). Conséquemment, mais sans pouvoir le confirmer, il est possible que ces individus aient été des mâles, qui auraient donc composé 0,8 % de l'échantillon analysé. Il s'agirait de la première observation de mâles aux îles de la Madeleine. Dans le bassin

du golfe du Saint-Laurent, la proportion de mâles dans les stocks étudiés se situe majoritairement autour de 0 %, mais peut atteindre 33 % (ruisseau Flat Bay, Terre-Neuve-et-Labrador; Cairns et coll., 2014).

La grande majorité des anguilles argentées ont été capturées dans le Havre aux Basques. Le fait que la récolte de cette lagune soit dominée par des anguilles argentées à partir de la fin de septembre suggère que les verveux échantillonnés y interceptent des anguilles matures en migration. L'anguille d'Amérique se reproduit dans la mer des Sargasses, de février à avril, et l'on assume que les anguilles provenant des différentes portions de l'aire de répartition entament leur migration de manière à synchroniser leur arrivée sur le site de fraie (COSEPAC, 2012). Ainsi, les anguilles provenant de zones de croissance éloignées doivent entreprendre leur périple plus tôt que celles qui ont grandi dans des sites plus près de la mer des Sargasses. Sur la base des connaissances de la période de dévalaison des anguilles argentées dans le Bas-Saint-Laurent (Verreault et coll., 2012) et en Gaspésie (Caron et coll., 2009), de la distance qu'elles ont à parcourir et de la vitesse de nage moyenne dans le golfe du Saint-Laurent (Béguier-Pon et coll., 2018), une migration débutant vers la fin de septembre pour les anguilles des îles de la Madeleine serait cohérente avec le début de la période probable du passage des anguilles provenant de l'amont du système Saint-Laurent.

Taille, masse, âge et croissance

Les valeurs moyennes de taille, de masse, d'âge et de taux de croissance des anguilles capturées aux îles de la Madeleine en 2021 étaient similaires à celles qu'a rapportées Georges (2008) pour la saison de pêche 2007. Toutefois, les distributions de ces variables étaient différentes, celles-ci étant plus étendues en 2021 qu'en 2007. Cela peut s'expliquer en partie par la taille de l'échantillon, qui était plus important en 2021 ($n = 217$ contre $n = 166$ en 2007), ce qui aurait permis de mieux représenter les valeurs extrêmes. En 2007, les petites anguilles étaient pratiquement absentes de l'échantillon analysé. Georges (2008) suggérait que ces jeunes anguilles étaient peu nombreuses dans les sites exploités par la pêche commerciale. Les résultats de la présente étude montrent que la situation s'est rétablie, témoignant d'une hausse probable du recrutement. En effet, la forme des distributions observée en 2021 est typique d'un stock pêché, soit que les jeunes anguilles qui ont la taille minimale pour être capturées par les mailles des verveux (4 ans et autour de 35 cm selon nos données) sont les plus abondantes et que l'abondance des individus plus âgés diminue ensuite progressivement.

L'âge minimal (8 ans) et l'âge moyen (12 ans) du déclenchement de la migration vers le site de fraie correspondent à ce qui avait été estimé à l'époque par Georges (2008) et sont cohérents avec les observations provenant des zones de croissance situées à proximité dans les Maritimes (Cairns et coll., 2014).

L'échantillon de 2021 se démarque par l'important contingent d'anguilles de grande taille (>75 cm et >1 kg) dans l'échantillon provenant du Havre aux Basques. Aucune anguille de ce type n'a été observée dans la récolte du Barachois de Fatima. Ces anguilles ont toutes été classées comme des argentées à l'issue de l'analyse de groupement et elles seront conséquemment désignées ici sous l'appellation de « grandes argentées ». Ce ne sont toutefois pas toutes les anguilles argentées provenant du Havre aux Basques qui appartiennent au groupe des grandes argentées (73 % des argentées classées comme grandes). En effet, pour les argentées de ce site, les distributions de fréquences de taille et de masse sont bimodales, avec un premier mode correspondant approximativement aux valeurs observées pour les anguilles argentées du Barachois de Fatima. Le site du Havre aux Basques se démarquait déjà en 2007. Malgré un faible échantillon provenant de ce site, Georges (2008) rapportait une taille et une masse moyenne supérieure à celles des anguilles d'autres sites échantillonnés à l'époque.

Ces anguilles ne sont pas des individus plus âgés qui auraient bénéficié d'une plus longue période de croissance. Au contraire, pour le site du Havre aux Basques, l'âge moyen des anguilles argentées mesurant plus de 75 cm (11,0 ans avec écart-type de 2,1 ans) était inférieur à celui des argentées de taille égale ou inférieure à 75 cm (12,5 ans avec écart-type de 3,5 ans) (Mann-Whitney; $W=424$; $p < 0,008$). Il s'agit plutôt d'anguilles ayant bénéficié d'un meilleur taux de croissance annuel au cours de leur vie continentale (figure 19).

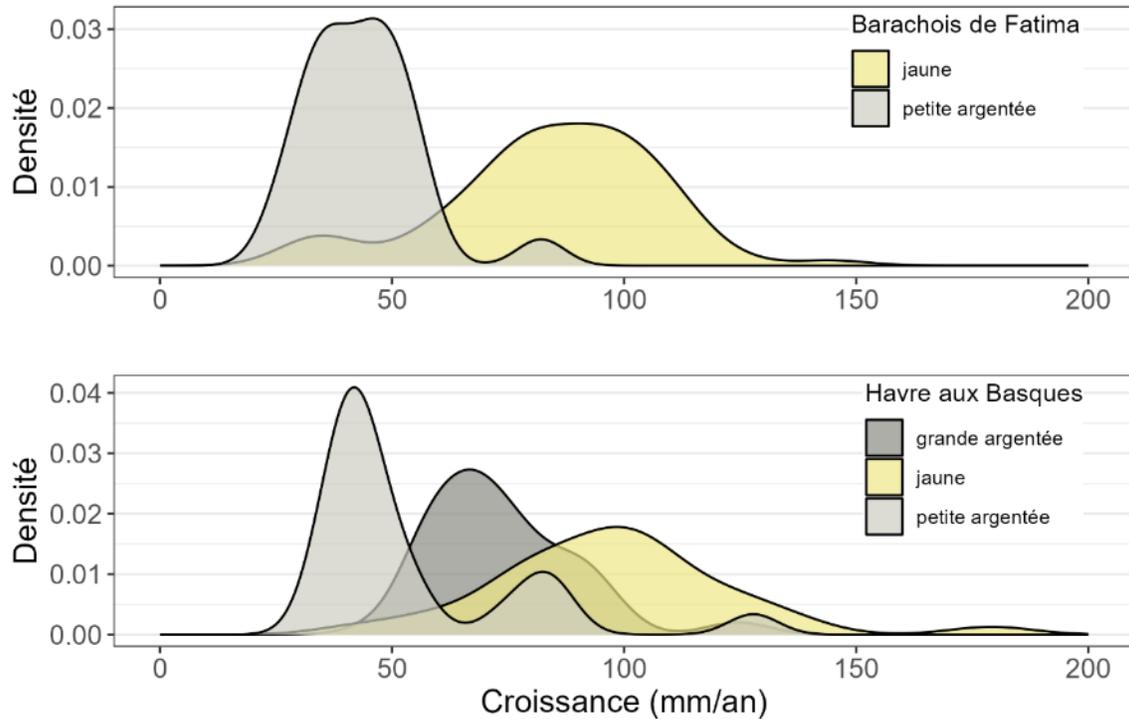


Figure 19. Distribution du taux de croissance annuel moyen, exprimée en densité de probabilité, c'est-à-dire que l'aire totale sous chaque courbe est égale à 1, en fonction du site de capture, de la taille et du stade de maturité des anguilles d'Amérique capturées en 2021 dans la pêche commerciale aux verveux des Îles-de-la-Madeleine. Les grandes argentées mesurent plus de 75 cm et les petites mesurent 75 cm ou moins.

Ce taux de croissance plus élevé n'est pas un artéfact dû à l'âge moyen plus faible des grandes argentées. En effet, puisque le taux de croissance régresse avec l'âge (figure 16), on peut s'attendre à ce que des individus moins âgés aient un taux de croissance annuel moyen plus élevé que celui des individus plus âgés. C'est d'ailleurs ce qui explique que les anguilles jaunes montrent un taux de croissance annuel moyen plus élevé que celui des anguilles argentées (figure 19). Si l'on compare le taux moyen de croissance annuelle pour des anguilles du même âge, les grandes argentées montrent toujours un taux de croissance plus élevé que celui des petites argentées (tableau 6). Il y a donc une portion des anguilles argentées capturées dans le Havre aux Basques qui se démarque par un taux de croissance élevé, ainsi qu'une masse et une taille plus importantes. Différentes hypothèses pourraient expliquer la présence de ces anguilles dans la récolte.

Tableau 6. Taux de croissance annuel moyen (mm/an) en fonction de l'âge et du site de capture pour les petites (75 cm et moins) et les grandes (>75 cm) anguilles argentées capturées en 2021 dans la pêche commerciale aux verveux des îles de la Madeleine. Le nombre d'individus dans chaque catégorie est inscrit entre parenthèses.

Âge	Havre aux Basques		Barchois de Fatima
	Grande argentée	Petite argentée	Petite argentée
4	-	128 (1)	82,1 (1)
5	-	-	-
6	125 (2)	-	48,7 (1)
7	-	81,2 (1)	-
8	93,3 (6)	84,7 (2)	-
9	87,7 (8)	74,3 (1)	-
10	75,7 (4)	-	50,1 (2)
11	72,9 (11)	-	45,7 (3)
12	66,1 (16)	49,0 (6)	55,2 (3)
13	59,1 (6)	43,6 (2)	43,7 (3)
14	55,8 (4)	40,2 (2)	37,1 (5)
15	55,2 (1)	39,9 (2)	33,4 (1)
16	-	39,1 (4)	-
17	45,1 (1)	-	31,4 (1)
18	-	35,5 (1)	30,0 (2)
19	-	-	-
20	-	-	25,8 (1)
Moyenne	73,7	53,9	43,5

Premièrement, le groupe des grandes argentées du Havre aux Basques pourrait être composé d'individus ayant réalisé une partie ou la totalité de leur croissance en mer. L'anguille peut vivre et migrer entre les milieux d'eau douce, saumâtre et salée et le taux de croissance annuel d'un individu augmente en fonction de la salinité des milieux fréquentés (Cairns et coll., 2009; Jessop et coll., 2008; Thibault et coll., 2007). Bien que les preuves de l'utilisation des milieux marins ouverts par l'anguille lors de la phase de croissance soient rares, il existe des signalements de captures d'anguilles en pleine mer pendant les mois de mai, juin et juillet (Pratt et coll., 2014; Bradford, 2013). Par ailleurs, des anguilles n'ayant pas atteint la taille des spécimens matures sont observées, enfouies dans des amoncellements de galets, lors de suivis de la pouponnière à homard de la baie de Plaisance (site Les Demoiselles) au mois de septembre (B. Grégoire, MPO, comm. personnelle), confirmant que le milieu marin entourant les îles de la Madeleine est fréquenté par l'anguille. Cette hypothèse est appuyée par les résultats d'un échantillonnage prélevé en novembre 2007 qui avait permis de capturer des anguilles entrant dans le Havre aux Basques par le goulet donnant sur la mer. Ces anguilles avaient un âge moyen de 9,5 ans, une taille moyenne de 785,6 mm et une masse moyenne de 1200 g (Georges, 2008), des valeurs similaires aux caractéristiques des grandes argentées capturées en 2021. Toutefois, certaines caractéristiques du groupe des grandes argentées s'expliquent difficilement par cette première hypothèse. Par exemple, si c'est bien la taille, et non l'âge, qui déclenche le processus de migration vers la mer des Sargasses, et que cette taille-seuil est fonction de la distance à parcourir vers le site de fraie, qu'est-ce qui explique la plus grande taille moyenne de ce groupe par rapport à celle des argentées provenant des autres sites des îles de la Madeleine? On peut aussi s'interroger sur la motivation des anguilles qui fréquentent le milieu marin et qui sont prêtes à entamer leur migration vers la mer

des Sargasses à entrer dans la lagune du Havre aux Basques, quoiqu'un comportement comparable ait été rapporté pour l'anguille européenne (Tambets et coll., 2021).

Une deuxième hypothèse, qui nous a été soumise par certains pêcheurs, serait que ces anguilles proviendraient de l'extérieur de la région des îles de la Madeleine et qu'elles s'abritent (ou se retrouvent piégées) dans la baie du Havre aux Basques lors de tempêtes qui perturberaient leur migration. Cette hypothèse permettrait d'expliquer la taille plus importante de ce groupe d'anguilles. Elle permettrait aussi d'expliquer pourquoi ces grandes anguilles sont toutes des argentées. Bien que ce soit basé sur peu d'observations, on sait que les anguilles provenant du Saint-Laurent peuvent passer près des îles de la Madeleine pendant leur migration (Béguer-Pon et coll., 2018). À notre connaissance, ce type de comportement, soit le fait de s'abriter ou d'être détourné vers des milieux côtiers en cours de migration, n'est toutefois pas encore directement documenté chez l'anguille d'Amérique. En revanche, c'est un comportement observé chez l'anguille européenne (Sjöberg et coll., 2017) et qui a été suggéré pour expliquer la faible proportion des anguilles argentées équipées d'émetteurs télémétriques au niveau du Saint-Laurent qui franchissait le détroit de Cabot dans la même année (Béguer-Pon et coll., 2014). Les grandes argentées montrent toutefois des taux de croissance élevés, qui dépassent ceux qui sont observés dans le fleuve ou au nord du golfe du Saint-Laurent (Cairns et coll., 2014).

Finalement, il se pourrait que les anguilles qui évoluent en milieu marin développent de façon précoce des caractéristiques (couleur, IO, IP) normalement associées aux anguilles argentées, ce qui aurait trompé l'analyse de groupement. Le groupe identifié comme les grandes argentées pourrait en fait être composé d'anguilles immatures qui entraient dans la lagune pour y passer l'hiver après un été à se nourrir en mer. Cependant, cette hypothèse semble difficilement compatible avec l'hypothèse généralement acceptée, selon laquelle la migration vers le site de fraie est déclenchée par l'atteinte d'une taille seuil, puisque ces anguilles présentent des tailles élevées, habituellement associées aux anguilles matures dans la région (Cairns et coll., 2014).

En somme, il sera nécessaire d'étudier davantage ce groupe d'anguilles afin de comprendre leur histoire de vie et d'expliquer leur présence dans la récolte des pêcheurs du Havre aux Basques. Cela permettrait notamment de mieux évaluer l'influence de la pêche sur le stock d'anguilles des îles de la Madeleine. L'étude de la microchimie des muscles et des otolithes offre une avenue intéressante en ce sens, mais devrait être couplée, idéalement, avec une étude télémétrique afin de déceler les incursions hivernales en eau douce (Thibault et coll., 2007). Cette étude devrait aussi s'étendre au site du Barachois de Fatima, car les pêcheurs suggèrent qu'une majorité d'anguilles qui y sont capturées seraient en migration vers l'étang après un été passé dans la lagune.

Croissance

Les lagunes des îles de la Madeleine offrent un habitat de croissance de qualité pour l'anguille d'Amérique. Dans la lagune de la baie du Bassin, la saison de croissance et le nombre de degrés-jours ≥ 10 °C sont semblables aux valeurs rapportées pour les autres sites de latitudes comparables (Jessop, 2010). Comme cela a été discuté ci-dessus, la croissance d'une anguille est fonction de la salinité, les milieux salés offrant un habitat plus productif. C'est ce qui expliquerait la croissance plus rapide observée dans le Havre aux Basques que dans le Barachois de Fatima. Même en ne considérant que les petites argentées, le taux de croissance annuel moyen des anguilles argentées capturées dans le Havre aux Basques est le meilleur enregistré pour le territoire québécois et parmi les meilleurs rapportés pour l'espèce (Cairns et coll., 2014).

Taux de mortalité

Les caractéristiques d'histoire de vie de l'anguille rendent difficile le respect des prémisses de la détermination du taux de mortalité à partir de l'analyse des courbes de captures (Cairns, 2014). Dans notre cas, puisque l'échantillonnage a été réalisé à l'automne en période de migration, nous ne sommes pas aux prises avec le problème classique de la sous-représentation des classes d'âge des anguilles matures ayant quitté le système pour aller se reproduire (qui a mené plusieurs auteurs à parler de taux de disparition plutôt que de mortalité pour l'anguille). Au contraire, ces anguilles en migration sont plus susceptibles d'être pêchées, donc surreprésentées dans notre échantillon. C'est pourquoi nous avons limité l'analyse des taux de mortalité à la période de croissance (anguilles jaunes). Ce choix peut toutefois rendre hasardeuses les comparaisons avec d'autres études. L'interprétation de nos résultats doit également être faite en considérant l'influence actuellement inconnue des migrations entre les milieux plus ou moins salés, l'incertitude provenant du peu de classes d'âge utilisées dans l'analyse des courbes de capture et celle qui est liée au calcul du taux de mortalité naturel. Cela étant dit, les taux de mortalité annuels des anguilles jaunes observés en 2021 aux îles de la Madeleine (de 42 % à 50 %) sont élevés en comparaison de ceux qui sont rapportés dans la littérature pour des systèmes où il n'y a pas de pêche : 24 % en estuaire à l'Île-du-Prince-Édouard (taux de disparition; ICES, 2001), 21 % dans l'estuaire de la rivière Hudson (taux de mortalité; Fenske et coll., 2011), 23 % dans la rivière Sud-Ouest au Bas-Saint-Laurent (taux de disparition; Verreault, 2002). Ils sont toutefois du même ordre de grandeur que les taux de disparition rapportés là où la mortalité induite par la pêche s'additionne à la mortalité naturelle, soit de 34 % à 59 % dans la région de la baie Chesapeake (Fenske et coll., 2010) et 54 % dans les eaux à marée de l'Île-du-Prince-Édouard (ICES, 2001).

En comparaison avec les estimations de taux instantanés de mortalité naturelle (M) calculées à partir de l'analyse des courbes de capture dans des milieux exempts de prélèvements par la pêche, celles qui ont été obtenues à l'aide de la méthode de Bevacqua et ses collaborateurs (2011) sont très faibles ($M = 0,06$ et $0,08$, respectivement pour le Barachois de Fatima et le Havre aux Basques). Ainsi, les taux instantanés de mortalité attribuables à la pêche présentés dans cette étude ($F = 0,47$ et $0,63$) sont probablement surestimés. En considérant plutôt un taux de mortalité naturel instantané de l'ordre de $0,25$, comme le suggèrent les études citées ci-dessus (ICES, 2001, Fenske et coll., 2011, Verreault, 2002), et comme le recommande l'Atlantic States Marine Fisheries Commission (ASMFC, 2012), nous aurions obtenu des valeurs de F de $0,30$ et $0,44$, respectivement. Nous aurions alors un bilan qui se rapprocherait davantage de la recommandation de Walters et Maguire (1996) de maintenir F sous M . Pour approfondir cette question, il serait intéressant d'obtenir une estimation de M pour les îles de la Madeleine par l'analyse d'une courbe de capture d'un échantillon prélevé dans un secteur exempt de pêche.

Parasite

La prévalence et l'intensité d'infection par *A. crassus* observées en 2021 aux îles de la Madeleine sont les plus élevées jamais rapportées pour le territoire québécois, et parmi les plus élevées pour l'Amérique du Nord, particulièrement pour ce qui est du nombre moyen de nématodes par anguille infestée (Aieta et Oliveira, 2009; Campbell et coll., 2013; Landry-Massicotte et Dussureault, 2023). Ce résultat peut être somme toute surprenant, considérant que les anguilles analysées proviennent de milieux saumâtres et qu'*A. crassus* est normalement plus présent chez les anguilles évoluant en eau douce (Lefebvre et Crivelli, 2012, mais voir Campbell et coll., 2013), puisque la capacité de transmission du parasite est influencée négativement par la salinité de l'eau (Kirk et coll., 2000). La diminution d'infectiosité observée en eau salée pourrait toutefois être contrebalancée par un taux de consommation de proies infectées plus important. Chez l'anguille d'Europe, lorsqu'ils sont comparés avec des individus résidents en eau douce, les individus évoluant en milieu salé ont un régime plus carnivore, comprenant plus de poissons, et ont une position plus élevée dans la chaîne

trophique (Parzanini et coll., 2021), deux facteurs positivement corrélés avec l'intensité d'infection d'*A. crassus* chez l'anguille d'Amérique (Augustine, 2022) et l'anguille d'Europe (Pegg et coll., 2015). D'ailleurs, Li et ses collaborateurs (2015) ont identifié plusieurs poissons qui sont des hôtes paraténiques du parasite, dont le choquemort (*Fundulus heteroclitus*), qui abonde dans les lagunes des îles de la Madeleine (MELCCFP, données non publiées) et qui y est consommé par l'anguille (A. Richard, observation personnelle). Puisque la consommation de poissons augmente avec la taille des individus (COSEPAC, 2012), qui elle-même est corrélée à l'âge, la transition vers un régime piscivore pourrait contribuer à la relation positive observée entre l'âge et l'intensité d'infection (figure 18).

La prévalence du parasite observée aux îles de la Madeleine est comparable à celle qui est observée dans des zones où il est bien implanté. Dans la rivière Hudson, la prévalence est passée de moins de 20 % à plus de 60 % en 3 ans (Morrison et Secor, 2003). La même tendance a été observée dans des tributaires de la baie de Chesapeake où la prévalence est passée de 10-24 % à 41-72 % en une dizaine d'années (Fenske et coll., 2010). Chez l'anguille d'Europe, après l'atteinte d'un pic, la prévalence et l'intensité d'infection ont diminué au cours la période de 20 à 40 ans post-invasion, ce qui laisse présager que l'anguille peut s'adapter à la présence du parasite (Unger et coll., 2024). Le parasite *A. crassus* aurait vraisemblablement atteint les îles de la Madeleine entre 1990 et 2007 (Pratt et coll., 2019), il sera donc intéressant de suivre son évolution au cours des prochaines années.

La forte intensité d'infection observée aux îles de la Madeleine en ferait un bon site pour étudier l'impact du parasite sur la survie et le succès reproducteur des spécimens infectés. Une étude récente basée sur la modélisation a estimé que le taux de survie annuel des anguilles d'Amérique porteuses du parasite pourrait être 24 % plus faible que celui des anguilles saines (Warshafsky et coll., 2019), ce qui laisse présager un impact non négligeable. Chez l'anguille d'Europe, des chercheurs ont démontré que le parasite altère le fonctionnement de la vessie natatoire et la capacité de nage des individus infectés (Pelster, 2023). Considérant que l'anguille d'Amérique doit parcourir des milliers de kilomètres lors de sa migration vers la mer des Sargasses et qu'elle effectue des migrations verticales journalières pendant ce déplacement (Béguer-Pon et coll., 2012), ce type d'atteinte à la vessie natatoire pourrait influencer négativement son succès reproducteur. L'influence réelle du parasite sur la dynamique du stock et son abondance demeure toutefois peu connue.

5. État du stock et recommandations de gestion

5.1. Introduction

Dans le domaine de la gestion des ressources halieutiques, l'approche de précaution est une stratégie pour éviter la surexploitation et pour assurer la pérennité des stocks. L'approche reconnaît l'incertitude inhérente à la gestion des ressources naturelles et vise à garantir la durabilité à long terme de la pêche, tout en minimisant les risques. L'implantation de l'approche passe par la définition de niveaux maximaux d'exploitation de référence, qui sont fonction de l'état du stock étudié (MPO, 2009).

Chaput et Cairns (2011) ont proposé une méthode pour déterminer le niveau maximal d'exploitation d'un stock local d'anguilles d'Amérique qui favoriserait le rétablissement de l'espèce et une saine gestion à long terme. En plus des mortalités attribuables à la pêche, l'établissement de ce point de référence doit tenir compte des autres sources de mortalités anthropiques, l'objectif étant qu'un stock local produise au moins 50 % de la biomasse de reproducteur qu'il produirait en l'absence

de tout prélèvement (Chaput et Cairns, 2011; ICES, 2001). Dans un contexte comme celui des îles de la Madeleine, où les connaissances actuelles ne permettent pas d'estimer la production naturelle des habitats et où les sources de mortalité non attribuables à la pêche sont négligeables, le seuil peut être exprimé par la proportion d'habitats affectés par la pêche (voir la description dans la section méthodologie ci-dessous). L'objectif est de maintenir celle-ci sous 50 %.

Cette section présente une estimation de la proportion de l'habitat de l'anguille des îles de la Madeleine qui était affectée par la pêche au verveux en 2021. Les résultats sont ensuite interprétés, puis contextualisés en considérant les caractéristiques de la pêcherie et des anguilles pêchées, afin d'émettre des recommandations de gestion.

5.2. Méthodologie

La superficie d'habitat disponible pour l'anguille en eau saumâtre et salée a été calculée en adaptant la méthodologie de Cairns et ses collaborateurs (2012). Nous avons utilisé la couche des plans d'eau (RH_S) de la géobase du réseau hydrographique du Québec (GRHQ; MRNF, 2019) et nous avons considéré les baies intérieures, les lagunes et les estuaires de l'entité « Golfe du Saint-Laurent » ayant une superficie minimale de 0,015 km² et dont la limite extérieure vers la mer a été définie comme la ligne reliant la côte entre les deux premiers points touchés par un cercle d'un rayon de 1,5 km s'approchant de celle-ci.

Nous nous intéressons aussi à l'habitat situé en eau douce, qui comprend une partie de la pêcherie. Nous avons donc ajouté au résultat précédent la superficie des plans d'eau désignés comme « lac » et « mare » de la couche RH_S de la GRHQ qui sont connectés au réseau hydrographique et qui ont une superficie de plus de 0,002 km² (choix subjectif pour représenter un habitat susceptible d'être utilisé par l'anguille).

Puisque la biomasse capturée par la pêche à la ligne dormante est négligeable, seule la pêche aux verveux a été considérée dans le calcul de la superficie d'habitat affectée par la pêche. La superficie affectée par les verveux a été obtenue en considérant la superficie couverte par un rayon de 2 km appliqué autour des 29 verveux utilisés en 2021, à laquelle on a soustrait la superficie des plans d'eau qui, bien qu'ils étaient couverts par ce rayon de 2 km, étaient situés dans un autre bassin versant que les verveux en question. Le rayon de 2 km a été proposé par Cairns (2012) après avoir vérifié que ce rayon était plus grand que les domaines vitaux rapportés dans la littérature pour l'espèce. Ce rayon est adéquat pour refléter l'effet de la pêche à l'anguille jaune seulement. Pour tenir compte du fait que les verveux échantillonnés dans le Havre aux Basques capturent aussi des anguilles argentées en migration (qui parcourent donc beaucoup plus de 2 km), nous avons considéré que l'ensemble du Havre aux Basques était sous l'influence des verveux (c'est-à-dire que les verveux captureraient toutes les anguilles sortant par le goulet lors de leur migration).

Enfin, puisqu'il est possible que les décomptes sous-estiment le nombre de verveux réellement utilisés et que ce nombre peut varier d'une année à l'autre, l'analyse a été refaite en suivant la même approche, mais en considérant la position des 58 verveux de 2008 (Richard, 2008).

5.3. Résultats

La méthode utilisée a donné un résultat très semblable à celui de Cairns (2012) en regard de la superficie d'habitat de l'anguille en eau salée ou saumâtre, soit 138,268 km² (Cairns (2012) : 138 km²). En ajoutant les 4,569 km² situés en eau douce, on obtient une superficie totale d'habitat

de 142,837 km² pour l'anguille d'Amérique aux îles de la Madeleine. En 2021, 36,901 km² de cet habitat étaient affectés par les verveux. C'est donc 26 % de l'habitat disponible qui était potentiellement affecté par la pêche aux verveux cette année-là (figure 20). Lorsqu'on considère l'emplacement des verveux utilisés en 2008, la proportion atteint 31 %.

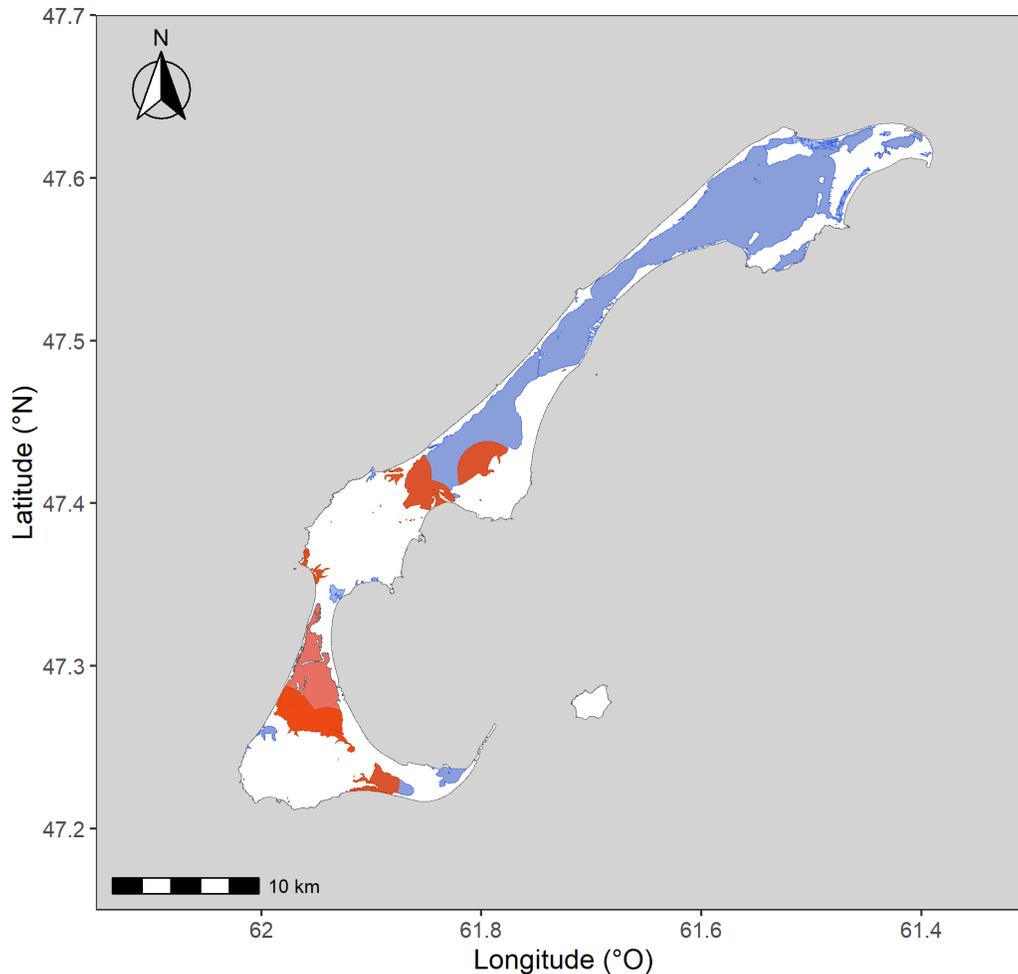


Figure 20. Habitat de l'anguille d'Amérique en eaux salées, saumâtres et douces aux îles de la Madeleine (bleu). Les polygones orangés montrent les portions de cet habitat qui étaient à moins de 2 km d'un des 29 verveux utilisés en 2021 et, en plus pâle, la lagune du Havre aux Basques, dont toute la superficie a été considérée sous l'influence des verveux.

5.4. Discussion et recommandations de gestion

En 2021, aux îles de la Madeleine, on peut présumer que le milieu a produit 74 % de la biomasse de reproducteurs que le stock local aurait produit en l'absence de tout prélèvement. Pour tenir compte du fait qu'il est possible que les décomptes sous-estiment le nombre de verveux réellement utilisés, l'analyse a été refaite en utilisant la position des 58 verveux de 2008. Même sous ce scénario, le milieu aurait produit 69 % de la biomasse de reproducteurs que le stock local aurait produit en l'absence de tout prélèvement. Le seuil de 50 % proposé pour les stocks locaux d'anguilles d'Amérique (Chaput et Cairns, 2011) est donc respecté et même dépassé. Certains éléments doivent être pris en compte dans l'interprétation de ces résultats. En effet, l'analyse est

basée sur des prémisses dont l'applicabilité au contexte des îles de la Madeleine n'a pas été validée. Les plus importantes sont (1) que l'approche de Cairns (2012) permet effectivement de cartographier les habitats propices pour l'anguille; (2) que la qualité de l'habitat est homogène dans toute la zone identifiée comme habitat de l'anguille; (3) que la méthode retenue permet de bien délimiter la zone affectée par la pêche et (4) que la pêche capture tous les reproducteurs produits dans la zone affectée par la pêche. Comme cela a été discuté dans la section précédente, il est fort probable que l'anguille fréquente le milieu marin à proximité de l'archipel. Il est toutefois actuellement impossible de délimiter cette zone et de déterminer si elle est utilisée seulement pour une portion de la phase de croissance ou si des anguilles y passent toute leur vie continentale. Il est donc difficile de déterminer l'impact ultime de l'habitat marin sur la production de reproducteurs du stock local des îles de la Madeleine. D'autant plus qu'une part des anguilles qu'il soutient pourrait être susceptible à la pêche. On peut penser que les zones d'habitat qui ne sont pas pêchées ont été délaissées, car elles offriraient une moins bonne productivité que les secteurs où se concentre la pêche aujourd'hui. C'est probablement vrai à une échelle fine. Toutefois, à l'échelle de l'archipel, c'est la proximité avec le lieu de résidence qui contribue le plus à déterminer le lieu de pêche d'un pêcheur. C'est ce qui explique la concentration des verveux dans la partie ouest de l'archipel, là où se concentre la population (Richard, 2008). L'hypothèse que les zones non exploitées offrent une productivité équivalente à celle des zones exploitées reste donc vraisemblable. Il sera toutefois important de valider cette hypothèse à court terme, car elle est centrale dans l'établissement de nos recommandations de gestion. La zone d'influence des verveux retenue correspond au plus grand des domaines vitaux rapportés pour les anguilles jaunes dans la littérature (Cairns, 2012). L'ajout de l'ensemble du Havre aux Basques dans la zone affectée par la pêche permet de tenir compte du fait qu'on y pratique une pêche d'interception capturant surtout des anguilles argentées en migration. Dans le cas du Barachois de Fatima, le rayon de 2 km était suffisant pour couvrir l'ensemble du plan d'eau, ce qui explique que nous n'avons pas eu à faire de modifications pour considérer qu'une part de la récolte y est composée d'anguilles argentées en migration. Il est possible que d'autres sites de pêche non échantillonnés dans le cadre de cette étude capturent aussi majoritairement des anguilles en migration. Il sera important de poursuivre la caractérisation des anguilles pêchées aux îles de la Madeleine et d'étudier leurs comportements migratoires afin d'être en mesure de mieux délimiter la zone affectée par la pêcherie, qui constitue une autre pierre d'assise importante de la gestion de ce stock local d'anguille. Par ailleurs, l'hypothèse qu'aucune anguille mature ne s'échappe des zones affectées par la pêche est fort probablement exagérée, menant à une surestimation de l'effet de la pêche sur la productivité en biomasse de reproducteurs dans l'archipel. Il s'agit d'une hypothèse prudente qui vise à contrebalancer, en partie, l'incertitude associée aux hypothèses discutées ci-dessus. En somme, en 2021, en fonction des connaissances actuelles et de la concentration de l'effort de pêche dans l'ouest de l'archipel, le stock local d'anguilles des îles de la Madeleine se situait probablement dans la zone saine de gestion telle qu'elle a été définie par Chaput et Cairns (2011). Il convient toutefois de gérer la pêcherie avec prudence, en considérant l'incertitude liée à l'homogénéité de la productivité des habitats et du rayon d'influence des verveux.

D'autres caractéristiques de la pêcherie et des anguilles pêchées permettent d'étoffer l'avis sur l'état du stock local. Plusieurs de ces indicateurs suggèrent qu'il se porte bien. En effet, malgré une diminution historique de l'effort de pêche, les débarquements sont plutôt stables, depuis près de 100 ans (voir la section 2.2). Dans les dernières années, les CPUE totales et celles des recrues sont en hausse, ce qui pourrait traduire une augmentation locale de l'abondance (voir section 3.3). Les CPUE sont également relativement élevées lorsqu'elles sont comparées avec des pêcheries semblables situées ailleurs dans le golfe du Saint-Laurent (voir section 3.3). De plus, l'habitat semble offrir des conditions de croissance très favorables, les anguilles des îles de la Madeleine affichant les taux de croissance les plus élevés enregistrés pour l'espèce au Québec (voir section 4.3). En contrepartie, les taux de mortalité observés en 2021 sont élevés et ne respectent pas la recommandation de Walters et Maguire (1996) de maintenir F sous M (voir section 4.3). Lorsqu'on

en fait le bilan, ces constats suggèrent que la pêche au verveux influence sévèrement la survie des anguilles qui évoluent à proximité des sites de pêche, mais que l'abondance des habitats situés en dehors de la zone d'influence des verveux permet le maintien d'une population saine et d'une pêche productive. La présence de ces zones non pêchées est donc cruciale pour le maintien de la contribution des îles de la Madeleine au stock reproducteur ainsi qu'au maintien de la qualité de la pêche à court, moyen et long terme.

Conséquemment, nous recommandons un mode de gestion basé sur l'établissement de zones où la pêche sera interdite. Ce mode de gestion s'applique bien au contexte des îles de la Madeleine, où plusieurs zones sont déjà exemptes de pêche, et il a été identifié comme l'une des meilleures avenues pour permettre une pêche durable (Pauly et coll., 2002). Pour tenir compte des recommandations et des sources d'incertitudes discutées dans les paragraphes précédents, ces zones devront couvrir plus de 50 % de la superficie de l'habitat de l'anguille aux îles de la Madeleine. De plus, pour favoriser le maintien de la qualité de la pêche, elles devraient être distribuées sur l'ensemble de l'archipel. Toutes formes de pêches à l'anguille, y compris la pêche sportive, devront y être interdites. La localisation de ces zones devra se faire en concertation avec les pêcheurs et la population des îles de la Madeleine avant d'être inscrite dans le plan de gestion de la pêche.

De plus, nous recommandons de retirer du plan de gestion de la pêche les verveux et les lignes dormantes qui ne sont pas octroyés (voir les sections 2.3 et 2.4). Cette recommandation vise à favoriser le maintien de l'abondance de la ressource et, cohéremment, de la qualité de la pêche dans les zones exploitées.

6. Conclusion et recommandations

Cette étude a permis de mettre à jour les connaissances sur les caractéristiques de la pêche commerciale de l'anguille aux îles de la Madeleine, dont le dernier portrait datait de 2008. On a observé une augmentation du nombre de permis délivrés, mais une baisse du nombre de pêcheurs actifs. L'effort de pêche total est également en diminution, mais, grâce à des CPUE plus importantes, les débarquements se maintiennent autour de cinq tonnes. Comme par le passé, la pêche à la ligne dormante demeure une activité marginale.

L'étude des anguilles capturées a permis de compléter les connaissances et d'en amasser de nouvelles sur les caractéristiques du stock exploité aux îles de la Madeleine. En somme, les anguilles pêchées dans l'archipel ont une croissance rapide qui leur permet d'atteindre le stade d'argenture à un âge relativement jeune en comparaison avec le reste du territoire québécois. Leurs caractéristiques d'histoire de vie se rapprochent davantage de celles des anguilles des provinces maritimes évoluant en milieu saumâtre. Les anguilles analysées se démarquent par une prévalence et une intensité d'infection élevée au parasite *A. crassus*. Nos travaux ont également révélé que la récolte des pêcheurs, en fonction du site et de la date, peut comporter une part importante d'anguilles en migration, que ce soit vers les sites de fraie ou les sites d'hivernage. Une portion de ces anguilles, capturées dans le Havre aux Basques, montrent par ailleurs des valeurs de croissance, de masse et de taille surprenantes, qui justifieraient qu'on s'intéresse plus spécifiquement à leur histoire de vie.

Considérant l'état précaire de l'anguille d'Amérique et dans le but de maintenir une saine gestion de son exploitation sur le territoire madelinot, nous avons fait la recommandation de protéger de tout prélèvement plus de 50 % de l'habitat disponible pour l'espèce dans l'archipel. Il sera également primordial de collaborer avec le MAPAQ pour qu'il mette en place un suivi annuel des captures et de l'effort de pêche. Un tel suivi permettra de déceler rapidement tout changement

menaçant la pérennité du stock et l'activité de pêche. Il offrira également l'occasion de déceler des tendances et de mieux comprendre l'effet que peuvent avoir certaines variables (comme la date, les vents, les sites de pêche, le recrutement, etc.) sur l'effort de pêche, la récolte et les CPUE. La pêche des îles de la Madeleine pourrait ainsi jouer un rôle de sentinelle pour le suivi de l'espèce au Québec et au Canada.

Ce rapport présente plusieurs recommandations. Elles sont synthétisées et regroupées ci-dessous en deux catégories, soit « gestion et suivi » et « acquisition de connaissances ». Elles sont présentées en ordre de priorité au sein de chaque groupe. Si ces recommandations sont retenues, leur mise en œuvre se fera en collaboration avec les partenaires régionaux du MELCCFP, qui seront consultés avant toute modification de la réglementation.

Gestion et suivi

Évaluer la possibilité :

1. D'inscrire dans la réglementation des zones où toute forme de pêche à l'anguille sera interdite. Ces zones devront couvrir plus de 50 % de la superficie de l'habitat de l'anguille aux îles de la Madeleine;
2. De retirer du plan de gestion de la pêche les engins non octroyés;
3. D'instaurer un suivi annuel des statistiques de pêche;
4. De refaire tous les cinq ans une étude des caractéristiques biologiques du stock exploité, à l'image de ce qui a été fait en 2021; lors de cette prochaine caractérisation, il sera important de peser les gonades et de mesurer le diamètre et la phase de développement des ovocytes afin d'évaluer avec plus de précision le stade de maturité sexuelle;
5. D'effectuer une caractérisation de la pêche sportive de l'anguille aux îles de la Madeleine.

Acquisition de connaissances

Évaluer la possibilité de mettre en place des projets de recherche permettant :

1. En adéquation avec l'action 3.2.1 du plan d'action du MELCCFP sur l'anguille d'Amérique (Comité scientifique sur l'anguille d'Amérique, 2022), de préciser la répartition, la caractérisation et l'utilisation des habitats (croissance, hivernage, etc.) de l'anguille aux îles de la Madeleine, notamment en quantifiant les densités d'anguilles jaunes dans les secteurs pêchés et non pêchés;
2. De comprendre les déplacements saisonniers des anguilles des îles de la Madeleine entre les types d'habitats et l'influence de ces mouvements sur la vulnérabilité à la pêche;
3. D'élucider l'histoire de vie des « grandes argentées » capturées dans le Havre aux Basques;
4. D'obtenir une estimation locale du taux de mortalité naturel de l'anguille dans le milieu lagunaire des îles de la Madeleine en réalisant une analyse de courbe de captures à partir d'un échantillon provenant d'une zone non exploitée par la pêche sportive ou commerciale;
5. De quantifier l'impact du parasite *A. crassus* sur le taux de survie et sur les facteurs susceptibles d'influencer le succès reproducteur.

7. Remerciements

Mes premiers remerciements vont aux pêcheurs d'anguilles des îles de la Madeleine. Sans leur collaboration, cette étude n'aurait tout simplement pas été possible. Leur amour pour cette espèce et leur intérêt dans sa gestion sont les meilleurs garants de l'avenir de ce poisson singulier. Je suis également redevable envers l'apport des talentueux techniciens du MELCCFP : merci à Kathleen Sévigny, Johanne Dussureault, Léane Gamache, Vanessa Cauchon et William Cayer-Blais. Un grand merci à François Bourque et Michel Noël pour le généreux partage de leur grande connaissance de l'anguille et du territoire des îles. Merci à Julien Mainguy pour son soutien dans les analyses statistiques et à Yves Paradis, Philippe Brodeur et Jean-François Dumont pour la révision de ce rapport. Merci également à l'équipe de MERINOV pour le travail de terrain et de laboratoire.

8. Bibliographie

- ACOU, A., P. BOURY, P. LAFFAILLE, A. J. CRIVELLI et E. FEUNTEUN (2005). « Towards a standardized characterization of the potentially migrating silver European eel (*Anguilla anguilla*, L.) », *Archiv für Hydrobiologie*, 164 : 237-255.
- AIETA, A. E., et K. OLIVEIRA (2009). « Distribution, prevalence, and intensity of the swim bladder parasite *Anguillicola crassus* in New England and eastern Canada », *Dis Aquat Organ*, 84(3): 229-35.
- ASMFC (2012). *American eel benchmark stock assessment*, Stock Assessment Report n° 12-01, Atlantic States Marine Fisheries Commission, Washington.
- ASSELIN, S., C. HARVEY, A. BOUDREAU et Y. ROPARS (1995). *Havre aux Basques, étude de la réouverture de la lagune : évaluation des enjeux environnementaux et complément d'étude technique*, rapport présenté par le Groupe-conseil Génivar inc., Division environnement Shooner, et Travaux publics et Services gouvernementaux Canada au ministère des Pêches et des Océans, Direction de l'habitat du poisson, 116 p. et annexes.
- AUGUSTINE, E. N. (2022). *Evaluation of the influence of American eel (*Anguilla rostrata*) trophic interactions on *Anguillicola crassus* infection and new methods for stable isotope analysis of eels*. Mémoire de maîtrise. University of New Brunswick, 47 p.
- BARTOŃ K. (2023). MuMIn: Multi-Model Inference_. R package version 1.47.5, [En ligne], <https://CRAN.R-project.org/package=MuMIn>.
- BÉGUER-PON, M., J. BENCHETRIT, M. CASTONGUAY, K. AARESTRUP, S. E. CAMPANA, M. J. W. STOKESBURY et coll. (2012). « Shark Predation on Migrating Adult American Eels (*Anguilla rostrata*) in the Gulf of St. Lawrence », *PLOS ONE*, 7(10): e46830.
- BÉGUER-PON, M., M. CASTONGUAY, J. BENCHETRIT, D. HATIN, G. VERREAULT, Y. MAILHOT, V. TREMBLAY, D. LEFAIVRE, M. LEGAULT, D. STANLEY et J. J. DODSON (2014). « Large-scale migration patterns of silver American eels from the St. Lawrence River to the Gulf of St. Lawrence using acoustic telemetry », *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 71(10): 1579-1592.

- BÉGUER-PON, M., G. VERREAU, D. STANLEY, M. CASTONGUAY et J. J. DODSON (2018). « The migration of stocked, trapped and transported, and wild female American silver eels through the Gulf of St. Lawrence », *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 75(11): 2024-2037.
- BÉRUBÉ, Z. (1990). *La pêche maritime au Québec, 1956-1985*, Statistiques économiques, Bureau de la statistique du Québec, Québec.
- BÉRUBÉ, Z., et R. YERGEAU (1992). *La pêche maritime au Québec, 1917-1955*, Statistiques économiques, Bureau de la statistique du Québec, Québec.
- BEVACQUA, D., P. MELIÀ, 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.
- BEVERTON, R. J. H., et S. J. Holt (1957). « On the dynamics of exploited fish populations », *Fisheries Investigations*, 19: 1-533.
- BRADFORD, R. G. (2013). « 2010 status of American eel (*Anguilla rostrata*) in Maritimes Region », *DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res.*, Doc. 2012/083, iv + 39 p.
- BURNHAM, K. P., et D. R. ANDERSON (2002). *Model Selection and Multimodel Inference : A Practical Information-Theoretic Approach*, 2nd Edition, Springer-Verlag, New York.
- CAIRNS, D. K., D. A. SECOR, W. E. MORRISON et J. A. HALLETT (2009). « Salinity-linked growth in anguillid eels and the paradox of temperate-zone catadromy », *Journal of Fish Biology*, 74(9): 2094-2114.
- CAIRNS, D. K., J.-D. DUTIL, S. PROULX, J. D. MAILHIOT, M.-C. BÉDARD, A. KERVELLA, L. G. GODFREY, E. M. O'BRIEN, S. C. DALEY, E. FOURNIER, J. P. N. TOMIE et S. C. COURTENAY (2012). « An atlas and classification of aquatic habitat on the east coast of Canada, with an evaluation of usage by the American eel », *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.*, n° 2986: v + 103 p.
- CAIRNS, D.K., G. CHAPUT, L. A. POIRIER, T.S. AVERY, M. CASTONGUAY, A. MATHERS, J.M. CASSELMAN, R.G. BRADFORD, T. PRATT, G. VERREAU, 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.
- CAIRNS, D.K. (2020). « Landings, abundance indicators, and biological data for a potential range-wide American eel stock assessment », *Can. Data Rep. Fish. Aquat. Sci.*, 1311: v + 180 p.
- CAMPBELL, D. M., R. G. BRADFORD et K. M. M. JONES (2013). « Occurrences of *Anguillicoloides crassus*, an invasive parasitic nematode, infecting American eel (*Anguilla rostrata*) collected from New Brunswick and Nova Scotia Rivers: 2008-2009 », *DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res.*, doc. 2012/082. iv + 19 p.
- CARON, F., D. FOURNIER, V. CAUCHON et I. THIBAUT (2009). *Synthèse des travaux de recherche sur l'anguille d'Amérique du bassin versant de la rivière Saint-Jean de 2001 à 2007*, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'expertise sur la faune et ses habitats, Service de la faune aquatique.
- CHAPMAN, D. G., et D. S. ROBSON (1960). « The analysis of a catch curve », *Biometrics*, 16: 354-368.

- CHAPUT, G., et D. K. CAIRNS (2011). *Mortality reference points for the American Eel (Anguilla rostrata) and an application for evaluating cumulative impacts of anthropogenic activities*, Canadian Science Advisory Secretariat, research document 2011/053 : 28 p.
- CHARRAD M., N. GHAZZALI, V. BOITEAU et A. NIKNAFS (2014). « NbClust: An R Package for Determining the Relevant Number of Clusters in a Data Set », *Journal of Statistical Software*, 61(6): 1-36.
- 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.
- COMITÉ SCIENTIFIQUE SUR L'ANGUILLE D'AMÉRIQUE (2022). *Plan d'action du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs sur l'anguille d'Amérique*, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec, 25 p.
- COPE, J. M., et O. S. HAMEL (2022). « Upgrading from M version 0.2: An application-based method for practical estimation, evaluation and uncertainty characterization of natural mortality », *Fisheries Research*, 256.
- COSEPAC (2012). *Évaluation et rapport de situation du COSEPAC sur l'anguille d'Amérique (Anguilla rostrata) au Canada*, Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. Ottawa, xiii + 127 p.
- DOLAN, J. A., et G. POWER (1977). « Sex Ratio of American Eels, *Anguilla rostrata*, from the Matamek River System, Quebec, with Remarks on Problems in Sexual Identification », *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 34(2): 294-299.
- DURIF, C., P. ELIE, S. DUFOUR, J. MARCHELIDON et B. VIDAL (2000). « Analysis of morphological and physiological parameters during the silvering process of the European eel (*Anguilla anguilla*) in the lake of Grand-Lieu (France) », *Cybium*, 24: 63-74.
- DURIF, C., M. ARTS, F. BERTOLINI, A. CRESCI, F. DAVERAT, E. KARLSBAKK, J. KOPRIVNIKAR, E. MOLAND, E. M. OLSEN, C. PARZANINI, M. POWER, M. ROHTLA, A. B. SKIFTESVIK, E. THORSTAD, L. A. VØLLESTAD et H. I. BROWMAN (2023), « The evolving story of catadromy in the European eel (*Anguilla anguilla*) », *ICES Journal of Marine Science*, 80(9): 2253-2265.
- 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.
- FENSKE K. H., M. J. WILBERG, D. H. SECOR et M. C. FABRIZIO (2011). « An age- and sex-structured assessment model for American eels (*Anguilla rostrata*) in the Potomac River, Maryland », *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 68(6): 1024-1037.
- GEFFROY, B., et A. BARDONNET (2015). « Sex differentiation and sex determination in eels: Consequences for management », *Fish and Fisheries*, 17: 375-398.
- GEORGES, S. (2005). *Caractérisation de la pêche à l'anguille aux îles de la Madeleine, saison 2003-2004*, compte rendu de l'atelier sur les pêches commerciales 2005, ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, p. 15-22.
- GEORGES, S. (2008). *Caractérisation de la récolte de la pêche commerciale à l'anguille d'Amérique aux îles de la Madeleine et inventaire des anguilles juvéniles*, rapport pour

- Environnement Canada et le ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Gaspé, Québec, 25 p.
- ICES (2001). *Report of the EIFAC/ICES working group on eels. 28 august-1 september 2000*, Saint Andrews, N.-B., Canada, 87 p.
- ICES Workshop participants (2011). Annex 5 : *Manual for the Ageing of Atlantic Eel : Otolith preparation methodologies, age interpretation and image storage*, International Council for Exploration on the Sea, Version 2: April 2011, Copenhagen.
- ICES (2012). *Report of the Joint EIFAAC/ICES Working Group on Eels (WGEEEL), 3-9 September 2012*, Copenhagen, Denmark. ICES CM 2012/ACOM:18, 824 p.
- JESSOP, B., D. K. CAIRNS, I. THIBAUT et W.-N. TZENG (2008). « Life history of American eel *Anguilla rostrata*: New insights from otolith microchemistry », *Aquatic Biology*, 1: 205-216.
- JESSOP, B. (2010). « Geographic effects on American eel (*Anguilla rostrata*) life history characteristics and strategies », *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 67: 326-346.
- KASSAMBARA, A., et F. MUNDT (2020). Factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. R package version 1.0.7, [En ligne], <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>.
- KIRK, R. S., C. R. KENNEDY et J. W. LEWIS (2000). « Effect of salinity on hatching, survival and infectivity of *Anguillicola crassus* (Nematoda: Dracunculoidea) larvae », *Diseases of Aquatic Organisms*, 40(3): 211-218.
- KRUEGER, W. H., et K. OLIVEIRA (1997). « Sex, size and gonad morphology of silver American eels *Anguilla rostrata* », *Copeia*, 2: 415-420.
- LAIR, S. (2023). *Sexage d'anguille d'Amérique (Anguilla rostrata) par examen histologique des gonades*. Centre québécois sur la santé des animaux sauvages. Rapport non publié.
- LANDRY-MASSICOTTE, L., et J. DUSSUREAULT (2023). *Estimation de l'abondance et caractérisation des anguilles d'Amérique (Anguilla rostrata) provenant des transferts dans la pêche commerciale de l'estuaire du Saint-Laurent en 2022*. Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs, Direction de la gestion de la faune du Bas-Saint-Laurent, 18 p.
- LEFEBVRE, F., et A. CRIVELLI (2012). « Salinity effects on anguillicolosis in Atlantic eels: a natural tool for disease control », *Marine ecology progress series*, 471: 193-202.
- LENTH, R. (2024) R package emmeans: Estimated marginal means, aka Least-Squares Means. R package version 1.10.4, [En ligne], <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>.
- LI, W., S. A. ARNOTT, K. M. JONES, P. E. BRAICOVICH, I. DE BURON, G. WANG et D. J. MARCOGLIESE (2015). « First Record of Paratenic Hosts of the Swimbladder Nematode *Anguillicola crassus* in North America », *J Parasitol*, 101(5): 529-535.
- MAINGUY, J., et R. A. 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): 1436-1453.
- MAPAQ, Sous-ministériat aux pêches et à l'aquaculture commerciales, et MERINOV (2021). *Suivi maricole en soutien à l'industrie mytilicole, pectinicole et ostréicole du Québec de 2008 à 2015: suivi de la température* [données brutes], [En ligne],

https://catalogue.ogsl.ca/dataset/ca-cioos_ed9525e4-4131-4f10-8ad4-c1ce82dd24ce?local=fr.

- MAUNDER, M. N., O. S. HAMEL, H. LEE, K. R. PINER, J. M. COPE, A. E. PUNT, J. N. IANELLI, C. CASTILLO-JORDÁN, M. S. KAPUR et R. D. METHOT (2023). « A review of estimation methods for natural mortality and their performance in the context of fishery stock assessment », *Fisheries Research*, vol. 257.
- MCGRATH, K. J., J. BERNIER, S. AULT, J. D. DUTIL et K. REID (2003). *Differentiating downstream migrating American eels *Anguilla rostrata* from resident eels in the St. Lawrence River*. American fisheries society symposium, 33: 315-327.
- MORAL, R. A., J. HINDE et C. G. B. DEMÉTRIO (2017). « Half-normal plots and overdispersed models in R: the hnp package », *Journal of Statistical Software* [online serial], 81:10.
- 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(12): 1487-1501.
- MOUSSEAU, P. (1979). « Faune ichtyologique des eaux intérieures des îles de la Madeleine », *Naturaliste canadien*, 106: 471-479.
- MRNF (2019). Géobase du réseau hydrographique du Québec (GRHQ), [jeu de données], dans Données Québec, [En ligne], <https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/grhq>.
- NELSON, G. A. (2023). Fishmethods: Fishery Science Methods and Models. R package version 1.12-1, [En ligne], <https://CRAN.R-project.org/package=fishmethods>.
- OGLE, D. H. (2016). *Introductory Fisheries Analyses with R*, CRC Press, Boca Raton, FL, 317 p.
- OGLE, D. H. (2019). Von Bertalanffy Growth Plots II, [En ligne], https://fishr-core-team.github.io/fishR//blog/posts/2020-1-2_vonB_plots_2.
- OGLE, D. H., J. C. DOLL, A. P. WHEELER et A. DINNO (2023). *FSA: Simple Fisheries Stock Assessment Methods*. R package version 0.9.5, [En ligne], <https://CRAN.R-project.org/package=FSA>.
- 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.
- PARZANINI, C., M. T. ARTS, M. POWER, M. ROHTLA, A. B. SKIFTESVIK, J. KOPRIVNIKAR, H. I. BROWMAN, D. MILOTIC et C. M. F. DURIF (2021). « Trophic ecology of the European eel (*Anguilla anguilla*) across different salinity habitats inferred from fatty acid and stable isotope analysis » *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 78(11): 1721-1731.
- PAULY, D., V. CHRISTENSEN, S. GUÉNETTE, T. J. PITCHER, U. R. SUMAILA, C. WALTER, R. WATSON et D. ZELLER (2002). « Towards sustainability in world fisheries », *Nature*, 418 : 689-695.
- PÊCHES ET OCÉANS CANADA (MPO) (2009). *Cadre décisionnel pour les pêches en conformité avec l'approche de précaution*, [En ligne], <https://www.dfo-mpo.gc.ca/reports-rapports/regs/sff-cpd/precaution-back-fiche-fra.htm>.
- PEGG, J., D. ANDREOU, C. F. WILLIAMS et J. R. BRITTON (2015). « Head morphology and piscivory of European eels, *Anguilla anguilla*, predict their probability of infection by the invasive parasitic nematode *Anguillicoloides crassus* », *Freshw Biol*, 60: 1977-1987.

- PELSTER, B. (2023). « Swimbladder function in the European eel *Anguilla Anguilla* », *Fishes*, 8(3): 125.
- POLLOCK, K. H., C. M. JONES et T. L. BROWN (1994). *Angler survey methods and their applications in fisheries management*. American Fisheries Society Special Publication, 25, Bethesda, Maryland, 371 p.
- PRATT, T. C., R. G. BRADFORD, D. K. CAIRNS, M. CASTONGUAY, G. CHAPUT, K. D. CLARKE et A. MATHERS (2014). « Recovery Potential Assessment for the American Eel (*Anguilla rostrata*) in eastern Canada: functional description of habitat », *DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. doc.* 2013/132. v + 49 p.
- PRATT, T. C., L. M. O'CONNOR, J. A. STACEY, D. R. STANLEY, A. MATHERS, L. E. JOHNSON, S. M. REID, G. VERREAULT et J. PEARCE (2019). « Pattern of *Anguillicoloides crassus* infestation in the St. Lawrence River watershed », *Journal of Great Lakes Research*, 45 (5): 991-997.
- RAD, F. (2013). « Preliminary investigation on morphometric and biometric characteristics of female silver and yellow, *anguilla anguilla*, from eastern mediterranean (göksu delta/turkey) », *Journal of FisheriesSciences.com*, 7(3): 253-265.
- R CORE TEAM (2023). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, [En ligne], <https://www.R-project.org/>.
- RICHARD, S. (2008). *Portrait de la pêche à l'anguille d'Amérique aux îles de la Madeleine*. Document non publié.
- 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: 77.
- ROUSSEEUW, P.J. (1987). « Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis », *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 20 : 53-65.
- SJÖBERG, N. B., H. WICKSTRÖM, A. Asp et E. PETERSSON (2017). « Migration of eels tagged in the Baltic Sea and Lake Mälaren – in the context of the stocking question », *Ecol Freshw Fish*, 26: 517-532.
- SMITH, M. W., A. Y. THEN, C. WOR, G. RALPH, K. H. POLLOCK et J. M. HOENIG (2012). « Recommendations for catch-curve analysis », *North American Journal of Fisheries Management*, 32: 956-967.
- SPRUGEL, D.G. (1983). « Correcting for bias in log-transformed allometric equations », *Ecology*, 64 : 209-210.
- SZEPANNEK G. (2018). « ClustMixType: User-Friendly Clustering of Mixed-Type Data in R », *The R Journal*, 200-208. doi:10.32614/RJ-2018-048, [En ligne], <https://doi.org/10.32614/RJ-2018-048>.
- TAMBETS, M., E. KÄRGENBERG, A. JÄRVALT, F. ØKLAND, M. L. KRISTENSEN, A. KOED et B. PRIIT (2021). « Migrating silver eels return from the sea to the river of origin after a false start », *Biol. Lett*, 17.
- TARDIF, R. (2012). *Procédure de préparation et de montage des otolithes d'anguille*. Version 2. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'expertise Faune-Forêts-Territoire, Direction générale du Bas-Saint-Laurent, 23 p.

- TESCH, F.W. (1977). *The eel: biology and management of anguillid eels*. Chapman & Hall, London
- THIBAUT, I., J. DODSON, F. CARON, W.-N. TZENG, Y. IIZUKA et J.-C. SHIAO (2007). « Facultative catadromy in American eels: Testing the conditional strategy hypothesis », *Marine Ecology Progress Series*, 344: 219-229.
- UNGER, P., J. SCHMIDT, M. DOROW, S. MÖLLER et H. W. PALM (2024). « Reaching the steady state: 30 years of *Anguillicola crassus* infection of European eel, *Anguilla anguilla* L., in Northern Germany », *Parasitology*, 151(3): 300-308.
- VENABLES, W. N. et B. D. RIPLEY (2002). *Modern Applied Statistics with S*. Fourth Edition. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0.
- VERREAULT, G., M. MINGELBIER et P. DUMONT (2012). « Spawning migration of American eel *Anguilla rostrata* from pristine (1843–1872) to contemporary (1963-1990) periods in the St. Lawrence Estuary, Canada », *Journal of Fish Biology*, 81: 387-407.
- VERREAULT, G. (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.
- VLADYKOV, V.D. (1966). « Remarks on the American eel (*Anguilla rostrata*). Sizes of elvers entering streams; the relative abundance of adults males and females; and present economic importance of eels in North America », *Verh. Int. Verein. Limnol.* 16: 1007-1017.
- XAVIER, R., 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 : 77.
- WALTERS, C. J., et J.-J. MAGUIRE (1996). « Lessons for stock assessment from the Northern cod collapse », *Rev. Fish Biol. Fish*, 6: 125-137.
- WARSHAFSKY, Z.T., T. D. TUCKEY, W.K. VOGELBEIN, R.J. LATOUR et A.R. WARGO (2019). « Temporal, spatial, and biological variation of nematode epidemiology in American eels », *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 76(10): 1808-1818.

Annexes

Annexe 1 : Lettre et sondage adressés aux pêcheurs à la ligne dormante en début de saison

Le Date

«TAP_APPEL_ETIQ» «Prénom_pêcheur» «Nom_pêcheur»

«CLI_ADRES»

«CLI_VILLE» («CLI_PROV») «CLI_CODEP»

«TAP_APPEL_ETIQ»,

Cette année, soit lors de la saison de pêche 2021, un projet de caractérisation de la population d'anguilles d'Amérique des îles de la Madeleine et de la pêcherie qu'elle soutient sera mené par le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) et le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ). Plus particulièrement, ce projet vise à :

- Connaître l'importance de la pêche à l'anguille aux îles de la Madeleine;
- Estimer l'état de santé du stock d'anguille des îles de la Madeleine;
- Connaître l'effort de pêche annuel;
- Estimer la biomasse capturée annuellement;
- Suivre l'évolution du nombre de captures par unité d'effort;
- Faire une veille sur l'arrivée de parasites et autres maladies.

Le tout dans l'objectif principal de maintenir une saine gestion de la ressource anguille aux îles de la Madeleine afin d'assurer la pérennité de la pêcherie. La collaboration des pêcheurs d'anguille est indispensable à la réalisation de ce projet.

Ainsi, nous vous demandons de remplir les informations demandées ci-dessous et de nous retourner ce formulaire à la fin de votre saison de pêche. À cette fin, nous vous ferons parvenir un rappel et une enveloppe affranchie à la mi-août.

Merci de votre précieuse collaboration et bonne pêche,

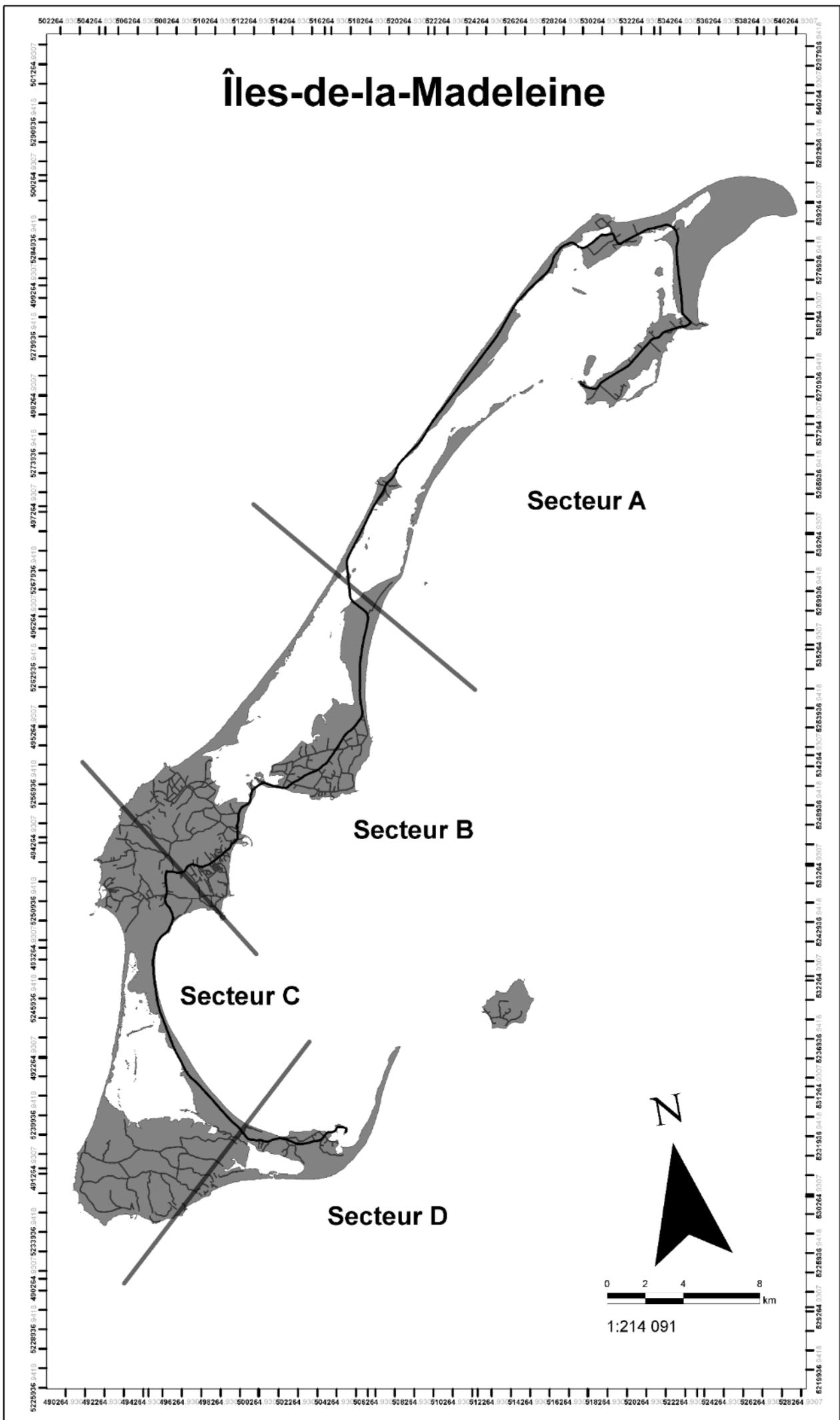
Signature

Avez-vous exploité votre permis de pêche commerciale en 2021 : Oui Non

Nombre de lignes dormantes utilisées en 2021: 1 2 3 4

Pour chaque engin utilisé :

Ligne n° 1	Ligne n° 3
Nombre d'hameçons : _____	Nombre d'hameçons : _____
Secteur de pêche (voir verso) : <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D	Secteur de pêche (voir verso) : <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D
Nombre total de jours de pêche : _____	Nombre total de jours de pêche : _____
Nombre total d'anguilles capturées : _____	Nombre total d'anguilles capturées : _____
Ligne n° 2	Ligne n° 4
Nombre d'hameçons : _____	Nombre d'hameçons : _____
Secteur de pêche (voir verso) : <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D	Secteur de pêche (voir verso) : <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D
Nombre total de jours de pêche : _____	Nombre total de jours de pêche : _____
Nombre total d'anguilles capturées : _____	Nombre total d'anguilles capturées : _____



Si vous le désirez, vous pouvez nous indiquer l'emplacement précis de votre site de pêche principal en l'encerclant sur la carte ci-dessus.

Annexe 2 : Lettre adressée aux pêcheurs à la ligne dormante pour le retour des sondages en fin de saison

Le Date

«TAP_APPEL_ETIQ» «Prénom_pêcheur» «Nom_pêcheur»
 «CLI_ADRES»
 «CLI_VILLE» («CLI_PROV») «CLI_CODEP»
 «TAP_APPEL_ETIQ»,

Au début de la saison 2021 de pêche à la ligne dormante à l'anguille, nous vous avons fait parvenir le sondage ci-dessous. Ce sondage s'intègre dans un projet de caractérisation de la population d'anguilles d'Amérique des îles de la Madeleine et de la pêcherie qu'elle soutient. Il est mené par le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) et le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ). Plus particulièrement, ce projet vise à :

- Connaître l'importance de la pêche à l'anguille aux îles de la Madeleine;
- Estimer l'état de santé du stock d'anguille des îles de la Madeleine;
- Connaître l'effort de pêche annuel;
- Estimer la biomasse capturée annuellement;
- Suivre l'évolution du nombre de captures par unité d'effort;
- Faire une veille sur l'arrivée de parasites et autres maladies.

Le tout dans l'objectif principal de maintenir une saine gestion de la ressource anguille aux îles de la Madeleine afin d'assurer la pérennité de la pêcherie. La collaboration des pêcheurs d'anguille est indispensable à la réalisation de ce projet.

Ainsi, nous vous demandons de nous retourner votre formulaire dûment rempli à l'aide de l'enveloppe affranchie fournie. N'oubliez pas qu'il est important de nous retourner votre formulaire même si vous n'avez pas pêché en 2021.

Merci de votre précieuse collaboration,

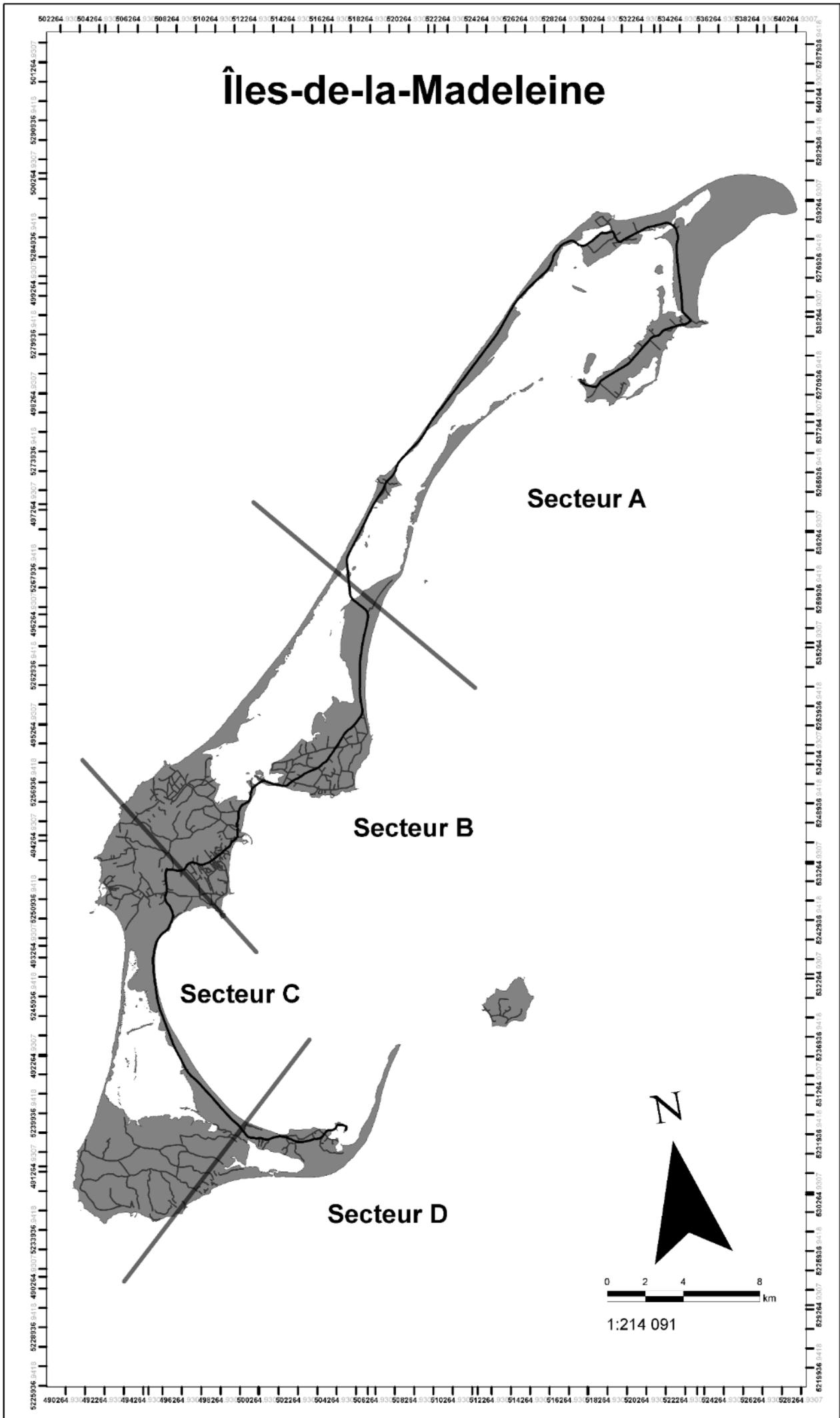
Signature

Avez-vous exploité votre permis de pêche commerciale en 2021 : Oui Non

Nombre de lignes dormantes utilisées en 2021: 1 2 3 4

Pour chaque engin utilisé :

Ligne n° 1	Ligne n° 3
Nombre d'hameçons : _____	Nombre d'hameçons : _____
Secteur de pêche (voir verso) : <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D	Secteur de pêche (voir verso) : <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D
Nombre total de jours de pêche : _____	Nombre total de jours de pêche : _____
Nombre total d'anguilles capturées : _____	Nombre total d'anguilles capturées : _____
Ligne n° 2	Ligne n° 4
Nombre d'hameçons : _____	Nombre d'hameçons : _____
Secteur de pêche (voir verso) : <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D	Secteur de pêche (voir verso) : <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D
Nombre total de jours de pêche : _____	Nombre total de jours de pêche : _____
Nombre total d'anguilles capturées : _____	Nombre total d'anguilles capturées : _____



Si vous le désirez, vous pouvez nous indiquer l'emplacement précis de votre site de pêche principal en l'encerclant sur la carte ci-dessus.

Annexe 3 : Lettre et sondage adressés aux pêcheurs aux verveux en début de saison

Le Date

«TAP_APPEL_ETIQ» «Prénom_pêcheur» «Nom_pêcheur»

«CLI_ADRES»

«CLI_VILLE» («CLI_PROV») «CLI_CODEP»

«TAP_APPEL_ETIQ»,

Cette année, soit lors de la saison de pêche 2021, un projet de caractérisation de la population d'anguilles d'Amérique des îles de la Madeleine et de la pêcherie qu'elle soutient sera mené par le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) et le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ). Plus particulièrement, ce projet vise à :

- Connaître l'importance de la pêche à l'anguille aux îles de la Madeleine;
- Estimer l'état de santé du stock d'anguille des îles de la Madeleine;
- Connaître l'effort de pêche annuel;
- Estimer la biomasse capturée annuellement;
- Suivre l'évolution du nombre de captures par unité d'effort;
- Faire une veille sur l'arrivée de parasites et autres maladies.

Le tout dans l'objectif principal de maintenir une saine gestion de la ressource anguille aux îles de la Madeleine afin d'assurer la pérennité de la pêcherie. La collaboration des pêcheurs d'anguille est indispensable à la réalisation de ce projet.

Ainsi, nous vous demandons de remplir les informations demandées ci-dessous et de nous retourner ce formulaire à la fin de votre saison de pêche à l'aide de l'enveloppe affranchie fournie.

Merci de votre précieuse collaboration et bonne pêche.

Signature

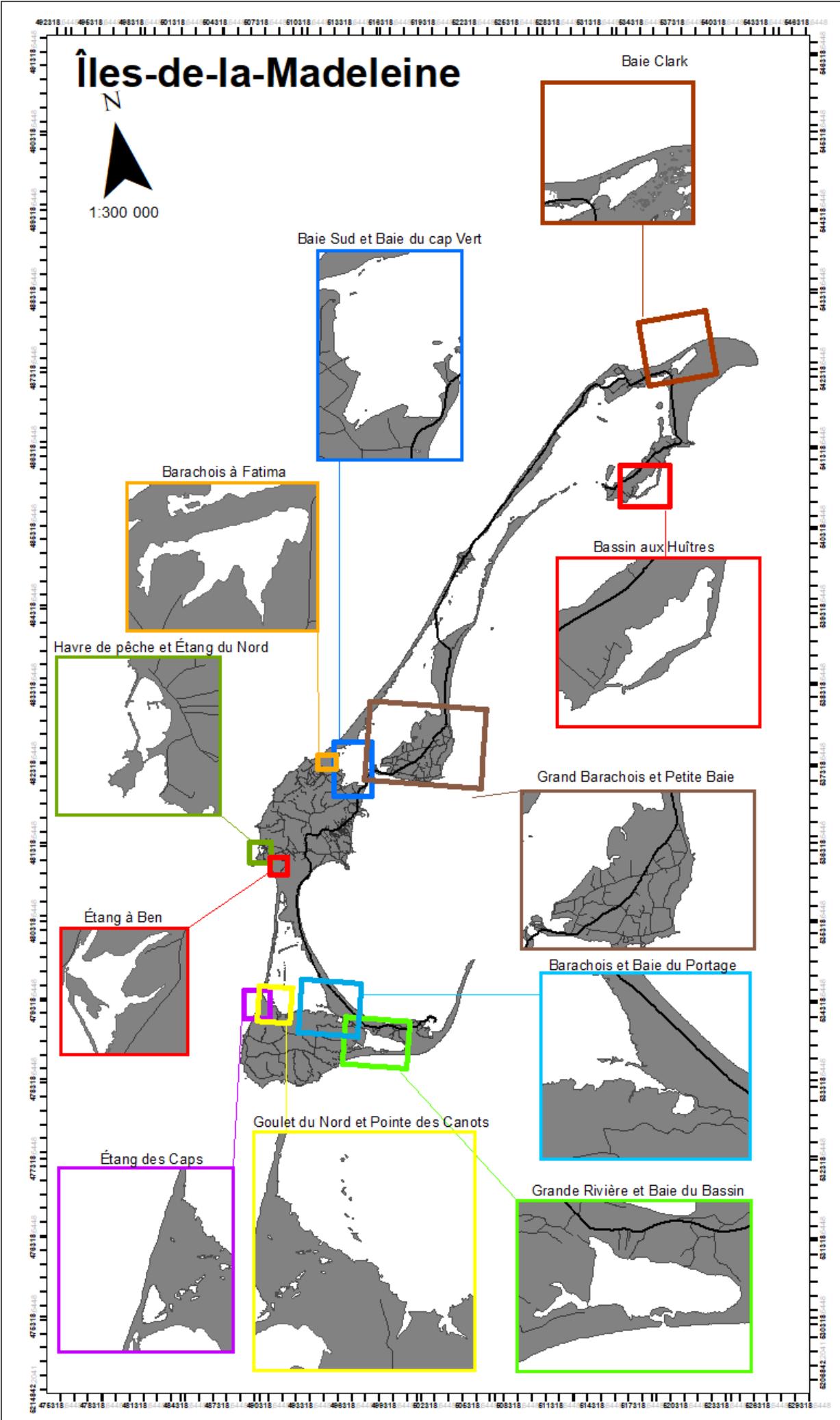
Avez-vous exploité votre permis de pêche commerciale en 2021 : Oui Non

Nombre de verveux ou de trappes utilisés en 2021 : 1 2

Pour chaque engin (verveux ou trappe) utilisé :

Engin n° 1	Engin n° 2
Secteur de pêche (voir verso) : <input type="checkbox"/> Baie Clark <input type="checkbox"/> Bassin aux Huîtres <input type="checkbox"/> Grand Barachois et Petite Baie <input type="checkbox"/> Baie Sud et baie du Cap-Vert <input type="checkbox"/> Havre de pêche et étang du Nord <input type="checkbox"/> Étang à Ben <input type="checkbox"/> Barachois de Fatima <input type="checkbox"/> Goulet du Nord et pointe des Canots <input type="checkbox"/> Étang des Caps <input type="checkbox"/> Barachois et baie du Portage <input type="checkbox"/> Grande Rivière et baie du Bassin	Secteur de pêche (voir verso) : <input type="checkbox"/> Baie Clark <input type="checkbox"/> Bassin aux Huîtres <input type="checkbox"/> Grand Barachois et Petite Baie <input type="checkbox"/> Baie Sud et baie du Cap-Vert <input type="checkbox"/> Havre de pêche et étang du Nord <input type="checkbox"/> Étang à Ben <input type="checkbox"/> Barachois de Fatima <input type="checkbox"/> Goulet du Nord et pointe des Canots <input type="checkbox"/> Étang des Caps <input type="checkbox"/> Barachois et baie du Portage <input type="checkbox"/> Grande Rivière et baie du Bassin
Nombre total de jours où l'engin était à l'eau : _____	Nombre total de jours où l'engin était à l'eau : _____
Nombre total de vidages : _____	Nombre total de vidages : _____
Nombre total d'anguilles capturées : _____	Nombre total d'anguilles capturées : _____

Commentaires ou éléments que vous aimeriez nous transmettre :



Si vous le désirez, vous pouvez nous indiquer l'emplacement précis de votre site de pêche principal en faisant un « X » sur la carte ci-dessus.

Annexe 4 : Lettre adressée aux pêcheurs aux verveux pour le retour des sondages en fin de saison

Le 10 février 2025

«TAP_APPEL_ETIQ» «Prénom_pêcheur» «Nom_pêcheur»

«CLI_ADRES»

«CLI_VILLE» («CLI_PROV») «CLI_CODEP»

«TAP_APPEL_ETIQ»,

Au début de la saison 2021 de pêche aux verveux à l'anguille, nous vous avons fait parvenir le sondage ci-dessous. Ce sondage s'intègre dans un projet de caractérisation de la population d'anguilles d'Amérique des îles de la Madeleine et de la pêcherie qu'elle soutient. Il est mené par le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) et le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ). Plus particulièrement, ce projet vise à :

- Connaître l'importance de la pêche à l'anguille aux îles de la Madeleine;
- Estimer l'état de santé du stock d'anguille des îles de la Madeleine;
- Connaître l'effort de pêche annuel;
- Estimer la biomasse capturée annuellement;
- Suivre l'évolution du nombre de captures par unité d'effort;
- Faire une veille sur l'arrivée de parasites et autres maladies.

Le tout dans l'objectif principal de maintenir une saine gestion de la ressource anguille aux îles de la Madeleine afin d'assurer la pérennité de la pêcherie. La collaboration des pêcheurs d'anguille est indispensable à la réalisation de ce projet.

Ainsi, nous vous demandons de nous retourner votre formulaire dûment rempli à l'aide de l'enveloppe affranchie fournie. N'oubliez pas qu'il est important de nous retourner votre formulaire même si vous n'avez pas pêché en 2021.

Merci de votre précieuse collaboration.

Signature

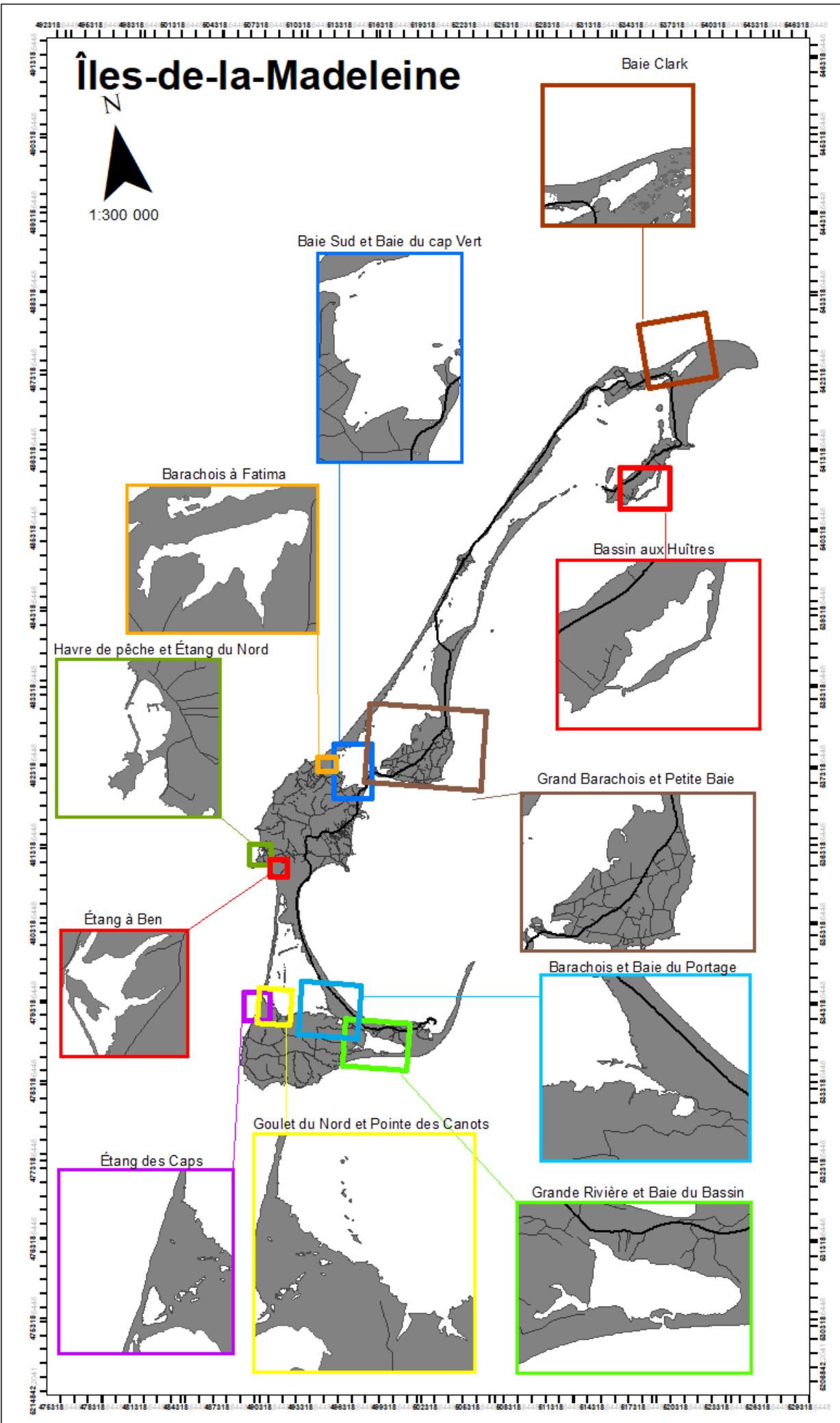
Avez-vous exploité votre permis de pêche commerciale en 2021 : Oui Non

Nombre de verveux ou de trappes utilisés en 2021 : 1 2

Pour chaque engin (verveux ou trappe) utilisé :

Engin n° 1	Engin n° 2
Secteur de pêche (voir verso) : <input type="checkbox"/> Baie Clark <input type="checkbox"/> Bassin aux Huîtres <input type="checkbox"/> Grand Barachois et Petite Baie <input type="checkbox"/> Baie Sud et baie du Cap Vert <input type="checkbox"/> Havre de pêche et étang du Nord <input type="checkbox"/> Étang à Ben <input type="checkbox"/> Barachois de Fatima <input type="checkbox"/> Goulet du Nord et pointe des Canots <input type="checkbox"/> Étang des Caps <input type="checkbox"/> Barachois et baie du Portage <input type="checkbox"/> Grande Rivière et baie du Bassin	Secteur de pêche (voir verso) : <input type="checkbox"/> Baie Clark <input type="checkbox"/> Bassin aux Huîtres <input type="checkbox"/> Grand Barachois et Petite Baie <input type="checkbox"/> Baie Sud et baie du Cap-Vert <input type="checkbox"/> Havre de pêche et étang du Nord <input type="checkbox"/> Étang à Ben <input type="checkbox"/> Barachois de Fatima <input type="checkbox"/> Goulet du Nord et pointe des Canots <input type="checkbox"/> Étang des Caps <input type="checkbox"/> Barachois et baie du Portage <input type="checkbox"/> Grande Rivière et baie du Bassin
Nombre total de jours où l'engin était à l'eau : _____	Nombre total de jours où l'engin était à l'eau : _____
Nombre total de vidages : _____	Nombre total de vidages : _____
Nombre total d'anguilles capturées : _____	Nombre total d'anguilles capturées : _____

Commentaires ou éléments que vous aimeriez nous transmettre :



Si vous le désirez, vous pouvez nous indiquer l'emplacement précis de votre site de pêche principal en faisant un « X » sur la carte ci-dessus.

Annexe 5 : Extrait du carnet de pêche remis aux pêcheurs repères (verveux)

**Pêche à l'anguille
d'Amérique aux
îles de la Madeleine**



Carnet du pêcheur

2021

CE CARNET DU PÊCHEUR APPARTIENT À :

Nom : _____

Adresse : _____

Tél. résidence : _____

Tél. bureau : _____

Courriel : _____

Expérience de pêche à l'anguille : _____ an(s)

◀))))))))))))))))))))))▶

SI CE CARNET EST RETROUVÉ :

Prière de le retourner à son **propriétaire** ou de communiquer avec :

Nom chargé projet

107-125, chemin du Parc
Cap-aux-Meules (Québec) G4T 1B3

Tél. : 418 986-4795, poste 3247

Pêcheurs,
Pêcheuses,

Cette année, soit lors de la saison de pêche 2021, un projet de caractérisation de la population d'anguilles d'Amérique des îles de la Madeleine et de la pêcherie qu'elle soutient sera mené par le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) et le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) avec la collaboration de MERINOV. Plus particulièrement, ce projet vise à :

- Connaître l'importance de la pêche à l'anguille aux îles de la Madeleine;
- Estimer l'état de santé du stock d'anguille des îles de la Madeleine;
- Connaître l'effort de pêche annuel;
- Estimer la biomasse capturée annuellement;
- Suivre l'évolution du nombre de captures par unité d'effort;
- Faire une veille sur l'arrivée de parasites et autres maladies.

Le tout dans l'objectif principal de maintenir une saine gestion de la ressource anguille aux îles de la Madeleine afin d'assurer la pérennité de la pêcherie. La collaboration des pêcheurs d'anguille est indispensable à la réalisation de ce projet.

Si vous tenez ce carnet entre les mains, c'est que vous avez accepté de participer au projet à titre de pêcheur repère. Les données que vous récolterez dans ce carnet sont d'une grande valeur pour augmenter nos connaissances sur l'anguille d'Amérique aux îles de la Madeleine.

Merci de votre précieuse collaboration et bonne pêche !

ANGUILLE ARGENTÉE

Dans ce carnet vous serez appelé, dans la mesure du possible, à différencier les anguilles jaunes des anguilles argentées. Après une période de croissance en eau douce ou en eau salée d'une durée moyenne d'environ 12 ans pour ce qui est de la population des îles de la Madeleine, les anguilles subissent des modifications morphologiques et physiologiques qui les préparent en vue de leur migration vers les sites de fraie situés dans la mer des Sargasses. Les anguilles qui ont terminé cette métamorphose et qui sont prêtes à entreprendre leur migration sont appelées anguilles argentées. On les différencie des anguilles immatures, qu'on appelle anguilles jaunes, grâce aux caractéristiques suivantes :

L'anguille argentée :

- Couleur grise ou argent avec le ventre blanc ou crème;
- Anus refermé (ils ne se nourrissent plus à partir de ce stade);
- Yeux plus gros que ceux des anguilles immatures;
- Grande taille.

Anguille jaune



Anguille argentée



Photo : Chris Loeb sack et MFFP

INSTRUCTIONS POUR LES PAGES 5 À 37

Utilisez un crayon au plomb HB pour remplir ce carnet.

Il est très important de remplir le carnet chaque fois que vous allez vider un de vos engins de pêche, même lorsqu'aucune anguille n'est capturée (indiquez alors 0 anguille).

Information sur les engins : entrez les informations demandées pour chacun verveux ou chaque trappe que vous utiliserez en 2021. Pour déterminer le secteur de pêche, consultez la carte au centre de ce carnet.

Lors de pêche :

- Il est important de ne pas oublier d'inscrire la date.
- Le nombre de nuits de pêche correspond au nombre de nuits que l'engin a été en fonction depuis le dernier vidage.
- Indiquez le nombre total d'anguilles pour chaque engin.
- Si vous avez capturé des anguilles argentées (voir définition à la page suivante), indiquez le nombre.
- Si un seul engin a été vidé, laissez vide la section de l'engin non pêché.

En cours de saison, pour toutes questions entourant le projet ou l'utilisation de ce carnet, vous pouvez contacter la responsable de projet à MERINOV :

Nom chargé de projet au 418 986-4795, poste 3247

INFORMATION SUR LES ENGIN

Engin #1

Type d'engin : Verveux Trappe

Longueur de guideau (leader) : _____

Secteur de pêche : _____

Date de mise à l'eau : _____

Date de retrait : _____

Est-ce que l'engin a été retiré de l'eau entre ces deux dates : _____

Engin #2

Type d'engin : Verveux Trappe

Longueur de guideau (leader) : _____

Secteur de pêche : _____

Date de mise à l'eau : _____

Date de retrait : _____

Est-ce que l'engin a été retiré de l'eau entre ces deux dates : _____

Sortie de pêche

Date : _____

Engin #1

Nombre de nuits de pêche : _____

Nombre total d'anguilles (jaunes + argentées) : _____

Nombre d'anguilles argentées : _____

Engin #2

Nombre de nuit de pêche : _____

Nombre total d'anguilles (jaunes + argentées) : _____

Nombre d'anguilles argentées : _____

Commentaire : _____

Nombre d'anguilles vendues à MERINOV : _____

Voir p. 3 pour les instructions.

Sortie de pêche

Date : _____

Engin #1

Nombre de nuits de pêche : _____

Nombre total d'anguilles (jaunes + argentées) : _____

Nombre d'anguilles argentées : _____

Engin #2

Nombre de nuit de pêche : _____

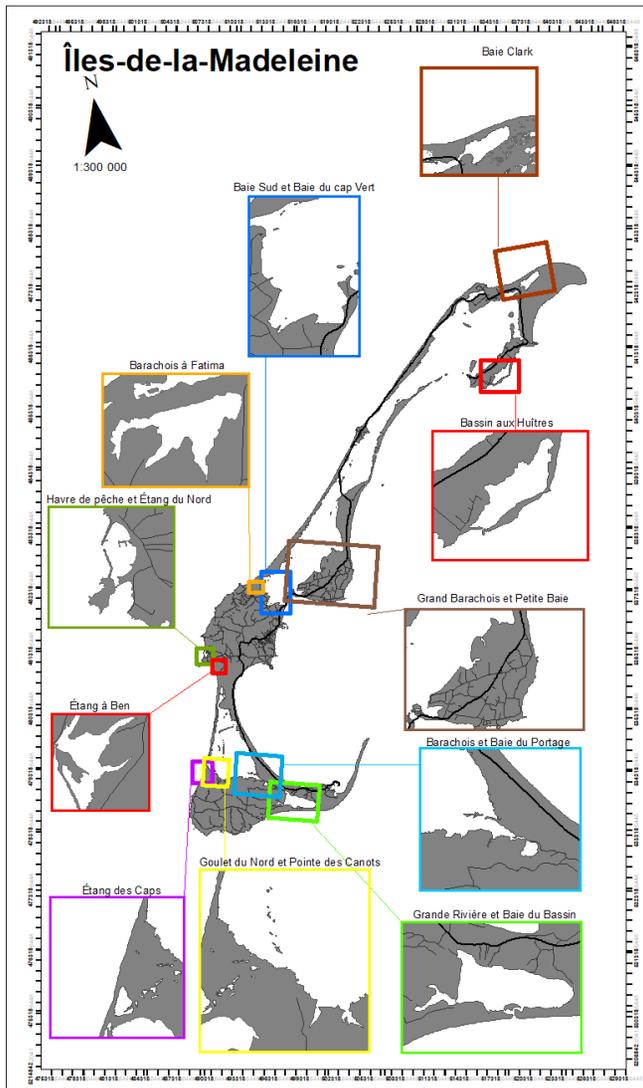
Nombre total d'anguilles (jaunes + argentées) : _____

Nombre d'anguilles argentées : _____

Commentaire : _____

Nombre d'anguilles vendues à MERINOV : _____

Voir p. 3 pour les instructions.



Si vous avez rempli toutes les pages de votre carnet, contactez MERINOV aux coordonnées ci-dessous pour obtenir un deuxième carnet et continuer de compiler vos statistiques de pêche.

Nom chargé de projet

107-125, chemin du Parc
Cap-aux-Meules (Québec) G4T 1B3

Tél. : 418 986-4795, poste 3247

N'oubliez pas de remettre votre carnet à la fin de la saison. Ceux-ci peuvent être remis à MERINOV ou au bureau du MAPAQ à Cap-aux-Meules.

Merci de votre collaboration.

Annexe 6 : Protocole de prise de mesures au laboratoire

Ce protocole présente les mesures et les échantillons à récolter sur chaque anguille. Il est fortement inspiré d'un protocole produit par Catherine Couillard et Guy Verreault. Il a été bonifié par Johanne Dussureault, Valérie Poirier, Francine Aucoin et Antoine Richard à la suite d'une journée de formation dans les laboratoires de MERINOV le 10 octobre 2019.

Liste de matériel

Euthanasie

- Solution d'huile de clou de girofle
- Sac de jute
- Attache autobloquante (*tie wrap*)
- Poubelle avec couvercle contenant plus de 30 L
- Chaudière rentrant dans la poubelle
- 2 briques ou autre poids

Mesures morphologiques et échantillonnage

- Formulaire de prise de données
- Gants de nitrile
- Détecteur d'étiquette à transpondeur passif intégré (PIT tag, MFFP)
- Balance à plateau électronique ± 1 g
- Bac pour peser (p. ex., bac à vaisselle)
- Planche à mesurer de 1 m \pm 1mm
- Vernier électronique
- Ruban à mesurer à couture
- Caméra
- Scalpel et lames
- Ciseau de dissection
- Pince de labo

- Binoculaire
- Boîte de Pétri
- Gros ciseaux
- Fioles pour parasite 25 ml
- Étiquettes
- Éthanol 95 %
- Pince à embout de céramique
- Marteau
- Couteau
- Planche à découper
- Papier absorbant (bleu)
- Enveloppes (pour otolithes)
- Étiquettes pour enveloppes
- Crayon de plomb
- Microtube de 0,5 ml (otolithes)
- Crayon feutre permanent

Analyse des contaminants

- Papier aluminium
- Petit sac à fermeture à glissière à pression (Ziploc)
- Feuille de papier
- Agrafeuse

Protocole

Euthanasie

Le protocole présente les étapes, considérant que l'euthanasie se fera par balnéation dans une solution d'huile de clou de girofle. Le contractant peut choisir la méthode d'euthanasie qu'il considère comme la plus adéquate. La méthode retenue devra être rapide et ne pas causer de souffrances indues aux anguilles. Bien entendu, la méthode retenue ne doit pas affecter la prise de données ou d'échantillons. Si le contractant désire remettre la chair des anguilles à un organisme de charité après le laboratoire (cette distribution devrait être coordonnée avec le bureau des agents de protection de la faune de Cap-aux-Meules), la solution de clou de girofle ne peut être utilisée.

Étapes pour une euthanasie au clou de girofle :

- a) Les anguilles peuvent être conservées en chambre froide quelques heures pour ralentir leur métabolisme, ce qui facilitera les manipulations.
- b) Dans la poubelle, mélanger 30 litres d'eau et 36 ml de la solution d'huile de clou de girofle³.
- c) Placer le nombre d'anguilles à traiter dans la journée dans un sac de jute et refermer le sac à l'aide d'une attache autobloquante.
- d) Placer le sac contenant les anguilles dans la solution de clou de girofle et refermer le couvercle. Un poids, comme une chaudière contenant deux briques, peut être mis sur les anguilles pour s'assurer qu'elles sont immergées dans le liquide. Laisser agir quelques minutes.
- e) Ajouter 36 ml de la solution d'huile de clou de girofle et bien mélanger⁴. Le temps nécessaire pour euthanasier les anguilles devrait être d'environ 15 minutes. Retirer les anguilles de la poubelle. Attention de ne pas laisser les anguilles trop longtemps dans la solution, sinon l'œil risque de s'opacifier.

Prise de photo

Essuyer le mucus et prendre une photo permettant de voir la coloration du côté de l'anguille. Afin que la photo puisse être reliée à la bonne anguille, placer l'enveloppe identifiée avec l'identifiant de l'anguille qui servira à mettre les otolithes de manière à ce qu'elle soit dans le cadre de la photo. S'assurer que le numéro est bien lisible sur la photo. Enregistrer la photo avec comme nom de fichier le numéro d'identification de l'anguille.

Prise de poids (± 1 g)

Mesure de la longueur (± 1 mm)

Vérification de la présence d'étiquettes PIT

Scanner le dos du poisson du bout du nez au bout de la queue.

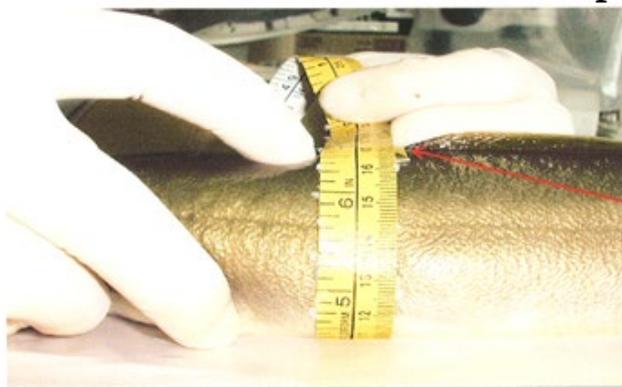
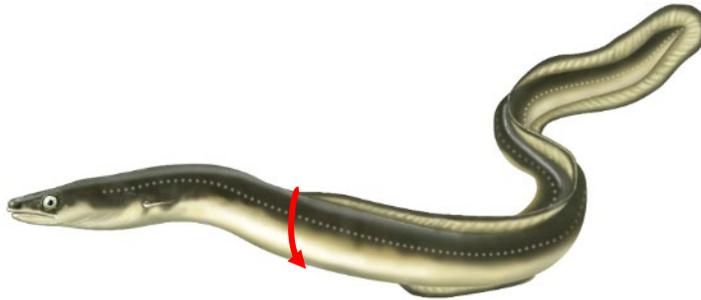
3. La solution d'huile de clou de girofle est obtenue en mélangeant 25 ml d'huile essentielle de clou de girofle et 225 ml d'éthanol. Cette solution doit être conservée dans un contenant opaque.

Ce premier mélange vise à anesthésier les anguilles afin de rendre l'euthanasie la moins douloureuse possible.

4. L'ajout de cette dose vise à atteindre une concentration létale afin d'euthanasier les anguilles. Il est possible que cette dose ne soit pas suffisante. Il est difficile de prévoir la dose nécessaire pour euthanasier les anguilles, puisque cela dépend de la température de l'eau et de la taille des anguilles. Si nécessaire, ajouter de la solution d'huile de clou de girofle par incrément de 36 ml. Noter ensuite la quantité de solution d'huile de clou de girofle nécessaire à ajouter au bain d'anesthésie pour obtenir une euthanasie rapide. Lors des euthanasies subséquentes, ajouter directement cette quantité à l'étape e).

Mesure de la circonférence du corps

Mesurer la circonférence du corps au niveau de l'insertion de la nageoire dorsale avec un ruban à mesurer (± 1 mm) (N. B. : ne pas compresser le corps).

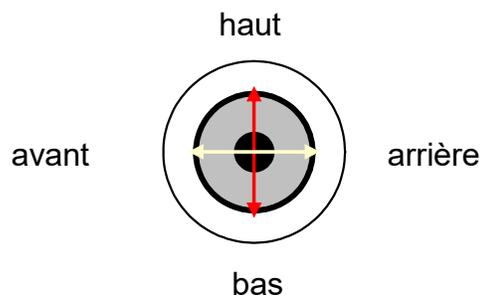


Insertion de la dorsale

Mesure horizontale et verticale de l'œil gauche (± 1 mm)

La mesure exclut la zone de conjonctive non pigmentée (à la jonction avec le tour pigmenté de l'œil et la marge interne de zone non pigmentée) (Acou et coll., 2005) (voir photo).

Diamètre vertical en rouge et horizontal en jaune :



Diamètre horizontal de l'œil gauche

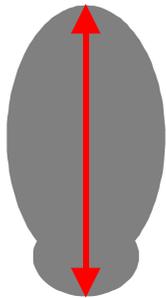


Longueur de la pectorale gauche

Mesurer la longueur de la nageoire pectorale gauche avec un vernier électronique.

Prendre la plus longue distance entre l'origine de la nageoire (au centre de sa base au niveau du corps) et son extrémité (la pointe la plus longue) en tirant une ligne perpendiculaire avec le corps (voir photo).

Longueur de la pectorale gauche



corps



Couleur de la pectorale

Déterminer la couleur de la nageoire pectorale:

1. Transparente : couleur jaunâtre et absence de teinte métallique (inscrire « transparent »).
2. Marge (bordure) de la nageoire partiellement mélanisée (noire) (inscrire « intermédiaire »).
3. Marge (bordure) de la nageoire entièrement mélanisée (noire) (inscrire « mélanisée »).

Nageoire pectorale:



1. Transparente



2. Partiellement mélanisée



3. Entièrement mélanisée

Visibilité de la ligne latérale

Déterminer s'il y a présence de corpuscules noirs sur la ligne latérale du côté gauche :

1. Aucun corpuscule noir (inscrire « non »).
2. Présence de corpuscules noirs (inscrire « oui »).



Corpuscules noirs le long de la ligne latérale.

Couleur des flancs

Déterminer visuellement la couleur des flancs :

1. Jaune ou vert (inscrire « vert »).
2. Autre (inscrire « autre »).



Couleur du ventre

Cette donnée est prise seulement si la couleur des flancs n'est pas jaune ou vert. Si les flancs sont jaunes ou verts, inscrire NA dans cette colonne. Autrement, déterminer la couleur du ventre :

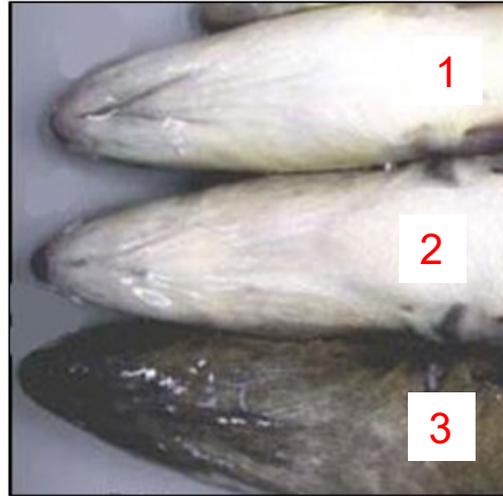
1. Blanc à reflets argentés (inscrire « argent »).
2. Entièrement foncé/pigmenté (inscrire « pigmenté »).
3. Autre (inscrire « autre »).



Couleur du menton

Déterminer la coloration du menton :

1. Blanc ou gris (bout foncé de <0,5 cm) (inscrire « 1 »).
2. Bout du menton foncé (0,5 à 2 cm) (inscrire « 2 »).
3. Tout le menton est foncé (>2 cm) (inscrire « 3 »).



Déterminer si l'anus est ouvert ou fermé

Vérifier s'il y a présence d'anomalie externe

Selon le cas, inscrire :

- « ulcère », si l'on observe des lésions cutanées circulaires avec centre rouge;
- « blessure », si l'on observe des blessures cutanées;
- « malformation », si l'on observe une lordose (dos creux), une xypnose (colonne vertébrale en S sur le plan dorso-ventral) ou une scoliose (colonne vertébrale en S sur le plan latéral);
- « autre », pour tout autre type d'anomalie;
- « aucune », si aucune anomalie n'est observée.

Prendre une photo de chaque anomalie observée. Placer une règle à titre d'échelle sur la photo.

Si le poisson est retenu pour la prise d'échantillon pour l'analyse des contaminants, réaliser le prélèvement en respectant le protocole prévu.

Déterminer le sexe

Les gonades peuvent être prélevées, placées dans une boîte de Pétri avec de l'éthanol et observées au microscope binoculaire pour faciliter le sexage. Les gonades femelles ont un aspect globuleux, alors que les gonades mâles sont filamenteuses. Inscrire « F » ou « M ». Inscrire « NA » si c'est impossible à déterminer. En cas de doute, prendre une photo.

Peser les gonades (± 1 g).

Peser le foie (± 1 g).

Déterminer si l'estomac est vide ou non.

S'il est vide, inscrire « oui », autrement inscrire « non ». Si les proies peuvent être identifiées, le noter dans les commentaires.

Déterminer s'il y a présence de parasites dans la cavité abdominale.

Inscrire « oui » ou « non ». Inscrire « NA » si la donnée n'a pu être obtenue.

Doivent être conservés dans une fiole remplie d'éthanol 95 % identifiée avec l'identifiant de l'anguille.

Prélever la vessie natatoire et déterminer s'il y a présence d'*A. crassus*.

Inscrire « oui » ou « non ».

S'il y a présence d'*A. crassus*, ils doivent être dénombrés. En cas de doute sur l'identification, conserver un spécimen dans une fiole remplie d'éthanol 95 % identifiée avec l'identifiant de l'anguille. Les parasites abdominaux et *A. crassus* peuvent être mis dans la même fiole.

Prélever les deux otolithes.

Prélever les deux otolithes en utilisant la technique détaillée dans la section ci-dessous. Les otolithes doivent être manipulés avec les pinces avec embout de céramique.

Bien nettoyer les otolithes à l'aide du papier absorbant. S'assurer qu'ils sont bien secs et bien propres.

Placer les otolithes dans un microtube identifié avec le numéro d'identification de l'anguille. Placer le tube dans une enveloppe, elle-même identifiée avec le numéro de l'anguille. Conserver les enveloppes à l'abri de la lumière.

Méthodes pour prélever les otolithes



