



État référence de la faune aquatique et de ses habitats dans le secteur du pont de l'île d'Orléans : rapport final

Première partie — Description physique et
inventaires biologiques

État référence de la faune aquatique et de ses habitats dans le secteur du pont de l'île d'Orléans : rapport final

Première partie — Description physique et inventaires biologiques

Par
Eliane Valiquette
Michel Legault
et
Valérie Harvey

Pour le
Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs
Secteur Faune et Parcs

Mai 2016

Diffusion

La version intégrale de ce document est accessible sur le site Internet à l'adresse suivante :
mffp.gouv.qc.ca/publications/faune/etat-reference-aquatique-ile-orleans.pdf

Référence à citer :

VALIQUETTE, E., M. LEGAULT et V. HARVEY. 2016. *État référence de la faune aquatique et de ses habitats dans le secteur du pont de l'île d'Orléans : rapport final. Première partie — Description physique et inventaires biologiques*, Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction générale de la gestion de la faune et des habitats, Direction de l'expertise sur la faune aquatique, Québec, xxviii + 199 p.

© Gouvernement du Québec

Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs

Dépôt légal - Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2016

ISBN (version imprimée) : 978-2-550-75817-4

ISBN (PDF) : 978-2-550-75818-1

Remerciements

Nos remerciements s'adressent en premier lieu à nos collègues du ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports qui, bien en amont du processus d'aménagement du nouveau lien routier vers l'île d'Orléans, nous ont fait part de leurs préoccupations quant à la faune aquatique et à ses habitats. Les nombreuses rencontres et discussions qui ont eu lieu à ce jour ont permis de définir les objectifs du présent programme d'acquisition des connaissances et d'appliquer une approche gouvernementale intégrée à ce projet de grande envergure.

Nous tenons également à souligner la contribution de nos collègues biologistes et techniciens de la faune de la Direction de la faune aquatique, de la Direction de la gestion de la faune de la Capitale-Nationale et de la Chaudière-Appalaches, de la Direction de la gestion de la faune du Bas-Saint-Laurent, de la Direction de la gestion de la faune de la Mauricie et du Centre-du-Québec et de la Direction de la gestion de la faune de l'Estrie, de Montréal, de la Montérégie et de Laval. Ces derniers ont su apporter leur expertise respective autant en ce qui a trait à la biodiversité aquatique du territoire à l'étude qu'à l'ensemble du fleuve Saint-Laurent.

L'acquisition de données n'aurait pas été possible sans la participation active de plusieurs équipes autant sur le terrain qu'en laboratoire. Merci aux techniciens de la faune, aux biologistes, aux étudiants et aux stagiaires qui ont, malgré les conditions parfois difficiles, réalisé l'ensemble des travaux prévus et plus encore. Merci aussi aux personnes qui sont venues ponctuellement joindre leurs efforts à ceux des équipes déjà en place, nous pensons notamment à Isabel Thibault, Jean-Nicolas Bujold, Léon L'Italien, Marie-Pierre Ratelle et Nasha Raïche.

Plusieurs partenaires ont facilité notre travail sur le terrain. Merci à RSP-Hydro et à Boralex ainsi qu'à leurs employés, particulièrement à Gilles Shooner, qui nous ont chaleureusement accueillis à la minicentrale Bird-1 sur la rivière Jacques-Cartier. Merci également à la Corporation du bassin de la Jacques-Cartier pour son soutien et sa présence lors du marquage des saumoneaux de la rivière Jacques-Cartier.

Finalement, nos remerciements s'adressent à Jean Morin, Marie-Andrée Tougas-Tellier, Sylvain Martin et Pascal Matte du Service météorologique du Canada d'Environnement Canada, ainsi qu'à Yves Secretan du Centre Eau Terre Environnement de l'Institut national de la recherche scientifique pour leur contribution en ce qui a trait aux caractéristiques physiques du secteur du pont de l'île d'Orléans.

Réalisation

Gestionnaire responsable : Jessy Dynes¹

Directeur, Direction de la faune aquatique, Faune Québec

Chargé de projet : Michel Legault¹

Biologiste, Direction de la faune aquatique

Équipe

- Planification, logistique et coordination : Michel Legault¹, biologiste
Denis Fournier¹, technicien de la faune
Pierre-Yves Collin², technicien de la faune
Eliane Valiquette¹, biologiste
Marc Mingelbier¹, biologiste
Marc Talbot³, technicien de la faune
Benoît Thomas³, biologiste
- Travaux sur le terrain et de laboratoire : Denis Fournier¹, technicien de la faune
Renaud Dostie¹, technicien de la faune
Vanessa Cauchon¹, technicienne de la faune
Amélie Pepin-Labbé¹, technicienne de la faune
Denise Deschamps¹, technicienne de la faune
William Cayer-Blais¹, technicien de la faune
Yanick Soulard¹, technicien de la faune
Nicolas Harnois¹, technicien de la faune
Pierre-Louis Harton¹, technicien de la faune
Geneviève Richard¹, technicienne de la faune
Frédéric Bédard¹, technicien de la faune
Pierre-Yves Collin², technicien de la faune
François Hudon², technicien de la faune
Marc Talbot³, technicien de la faune
Gilbert Rondeau³, technicien de la faune
Simon Bernatchez¹, étudiant
Sarah Aubé¹, stagiaire
Guillaume Canac-Marquis¹, stagiaire
Janie Perron-Ouellet¹, stagiaire
Josyane Richard¹, stagiaire
Pierre-Olivier Desmeules¹, étudiant
Michael Lemay², stagiaire
Annabelle Caissy², stagiaire
Gabrielle Tremblay², stagiaire
Louis-David Trudel², stagiaire
Manon Boudreault², stagiaire
Mathieu Trudel², étudiant
Kariane Filion³, étudiante
- Expertises techniques en laboratoire, montage et lecture des structures d'âge : Denise Deschamps¹, technicienne de la faune
Amélie Pepin-Labbé¹, technicienne de la faune
Yanick Soulard¹, technicien de la faune

Analyse des mollusques en laboratoire, analyses préliminaires des données et soutien à la rédaction :	Annie Paquet ⁴ , technicienne de la faune
Identification des espèces d'écrevisses :	Nathalie Desrosiers ⁴ , biologiste Denise Deschamps ¹ , technicienne de la faune Annie Paquet ⁴ , technicienne de la faune
Analyses génétiques :	Guillaume Côté ⁵ , professionnel de recherche
Traitement des données :	Eliane Valiquette ¹ , biologiste Michel Legault ¹ , biologiste Martin Arvisais ¹ , biologiste Jean-Nicolas Bujold ¹ , biologiste David Émond ⁶ , consultant en statistiques
Rédaction :	Eliane Valiquette ¹ , biologiste Michel Legault ¹ , biologiste Valérie Harvey ² , biologiste
Cartographie et réalisation graphique :	Eliane Valiquette ¹ , biologiste
Révision linguistique :	Joanie Poulin ¹ , agente de bureau Pierre Sénéchal, réviseur linguistique

¹ Ministères des Forêts, de la Faune et des Parcs

Direction générale de la gestion de la faune et des habitats
Direction de l'expertise sur la faune aquatique
880, chemin Sainte-Foy
Québec (Québec)
G1S 4X4
Téléphone : 418 627-8694
Télécopieur : 418 646-6863

² Ministères des Forêts, de la Faune et des Parcs

Direction de la gestion de la faune de la Capitale-Nationale - Chaudières-Appalaches
8400, avenue Sous-le-Vent
Charny (Québec)
G6X 3S9
Téléphone : 418 832-7222
Télécopieur : 418 832-1827

3 Ministères des Forêts, de la Faune et des Parcs

Direction de la gestion de la faune de la Capitale-Nationale - Chaudières-Appalaches
1300, rue du Blizzard
Québec (Québec)
G2K 0G9
Téléphone : 418 643-4680
Télécopieur : 418 644-8960

4 Ministères des Forêts, de la Faune et des Parcs

Direction générale de la gestion de la faune et des habitats
Direction de l'expertise sur la faune terrestre, l'herpétofaune et l'avifaune
880, chemin Sainte-Foy
Québec (Québec)
G1S 4X4
Téléphone : 418 627-8694
Télécopieur : 418 646-6863

5 Université Laval

Institut de biologie intégrative et des systèmes
Laboratoire de Louis Bernatchez, docteur en biologie
1030, avenue de la Médecine
Québec (Québec)
G1V 0A6
Téléphone : 418 656-2131

6 Université Laval

Service de consultation statistique de l'Université Laval
1045, avenue de la Médecine
Québec (Québec)
G1V 0A6
Téléphone : 418 656-5198

Résumé

Le ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports (MTMDET) prépare un projet d'aménagement d'un nouveau lien routier pour l'île d'Orléans et désire mener ce projet en minimisant les impacts sur la faune aquatique et ses habitats. Toutefois, les connaissances limitées sur la faune aquatique et ses habitats dans le secteur du pont de l'île d'Orléans nécessitaient la mise en place d'une vaste étude afin de produire des avis fauniques basés sur des connaissances scientifiques complètes et à jour. Une entente intervenue entre le MTMDET et le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) a permis de mener cette étude au cours des périodes d'eau libre de 2012 et de 2013.

Les inventaires menés par le MFFP dans l'aire d'étude ont révélé la présence de 49 espèces différentes de poissons, y compris les 7 espèces en situation précaire fréquentant la région de Québec. Trois espèces de moules d'eau douce indigènes et une espèce d'écrevisses ont aussi été répertoriées. Le secteur du pont de l'île d'Orléans se démarque par de nombreux habitats essentiels, dont une frayère d'esturgeons jaunes, une frayère de baretts et des aires d'alevinage. Plusieurs espèces utilisent aussi le secteur du pont de l'île d'Orléans comme aire d'alimentation. Les données ont également révélé que certaines espèces de poissons utilisent ce secteur comme corridor migratoire vers des habitats situés en amont ou en aval du site d'étude. En comparant les données acquises au cours de cette étude avec celles disponibles pour l'ensemble du fleuve Saint-Laurent, il apparaît que les habitats répertoriés dans le secteur du pont de l'île d'Orléans contribuent au recrutement et à la présence de plusieurs espèces de poissons sur un territoire qui dépasse largement ses frontières.

Les résultats de cette étude soulèvent à la fois le besoin de maintenir l'intégrité des habitats essentiels situés dans le secteur du pont de l'île d'Orléans et la connectivité qui existe entre eux. À plus grande échelle, le libre passage du poisson entre le secteur du pont de l'île d'Orléans et l'ensemble du fleuve Saint-Laurent doit aussi être assuré.

Table des matières

Remerciements	v
Réalisation	vii
Résumé	xi
Table des matières	xiii
Liste des tableaux	xvii
Liste des figures	xix
Introduction	1
Contexte et enjeux	1
Objectifs	1
Objectif général	1
Objectifs spécifiques	2
Description de l'aire d'étude	3
Contexte géographique et description physique	3
Délimitation des secteurs	7
Caractérisation de l'habitat physique	9
Matériel et méthodes	9
Description de la topographie	9
Description du substrat	9
Suivi des températures de l'eau et de l'air	10
Suivi des marées	12
Projet connexe	12
Traitement des données	13
Hétérogénéité spatiale de la température de l'eau	13
Détermination de saisons biologiques par les températures	13
Résultats et discussion	14
Hétérogénéité spatiale de la température de l'eau	14
Détermination de saisons biologiques par les températures	18
Communauté ichthyologique du secteur du pont	19
Revue des connaissances	19
Matériel et méthodes	20
Travaux sur le terrain	20
Traitement en laboratoire	22
Projet connexe	22
Traitement des données	24
Effort d'échantillonnage	24
Structure de la communauté ichthyologique	25
Description de la communauté	27
Résultats et discussion	28
Structure de la communauté	28
Description de la communauté	31
Espèces en situation précaire	47
Synthèse et limitations	52
Activités de reproduction	55
Revue des connaissances	55
Matériel et méthodes	57

Espèces visées	57
Description des engins de collecte des œufs.....	58
Recherche des zones de fraie et périodes d'échantillonnage.....	60
Identification et dénombrement des œufs.....	65
Présence des individus matures	65
Projets connexes.....	65
Traitements des données	66
Efficacité des méthodes employées.....	66
Diversité des espèces présentes	66
Délimitation et description des zones de fraie.....	66
Séquence temporelle de la fraie	68
Présence des individus matures	68
Résultats et discussion	69
Efficacité des méthodes employées.....	69
Diversité des espèces présentes	70
Description des zones de fraie répertoriées.....	70
Séquence temporelle de la fraie	82
Synthèse et limitations	93
Déplacements et utilisation de l'habitat	95
Matériel et méthodes	95
Espèces visées	95
Méthodes de capture et de marquage	97
Localisation des individus marqués	104
Efficacité des grilles de récepteurs	108
Projets et études connexes.....	108
Traitement des données	112
Caractéristiques des individus marqués	112
Estimation du comportement de fuite, de la survie et du taux de rétention des émetteurs	112
Estimation de la position des individus	114
Efficacité des grilles de récepteurs	115
Déplacements et patrons d'activité	116
Résultats et discussion	119
Efficacité des grilles de récepteurs	119
Bar rayé.....	124
Esturgeon jaune	130
Saumoneaux.....	145
Baret.....	150
Esturgeon noir.....	158
Anguille d'Amérique	163
Synthèse et limitations	166
Mollusques et crustacés	167
Matériel et méthodes	167
Identification, dénombrement et mesures biométriques	168
Traitement des données	168
Abondance, répartition et infestation.....	168
Diversité des espèces	168
Résultats, discussion et limitations : mollusques	169
Résultats	169
Discussion.....	170

Limitations	173
Résultats, discussion et limitations : crustacés	173
Résultats	173
Discussion	174
Limitations	174
Conclusion et enjeux fauniques	175
Conclusion générale	175
Conclusions sur les principales espèces visées	175
Alose savoureuse.....	175
Bar rayé.....	176
Éperlan arc-en-ciel	176
Esturgeon jaune	176
Saumon atlantique	177
Baret.....	177
Enjeux fauniques à considérer.....	177
Références.....	179
Annexes	191
Annexe 1 : Classes de taille du substrat pour caractérisation	193
Annexe 2 : Caractéristiques des stations d'échantillonnage pour les pêches expérimentales au filet maillant benthique et à la seine de rivage	195
Annexe 3 : Méthodes utilisées pour l'identification à l'espèce à l'aide des outils génétiques	197

Liste des tableaux

Tableau 1 : Liste des espèces de poissons en situation précaire selon la Loi sur les espèces menacées et vulnérables du Québec ou selon la Loi sur les espèces en péril au Canada (COSEPAC/LEP) fréquentant la région de Québec.	2
Tableau 2 : Résultats de l'analyse de la variance à mesures répétées sur les données de températures mensuelles moyennes de 2013.....	14
Tableau 3 : Températures moyennes estimées pour chaque station en 2013 (mai à novembre) et différences statistiques entre les stations. Les stations associées à une même lettre sont considérées comme non significativement différentes.	15
Tableau 4 : Effort d'échantillonnage déployé pour les inventaires menés au filet maillant et à la seine de rivage en 2012 et 2013 dans le secteur du pont de l'île d'Orléans et le secteur témoin.....	25
Tableau 5 : Liste des espèces capturées dans le secteur du pont de l'île d'Orléans et le secteur témoin, ainsi que leur abondance, classées par ordre alphabétique du nom français.....	29
Tableau 6 : Liste des espèces détectées dans le secteur du pont de l'île d'Orléans et le secteur témoin lors d'autres types d'inventaires dans ces secteurs.	30
Tableau 7 : Indices de diversité pour différents groupements, pour le secteur du pont de l'île d'Orléans et le secteur témoin. Les indices de Shannon, d'équitabilité et de dominance ont été calculés pour les espèces présentant une abondance supérieure au seuil de 1 %.	30
Tableau 8 : Espèces pour lesquelles des jeunes de l'année ont été capturés lors d'études antérieures à la présente étude au cours des inventaires de 2012 et de 2013, ainsi que leur abondance (CPUE) dans le secteur du pont et dans le secteur témoin.....	34
Tableau 9 : Valeurs des paramètres descriptifs utilisés afin de quantifier la dynamique de population pour sept des principales espèces échantillonnées dans le secteur du pont de l'île d'Orléans et le secteur témoin en zone subtidale.	44
Tableau 10 : Espèces pour lesquelles des frayères potentielles ont été répertoriées dans la région de Québec et de l'île d'Orléans, et particulièrement dans le secteur du pont de l'île d'Orléans, selon Bouchard (1976).....	55
Tableau 11 : Nombre total d'espèces répertoriées, nombre d'espèces trouvées exclusivement pour chaque type de capteur d'œufs et nombre d'œufs total récoltés avec les quatre types de capteurs en 2012.....	69
Tableau 12 : Nombre d'œufs récoltés en 2012 et 2013 par espèce et par lieu de récolte dans le secteur du pont de l'île d'Orléans et de la rivière Montmorency.....	71
Tableau 13 : Caractéristiques des périodes de reproduction de l'esturgeon jaune observées en 2012 et 2013 dans la rivière Montmorency.	82
Tableau 14 : Caractéristiques des périodes de reproduction du baret observées en 2012 et 2013 dans le chenal de l'île d'Orléans.	88
Tableau 15 : Caractéristiques des modèles d'émetteurs utilisés et espèces marquées avec ces derniers.	97
Tableau 16 : Paramètres morphométriques des bars rayés, esturgeons jaunes, saumons atlantiques et baretts marqués avec des émetteurs hydroacoustiques de 2010 à 2013.....	124
Tableau 17 : Pour 2012 et 2013, nombre de bars rayés répertoriés dans le secteur du pont de l'île d'Orléans, nombre de jours durant lesquels ils le fréquentent, nombre et durée des événements de résidence.	126
Tableau 18 : Résultats du modèle de régression logistique testant l'effet du type d'émetteur utilisé sur la présence des esturgeons jaunes marqués pour les trois périodes de temps post-marquage.	130

Tableau 19 : Résultats du modèle de régression logistique avec effet aléatoire du lieu de marquage mené sur la proportion de jours où chaque individu est observé au moins une fois.....	130
Tableau 20 : Résultats du modèle de régression logistique à mesures répétées avec effet aléatoire du lieu de marquage.....	131
Tableau 21 : Taux de survie des esturgeons jaunes marqués avec des émetteurs externes (V13) et internes (V16) pour les années de suivi 2012 et 2013.	132
Tableau 22 : Statistiques descriptives du nombre de jours pendant lesquels chaque individu a été détecté en 2012, selon le type de marquage. Les variables « nombres observés » et « nombres censurés » indiquent pour combien d'individus le nombre de jours correspond à une donnée observée ou à une donnée censurée.....	133
Tableau 23 : Proportion d'esturgeons jaunes de chaque contingent migratoire présents dans différents secteurs du fleuve Saint-Laurent au cours du printemps, de l'été et de l'automne. Les cases jaunes représentent les occurrences les plus fortes pour chaque section du fleuve selon le contingent migratoire.....	141
Tableau 24 : Espèces de moules récoltées dans le secteur du pont et le secteur témoin, ainsi que leur état lors de la récolte (mortes ou vivantes).....	169
Tableau 25 : Liste des espèces de moules ayant été trouvées dans le secteur du pont de l'île d'Orléans en 2012 et 2013 et dans la région de Québec (MFFP, 1999) selon leur état. Les espèces en situation précaire selon la Loi sur les espèces menacées et vulnérables du Québec ou selon la Loi sur les espèces en péril au Canada sont identifiées.	172

Liste des figures

Figure 1 : Localisation de l'aire d'étude et limite du front salin selon Gagnon et al. (1993).....	5
Figure 2 : Rivière Montmorency de son embouchure (bas) à la chute Montmorency (haut), lors d'une marée descendante.....	6
Figure 3 : Rive nord de l'aire d'étude. On remarque l'autoroute Dufferin-Montmorency au centre de la photo et le panache d'eau de la rivière Montmorency à marée descendante (masse d'eau foncée), à sa confluence avec le fleuve Saint-Laurent (masse d'eau pâle).	6
Figure 4 : Localisation du secteur du pont et du secteur témoin.	7
Figure 5 : Localisation des stations visant à caractériser le substrat par la benne Ekman.....	10
Figure 6 : Localisation des thermographes en aval de la chute Montmorency (CHU01) et dans le chenal de l'île d'Orléans (PON_) en 2012.....	11
Figure 7 : Localisation des thermographes dans le chenal de l'île d'Orléans (PON_), en amont de la chute Montmorency (MON-AM) et en aval de celle-ci (CHU02), ainsi que sur l'île d'Orléans (IO-AIR, température de l'air) en 2013.....	11
Figure 8 : Station marégraphique n° 3248 de Pêches et Océans Canada localisée à Québec, dans le Vieux-Port.....	12
Figure 9 : Évolution de la température journalière moyenne pour les thermographes situés dans le chenal de l'île d'Orléans et ceux de la rivière Montmorency en 2012 (haut) et 2013 (bas).	16
Figure 10 : Évolution de la température journalière moyenne en 2013 pour les thermographes situés dans le chenal de l'île d'Orléans en zone subtidale (vert) et en zone intertidale (orangé).....	17
Figure 11 : Évolution de la température journalière moyenne en 2013 des thermographes situés dans le chenal de l'île d'Orléans et à la station marégraphique du port de Québec.	17
Figure 12 : Évolution de la température de l'eau à la station marégraphique du port de Québec et plage temporelle des saisons biologiques établies.	18
Figure 13 : Localisation des stations échantillonnées par le filet maillant benthique. Les stations F01 à F04 se situent dans le secteur du pont de l'île d'Orléans et les stations F05 à F08 se situent dans le secteur témoin.....	21
Figure 14 : Localisation des stations échantillonnées par la seine de rivage. Les stations S01 à S04 se situent dans le secteur du pont de l'île d'Orléans et les stations S05 à S08 se situent dans le secteur témoin.	22
Figure 15 : Localisation des stations échantillonnées par la seine de rivage lors du suivi du recrutement de la population de bars rayés du Saint-Laurent en 2012.....	23
Figure 16 : Secteurs couverts par le Réseau de suivi ichtyologique.	24
Figure 17 : Nombre de capture par unité d'effort par espèce en zone intertidale (seine de rivage) dans le secteur du pont de l'île d'Orléans (haut) et le secteur témoin (bas). Seules les espèces présentant une abondance dépassant le seuil de 1 % sont représentées.....	32
Figure 18 : Nombre de captures par unité d'effort des espèces capturées en zone subtidale (filet maillant) dans le secteur du pont de l'île d'Orléans (haut) et le secteur témoin (bas). Seules les espèces présentant une abondance dépassant 1 % des effectifs totaux sont représentées.	33
Figure 19 : Aires d'alevinage répertoriées dans l'aire d'étude lors des inventaires de 2012-2013.	35
Figure 20 : Aires d'alevinage répertoriées par Mousseau et Armelin (1995). Adaptée d'Argus (2001).	35

Figure 21 : Zones d'alevinage dans la région de Québec répertoriées par Mousseau et Armelin (1995). Adaptées d'Argus (2001).	36
Figure 22 : Zones d'alevinage répertoriées pour le baret par Argus (2001) dans la région de Québec et abondance en CPUE des jeunes de l'année dans la région de Québec pour le mois d'août 2012. Les cercles verts représentent les captures du réseau de suivi du recrutement du bar rayé, alors que les cercles orangés représentent les captures de la présente d'étude.....	38
Figure 23 : Abondance en CPUE des jeunes de l'année du baret, de Trois-Rivières à Rivière-du-Loup pour le mois d'août 2012. Les cercles verts représentent l'abondance pour les captures du réseau de suivi du recrutement du bar rayé, alors que les cercles orangés représentent les captures de la présente étude.	38
Figure 24 : Nombre de capture par unité d'effort par espèce en zone intertidale, dans le secteur du pont de l'île d'Orléans au cours de la période d'eau libre. Seules les espèces avec une abondance dépassant le seuil de 1 % sont représentées.	40
Figure 25 : Nombre de capture par unité d'effort par espèce en zone intertidale, dans le secteur témoin au cours de la période d'eau libre. Seules les espèces avec une abondance dépassant le seuil de 1 % sont représentées.....	41
Figure 26 : Nombre de captures par unité d'effort par espèce en zone subtidale (filet maillant), dans les secteurs du pont de l'île d'Orléans (gauche) et témoin (droite) au cours de la période d'eau libre. Seules les espèces avec une abondance dépassant le seuil de 1 % sont représentées.....	45
Figure 27 : Proportion de doré noir en fonction de la transparence de l'eau pour différents secteurs du Saint-Laurent (tiré d'Arvisais et al. 2012).....	46
Figure 28 : Abondance en CPUE des jeunes de l'année de l'aloose savoureuse de Trois-Rivières à Rivière-du-Loup, de juillet à septembre 2012. Les cercles mauves représentent l'abondance des aloses savoureuses capturées lors du suivi du recrutement du bar rayé, alors que les cercles jaunes représentent les captures du présent projet.....	48
Figure 29 : Abondance en CPUE des jeunes de l'année du bar rayé, de Trois-Rivières à Rivière-du-Loup, pour juillet à septembre 2012. Les cercles orangés représentent l'abondance des captures effectuées lors du réseau de suivi du recrutement du bar rayé, alors que les cercles jaunes représentent les captures du présent projet.....	50
Figure 30 : Abondance en CPUE des jeunes de l'année de l'éperlan arc-en-ciel dans le secteur du pont de l'île d'Orléans et le secteur témoin.	51
Figure 31 : Illustration représentant les frayères potentielles près de Québec et de l'île d'Orléans (tirée de Bouchard, 1976).....	56
Figure 32 : Inspection d'une ligne de capteurs d'œufs de type plaque de métal.....	59
Figure 33 : Montage d'un capteur d'œufs de type filtre pour chaudière inséré dans un cadre métallique.....	59
Figure 34 : Vue plongeante d'un capteur d'œufs de type bloc creux.....	60
Figure 35 : Localisation des capteurs d'œufs dans le secteur du pont de l'île d'Orléans en 2012.	63
Figure 36 : Localisation des capteurs d'œufs dans la rivière Montmorency, du bassin à son embouchure, en 2012.	63
Figure 37 : Localisation des deux lignes de capteurs d'œufs témoins pour l'éperlan arc-en-ciel au ruisseau de l'Église en 2012 et 2013.	63
Figure 38 : Localisation des capteurs d'œufs dans le secteur du pont de l'île d'Orléans en 2013.	64
Figure 39 : Localisation des capteurs d'œufs dans la rivière Montmorency, du bassin à l'embouchure, en 2013.....	64
Figure 40 : Secteurs inventoriés pour localiser les frayères de bars rayés en 2014.	66

Figure 41 : Localisation des stations échantillonnées par des capteurs d'œufs en 2012 et stations pour lesquelles des œufs ont été récoltés.	72
Figure 42 : Localisation des stations échantillonnées par des capteurs d'œufs en 2013 et stations pour lesquelles des œufs ont été récoltés.	72
Figure 43 : Localisation et liste des espèces trouvées dans les deux zones de fraie répertoriées dans le chenal de l'île d'Orléans et de la rivière Montmorency.	73
Figure 44 : Désignation des sous-zones de fraie dans le secteur de la rivière Montmorency, des espèces répertoriées pour y frayer et des stations pour lesquelles des œufs ont été récoltés.	73
Figure 45 : Localisation de la station où des œufs d'éperlan arc-en-ciel ont été récoltés en 2012.	75
Figure 46 : Rapides de la rivière Montmorency situés entre le bassin et la confluence de la rivière avec le fleuve Saint-Laurent.	76
Figure 47 : Localisation des stations et nombre d'œufs d'esturgeon jaune récoltés en 2012 et en 2013. La taille des cercles jaunes est proportionnelle au nombre d'œufs récoltés lors de la levée des capteurs d'œufs.	77
Figure 48 : Délimitation de la frayère d'esturgeons jaunes et de la zone d'utilisation intense dans la rivière Montmorency selon les données collectées en 2012 et 2013.	77
Figure 49 : Localisation des 13 principales frayères d'esturgeons jaunes répertoriées dans le fleuve Saint-Laurent et ses tributaires.	78
Figure 50 : Localisation des stations et nombre d'œufs de baret récoltés en 2012 et en 2013. La taille des cercles verts est proportionnelle au nombre d'œufs récoltés lors de la levée des capteurs d'œufs.	79
Figure 51 : Délimitation de la frayère de baret et des zones d'utilisation intense dans le secteur du pont de l'île d'Orléans.	79
Figure 52 : Localisation de la frayère de baret répertoriée lors de la présente étude (flèche verte) et frayères potentielles (flèches rouges) répertoriées par Bouchard (1976).	80
Figure 53 : Localisation de la zone de nidification répertoriée pour les raseux-de-terre gris et noirs à l'embouchure de la rivière Montmorency.	81
Figure 54 : Suivi de la reproduction pour l'esturgeon jaune et variations de la température (°C) à la rivière Montmorency pour 2012 (haut) et 2013 (bas).	83
Figure 55 : Capture d'individus matures à l'embouchure de la rivière Montmorency en mai 2012.	85
Figure 56 : Suivi du nombre d'esturgeons capturés par unité d'effort (esturgeon par heure filet) selon la date lors des activités de capture en vue du marquage avec des émetteurs acoustiques. En 2012 (haut), la pose de filet s'est poursuivie jusqu'à ce qu'aucun individu ne soit plus capturé, alors qu'en 2013 (bas) l'arrêt des captures est survenu dès que tous les émetteurs ont été posés.	86
Figure 57 : Suivi d'esturgeons jaunes marqués à la frayère de la rivière Montmorency en 2012 (haut) et en 2013 (bas) pendant la période de frai. Chaque ligne horizontale représente un individu. Les carrés orangés représentent la journée où les individus ont été marqués et les carrés mauves représentent les journées pour lesquelles les individus ont été détectés dans le secteur du pont de l'île d'Orléans.	87
Figure 58 : Suivi de la reproduction pour le baret à la frayère du chenal de l'île d'Orléans et variations de la température (°C) du fleuve Saint-Laurent enregistrées aux stations marégraphiques du Vieux-Port de Québec en 2012 (haut) et en 2013 (bas).	89
Figure 59 : Suivi quotidien des baret marqués dans le secteur du pont de l'île d'Orléans en 2013. Chaque ligne horizontale représente un individu. Les carrés orangés représentent la journée où les individus ont été marqués. Les carrés rouges représentent les journées pour lesquelles les femelles ont été détectées dans le secteur du pont de l'île d'Orléans, les	

carrés bleus les mâles et les carrés gris, les individus pour lesquels le sexe n'a pu être déterminé.	90
Figure 60 : Suivi quotidien des bars rayés marqués dans le fleuve Saint-Laurent pour 2012 (haut) et 2013 (bas). Chaque ligne horizontale représente un individu. Les carrés orangés représentent la journée où les individus ont été marqués et les carrés mauves représentent les journées pour lesquelles les individus ont été détectés dans le secteur du pont de l'île d'Orléans.	92
Figure 61 : Matériel utilisé pour poser les émetteurs externes sur les esturgeons jaunes.	99
Figure 62 : Installation d'un émetteur externe sur un esturgeon jaune adulte.	100
Figure 63 : Marquage par intervention chirurgicale d'un bar rayé avec un émetteur hydroacoustique de type V13 (VEMCO).	101
Figure 64 : Marquage d'esturgeons jaunes à l'aide d'un émetteur de type externe V13 (à gauche) et interne V16 (à droite).	102
Figure 65 : Localisation des lieux de capture et de relâche des saumoneaux de la rivière Jacques-Cartier.	103
Figure 66 : Marquage d'un saumoneau à l'aide d'un émetteur interne V7.	104
Figure 67 : Montage d'un récepteur hydroacoustique de type VR2W (VEMCO) avec bouée et poids.	106
Figure 68 : Localisation des récepteurs VR2W dans le secteur du pont de l'île d'Orléans et à l'embouchure de la rivière Chaudière en 2012.	106
Figure 69 : Localisation des récepteurs VR2W et des émetteurs de synchronisation dans le secteur du pont de l'île d'Orléans et à l'embouchure de la rivière Chaudière en 2013.	107
Figure 70 : Localisation des récepteurs VR2W dans le secteur du pont de l'île d'Orléans à l'hiver 2013-2014 (21 novembre 2013 au 30 avril 2014).	107
Figure 71 : Localisation des récepteurs VR2W installés en 2012 dans le fleuve Saint-Laurent.	109
Figure 72 : Localisation des récepteurs VR2W installés en 2013 dans le fleuve Saint-Laurent.	110
Figure 73 : Marquage d'une anguille d'Amérique au stade argenté par le MFFP.	111
Figure 74 : Capture par le MFFP d'un esturgeon noir adulte à l'été 2013 dans l'estuaire du Saint-Laurent, destiné au marquage.	111
Figure 75 : Délimitations des régions hydrographiques du fleuve Saint-Laurent.	118
Figure 76 : Signaux émis par un émetteur test de type V13 (tracé jaune) dans le secteur du pont de l'île d'Orléans à l'étal bas et exemple du taux de réception pour 4 des 16 récepteurs (lignes orangées).	120
Figure 77 : Nombre de signaux émis par les émetteurs de synchronisation et reçu par les récepteurs en 2013 pendant toute la durée du déploiement de la grille. Les détections sont groupées par périodes de quatre heures.	122
Figure 78 : Intervalles de temps pendant lesquels les émetteurs de synchronisation des différentes stations étaient détectés par au moins trois récepteurs environnants dans la grille de récepteurs déployée dans le secteur du pont de l'île d'Orléans en 2013.	123
Figure 79 : Nécropsie du bar rayé marqué en 2011 et capturé par filet maillant en 2012 : l'incision pratiquée pour insérer l'émetteur est refermée (gauche) et l'émetteur est encapsulé dans les tissus abdominaux (droite).	125
Figure 80 : Exemples d'itinéraires empruntés par les bars rayés dans le secteur du pont de l'île d'Orléans : un parcours linéaire (haut) et un parcours en boucle (bas). Le dégradé du vert au rouge représente les positions initiales (vert) vers les positions terminales (rouge).	127
Figure 81 : Ensemble des positions géographiques calculées à l'aide du système VPS dans le secteur du pont de l'île d'Orléans.	128
Figure 82 : Carte générale de la position des récepteurs dans le fleuve Saint-Laurent, chaque point orangé représentant un récepteur (haut) et graphique du parcours emprunté par un	

bar rayé ayant fréquenté le secteur du pont de l'île d'Orléans en 2013 (bas). L'axe des ordonnées représente le temps écoulé de mai à novembre, alors que l'axe des abscisses représente la distance euclidienne du fleuve Saint-Laurent à partir du lac Saint-Louis. Les lignes verticales grises représentent les récepteurs dans le temps pour les secteurs couverts. La ligne verticale verte représente précisément le secteur du pont de l'île d'Orléans. Les points rouges représentent la détection de l'individu dans l'un des secteurs et les lignes pointillées représentent les déplacements de l'individu entre les secteurs. ... 129

Figure 83 : Nombre d'esturgeons jaunes marqués avec des émetteurs de type V13 (internes) ou V16 (externes) et présents au lieu de marquage dans les heures suivant le marquage, en 2012. 131

Figure 84 : Évolution temporelle de la présence des esturgeons jaunes dans le secteur de l'île d'Orléans en 2012. La surface verte représente la période du printemps, la surface jaune pâle l'été et la surface orangée l'automne. Chaque ligne horizontale représente un individu marqué dans le secteur du pont de l'île d'Orléans (IO) ou dans le secteur de la rivière Chaudière (CHA). Les carrés rouges représentent la journée où les individus ont été marqués, les carrés mauves représentent les journées pour lesquelles les individus IO étaient présents, alors que les carrés jaunes représentent les journées pour lesquelles les individus CHA l'étaient. Les individus ayant perdu leur émetteur dans les jours suivant le marquage ont été exclus de l'analyse. 135

Figure 85 : Évolution temporelle de la présence des esturgeons jaunes dans le secteur de l'île d'Orléans en 2013. La surface verte représente la période du printemps, la surface jaune pâle, l'été et la surface orangée, l'automne. Chaque ligne horizontale représente un individu marqué dans le secteur du pont de l'île d'Orléans (IO) ou dans le secteur de la rivière Chaudière (CHA). Les carrés rouges représentent la journée où les individus ont été marqués, les carrés mauves représentent les journées pour lesquelles les individus IO étaient présents, alors que les carrés jaunes représentent les journées pour lesquelles les individus CHA l'étaient. 136

Figure 86 : Zones de concentration des positions géographiques d'esturgeons jaunes calculées par le système VPS en 2013 (nombre de positions par mètre carré) dans le secteur du pont de l'île d'Orléans. 137

Figure 87 : Zones de concentration des positions géographiques calculées par le système VPS au printemps 2013 (nombre de positions par mètre carré) dans le secteur du pont de l'île d'Orléans pour les esturgeons jaunes reproducteurs (haut) et non reproducteurs (bas). ... 138

Figure 88 : Zones de concentration des positions géographiques d'esturgeons jaunes calculées par le système VPS en 2013 (nombre de positions par mètre carré) dans le secteur du pont de l'île d'Orléans à l'été (haut) et à l'automne (bas). 139

Figure 89 : Statistiques du pseudo-F obtenues permettant de comparer la qualité des solutions (nombre de classes) obtenues lors de l'analyse de classification. 140

Figure 90 : Carte générale de la position des récepteurs dans le fleuve Saint-Laurent, chaque point orangé représentant un récepteur (haut) et graphique du patron de déplacement d'un esturgeon jaune sédentaire marqué dans le secteur du pont de l'île d'Orléans en 2012 (n° 28934) et suivi en 2012 et 2013 (bas). L'axe des ordonnées indique le temps écoulé. L'axe des abscisses représente la distance linéaire du fleuve Saint-Laurent depuis le lac Saint-Louis. Les lignes verticales grises représentent l'emplacement et la période de déploiement des récepteurs de chaque secteur du fleuve couvert. La ligne verticale verte représente précisément le secteur du pont de l'île d'Orléans. Les points rouges représentent la détection de l'individu par les récepteurs des différents secteurs. Les lignes pointillées entre les points rouges représentent les déplacements de l'individu entre les secteurs. Dans ce cas-ci, l'individu est essentiellement demeuré dans le secteur du pont de l'île d'Orléans au cours des deux années, avec quelques déplacements en aval vers le chenal de l'île d'Orléans et en amont vers la baie de Beauport. 142

Figure 91 : Carte générale de la position des récepteurs dans le fleuve Saint-Laurent, chaque point orangé représentant un récepteur (haut) et graphique du patron de déplacement d'un esturgeon jaune résident saisonnier marqué dans le secteur du pont de l'île d'Orléans en 2012 (n° 28927) et suivi en 2012 et 2013 (bas). L'axe des ordonnées indique le temps écoulé. L'axe des abscisses représente la distance linéaire du fleuve Saint-Laurent depuis le lac Saint-Louis. Les lignes verticales grises représentent l'emplacement et la période de déploiement des récepteurs de chaque secteur du fleuve couvert. La ligne verticale verte représente précisément le secteur du pont de l'île d'Orléans. Les points rouges représentent la détection de l'individu par les récepteurs des différents secteurs. Les lignes pointillées entre les points rouges représentent les déplacements de l'individu entre les secteurs. Dans ce cas-ci, en 2012, après la période de frai dans la rivière Chaudière, l'individu est demeuré dans le secteur de Montmagny pendant la période estivale, puis il est remonté jusqu'en amont de Sorel-Tracy pour hiverner. En 2013, il a descendu le fleuve au printemps jusqu'au secteur de Montmagny où il a passé l'été, avant de retourner en amont de Sorel-Tracy pour hiverner. 143

Figure 92 : Carte générale de la position des récepteurs dans le fleuve Saint-Laurent, chaque point orangé représentant un récepteur (haut) et graphique du patron de déplacement d'un esturgeon jaune migrateur marqué dans le secteur du pont de l'île d'Orléans en 2012 (n° 28936) et suivi en 2012 et 2013 (bas). L'axe des ordonnées indique le temps écoulé. L'axe des abscisses représente la distance linéaire du fleuve Saint-Laurent depuis le lac Saint-Louis. Les lignes verticales grises représentent l'emplacement et la période de déploiement des récepteurs de chaque secteur du fleuve couvert. La ligne verticale verte représente précisément le secteur du pont de l'île d'Orléans. Les points rouges représentent la détection de l'individu par les récepteurs des différents secteurs. Les lignes pointillées entre les points rouges représentent les déplacements de l'individu entre les secteurs. Dans ce cas-ci, en 2012, après la période de frai dans la rivière Montmorency, l'individu a remonté le fleuve Saint-Laurent jusqu'au lac Saint-Louis où il est demeuré. Cet individu n'a pas été revu en aval du lac Saint-Louis en 2013 où il est vraisemblablement resté. 144

Figure 93 : Patron de déplacement général des saumoneaux suivis par télémétrie en 2012 et 2013 lors de leur dévalaison dans le fleuve Saint-Laurent entre l'embouchure de la rivière Jacques-Cartier et le secteur de l'île d'Orléans. 147

Figure 94 : Nombre de saumoneaux suivis par télémétrie et détectés entre l'embouchure de la rivière Jacques-Cartier et la pointe ouest de l'île d'Orléans en 2012 (haut) et en 2013 (bas). 149

Figure 95 : Évolution temporelle du nombre de baretts marqués par intervention chirurgicale en 2013 présents au lieu de marquage dans les heures suivant le marquage. 151

Figure 96 : Baretts suivis par télémétrie dans le secteur de l'île d'Orléans en 2013. Chaque ligne horizontale représente un individu. Les carrés orangés représentent la journée où les individus ont été marqués et les carrés mauves représentent les journées pour lesquelles les individus étaient présents. 152

Figure 97 : Résultats de l'analyse de densité de points pour les positions géographiques des baretts marqués pour le printemps 2013 (N = 14 269) et contour de la frayère de baretts. . 153

Figure 98 : Résultats de l'analyse de densité de points pour les positions géographiques de l'été (N = 379). 153

Figure 99 : Résultats de l'analyse de densité de points pour les positions géographiques de l'automne (N = 784). 154

Figure 100 : Aire de répartition des baretts marqués dans le secteur du pont de l'île d'Orléans en 2013 et zone de concentration des individus à grande échelle. 154

Figure 101 : Carte générale de la position des récepteurs dans le fleuve Saint-Laurent, chaque point orangé représentant un récepteur (haut) et graphique du patron de déplacement d'un

baret résident du secteur du pont de l'île d'Orléans (n° 9826) et suivi en 2013 (bas). L'axe des ordonnées indique le temps écoulé. L'axe des abscisses représente la distance linéaire du fleuve Saint-Laurent depuis le lac Saint-Louis. Les lignes verticales grises représentent l'emplacement et la période de déploiement des récepteurs de chaque secteur du fleuve couvert. Les points rouges représentent la détection de l'individu par les récepteurs des différents secteurs. Les lignes pointillées entre les points rouges représentent les déplacements de l'individu entre les secteurs. Dans ce cas-ci, mis à part une courte excursion au cours de l'été, l'individu est demeuré dans le secteur du pont pour l'ensemble de la période de suivi. 156

Figure 102 : Carte générale de la position des récepteurs dans le fleuve Saint-Laurent, chaque point orangé représentant un récepteur (haut) et graphique du patron de déplacement d'un baret migrateur (n° 9825) suivi en 2013 (bas). L'axe des ordonnées indique le temps écoulé. L'axe des abscisses représente la distance linéaire du fleuve Saint-Laurent depuis le lac Saint-Louis. Les lignes verticales grises représentent l'emplacement et la période de déploiement des récepteurs de chaque secteur du fleuve couvert. Les points rouges représentent la détection de l'individu par les récepteurs des différents secteurs. Les lignes pointillées entre les points rouges représentent les déplacements de l'individu entre les secteurs. Dans ce cas-ci, après la période de reproduction, l'individu a quitté le secteur du pont de l'île d'Orléans vers l'estuaire moyen, puis est revenu dans le secteur du pont de l'île d'Orléans probablement pour hiverner. 157

Figure 103 : Évolution temporelle de la présence des esturgeons noirs suivis par télémétrie dans le secteur de l'île d'Orléans à l'été et à l'automne 2013 (haut; seulement des juvéniles), ainsi qu'à l'hiver 2013-2014 (bas; tous des adultes, sauf individu n° 26782 qui est juvénile). Chaque ligne horizontale représente un individu. Les carrés orangés représentent la journée où les individus ont été marqués et les carrés mauves représentent les journées pour lesquelles les individus étaient présents. 159

Figure 104 : Carte générale de la position des récepteurs dans le fleuve Saint-Laurent, chaque point orangé représentant un récepteur (haut) et graphique du patron de déplacement d'un esturgeon noir juvénile (n° 26763) suivi en 2013 (bas). L'axe des ordonnées indique le temps écoulé. L'axe des abscisses représente la distance linéaire du fleuve Saint-Laurent depuis le lac Saint-Louis. Les lignes verticales grises représentent l'emplacement et la période de déploiement des récepteurs de chaque secteur du fleuve couvert. Les points rouges représentent la détection de l'individu par les récepteurs des différents secteurs. Les lignes pointillées entre les points rouges représentent les déplacements de l'individu entre les secteurs. Dans ce cas-ci, le secteur du pont de l'île d'Orléans est uniquement utilisé comme un lieu de transit. 161

Figure 105 : Carte générale de la position des récepteurs dans le fleuve Saint-Laurent, chaque point orangé représentant un récepteur (haut) et graphique du patron de déplacement d'un esturgeon noir juvénile (n° 26768) suivi en 2013 (bas). L'axe des ordonnées indique le temps écoulé. L'axe des abscisses représente la distance linéaire du fleuve Saint-Laurent depuis le lac Saint-Louis. Les lignes verticales grises représentent l'emplacement et la période de déploiement des récepteurs de chaque secteur du fleuve couvert. Les points rouges représentent la détection de l'individu par les récepteurs des différents secteurs. Les lignes pointillées entre les points rouges représentent les déplacements de l'individu entre les secteurs. Dans ce cas-ci, l'individu est un résident du secteur du port de Québec, mais il effectue régulièrement des excursions vers le secteur du pont de l'île d'Orléans. 162

Figure 106 : Exemples d'itinéraires empruntés par les anguilles d'Amérique argentées dans le secteur du pont de l'île d'Orléans lors de leur migration vers la mer en 2013 : le transit s'effectue de l'amont vers l'aval de façon linéaire. Le dégradé du vert au rouge représente les positions initiales (vert) vers les positions terminales (rouge). 164

Figure 107 : Carte générale de la position des récepteurs dans le fleuve Saint-Laurent, chaque point orangé représentant un récepteur (haut) et graphique du patron de déplacement d'une anguille d'Amérique au stade argenté (n° 5653) suivie en 2013. L'axe des ordonnées indique le temps écoulé. L'axe des abscisses représente la distance linéaire du fleuve Saint-Laurent depuis le lac Saint-Louis. Les lignes verticales grises représentent l'emplacement et la période de déploiement des récepteurs de chaque secteur du fleuve couvert. Les points rouges représentent la détection de l'individu par les récepteurs des différents secteurs. Les lignes pointillées entre les points rouges représentent les déplacements de l'individu entre les secteurs. Dans ce cas-ci, l'anguille se déplace progressivement de la région de Montréal vers l'estuaire moyen qu'elle quitte à la fin du mois d'octobre. Elle n'effectue qu'un court passage dans le secteur du pont de l'île d'Orléans. 165

Figure 108 : Espèces de moules trouvées dans le secteur du pont de l'île d'Orléans : en a) elliptio de l'Est; en b) lampsile rayée; en c) ligumie noire; et en d) lampsile rayée infestée par des Dreissenidés. 170

Figure 109 : Illustration de l'écrevisse à épines (*Orconectes limosus*), tirée de Dubé et Desroches, 2007. 173

Introduction

Contexte et enjeux

Le secteur du pont de l'île d'Orléans est un lieu propice à une riche biodiversité aquatique. En effet, l'hétérogénéité des habitats, les importantes amplitudes des marées (jusqu'à 6 m) et sa position à la limite de la zone de transition saline de l'estuaire du Saint-Laurent font de ce secteur un milieu particulier pour les activités biologiques. Néanmoins, nous disposons actuellement de peu de connaissances sur la faune aquatique et ses habitats dans ce secteur. Par ailleurs, le ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports (MTMDET) a amorcé un projet visant à aménager un nouveau lien routier pour l'île d'Orléans et désire réaliser ce projet en minimisant ses impacts sur la faune aquatique et ses habitats. Comme ce projet sera assujéti au Règlement sur l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement (chapitre Q-2, r.23) et que les connaissances actuelles sont limitées quant à la faune aquatique et à ses habitats, une entente est intervenue entre le MTMDET et le ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF), aujourd'hui le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP), afin d'établir l'état référence de la faune aquatique et de ses habitats dans le secteur du pont de l'île d'Orléans.

Objectifs

Objectif général

L'objectif général de l'entente mentionnée précédemment est d'établir l'état référence des espèces aquatiques et de leurs habitats et de modéliser le milieu biophysique en vue d'émettre des avis fauniques relatifs à la construction d'un nouveau lien routier pour l'île d'Orléans. Une attention particulière a été portée à cinq espèces de poissons en situation précaire selon la Loi sur les espèces menacées et vulnérables du Québec (chapitre E-12.01) ainsi que selon la Loi sur les espèces en péril au Canada (L.C. 2002, ch. 29), soit le bar rayé, l'alose savoureuse, l'éperlan arc-en-ciel de la population du sud de l'estuaire, l'esturgeon jaune et le saumon atlantique (Tableau 1). Bien que l'anguille d'Amérique et l'esturgeon noir, des espèces en situation précaire, se trouvent également dans la région de Québec, ces espèces ont été, ou sont actuellement le sujet de nombreuses études dans le fleuve Saint-Laurent. Il apparaissait donc pertinent d'utiliser les données déjà disponibles à leur sujet et permettant de répondre aux objectifs du présent projet afin de concentrer les efforts d'acquisition de connaissances sur les espèces ou les populations moins bien documentées.

Tableau 1 : Liste des espèces de poissons en situation précaire selon la Loi sur les espèces menacées et vulnérables du Québec ou selon la Loi sur les espèces en péril au Canada (COSEPAC/LEP) fréquentant la région de Québec.

Nom français	Nom latin	LEMV	COSEPAC/LEP
Alose savoureuse	<i>Alosa sapidissima</i>	Vulnérable	Sans statut
Anguille d'Amérique	<i>Anguilla rostrata</i>	Susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable	Menacée (COSEPAC, 2012a)
Bar rayé	<i>Morone saxatilis</i>	Candidate	En voie de disparition (COSEPAC, 2012b)
Éperlan arc-en-ciel, pop. du sud de l'estuaire	<i>Osmerus mordax</i>	Vulnérable	Sans statut
Esturgeon jaune	<i>Acipenser fulvescens</i>	Susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable	Menacée (COSEPAC, 2006)
Esturgeon noir	<i>Acipenser oxyrinchus</i>	Susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable	Menacée (COSEPAC, 2011a)
Saumon atlantique	<i>Salmo salar</i>	Sans statut	Préoccupante (COSEPAC, 2010)

Objectifs spécifiques

Afin d'atteindre l'objectif général de l'entente, deux grands objectifs spécifiques ont été établis. Le premier concerne la caractérisation de l'habitat et le deuxième, la faune aquatique.

Objectif spécifique à la caractérisation de l'habitat

L'objectif spécifique à la caractérisation de l'habitat porte sur la description et la modélisation de l'habitat physique des espèces aquatiques.

De manière plus précise, cet objectif visera à :

1. Décrire l'évolution de la température de l'eau;
2. Raffiner les mesures topographiques ;
3. Raffiner les descriptions du substrat;
4. Produire un modèle numérique de terrain à haute résolution spatiale.

Objectif spécifique à la faune aquatique

L'objectif spécifique qui porte sur la faune a trait à la documentation de l'utilisation de l'habitat par les espèces aquatiques pour leur reproduction, leur alimentation et leurs déplacements.

De manière plus précise, cet objectif visera à :

1. Documenter les espèces présentes et à estimer leur abondance dans le temps et dans l'espace;
2. Répertorier les habitats de reproduction et à documenter la chronologie des activités de reproduction;
3. Décrire l'utilisation spatio-temporelle du secteur à l'étude et les déplacements entre différents habitats pour trois espèces cibles : l'esturgeon jaune, le bar rayé et le saumon atlantique au stade de saumoneau.

Ce document est la première partie du rapport final et vise à présenter et à discuter les résultats obtenus pour la description physique du secteur à l'étude ainsi que les inventaires biologiques. La deuxième partie du rapport final traitera en détail de la modélisation de l'habitat. Ce rapport couvrira entre autres la modélisation hydrodynamique (modèle numérique de terrain, données hydrologiques, simulations hydrodynamiques) et la caractérisation des habitats (sélection d'espèces clés et modélisation de leurs habitats). Les travaux de modélisation de l'habitat sont menés conjointement avec le Service météorologique d'Environnement Canada qui possède une expertise de pointe dans le domaine.

Description de l'aire d'étude

Contexte géographique et description physique

L'aire d'étude se situe dans la région de la Capitale-Nationale, dans le chenal de l'île d'Orléans (bras nord de l'île d'Orléans), de la pointe ouest de l'île jusqu'à la hauteur de L'Ange-Gardien (Figure 1). L'aire d'étude inclut également la rivière Montmorency, de son embouchure au pied de la chute (Figure 2). La chute Montmorency est un obstacle infranchissable pour la faune aquatique, qui empêche les échanges de l'aval de la chute vers l'amont de la rivière. À sa confluence avec le fleuve Saint-Laurent, l'écoulement de l'eau de la rivière Montmorency crée un panache qui modifie son orientation au rythme des marées (Figure 3).

Malgré la proximité de la zone de transition saline du Saint-Laurent, l'eau de l'aire d'étude est douce. Le débit annuel moyen du fleuve à la hauteur de Québec est d'environ 12 600 m³/s (Rondeau et al. 2000), mais seulement 10 % de cette eau s'écoule par le bras nord de l'île. Néanmoins, comme il s'agit d'un corridor étroit d'environ 1,5 à 2 km où l'amplitude marégraphique est forte, s'élevant jusqu'à 6 m, le courant peut y être rapide. Les marées, qui provoquent une inversion du courant deux fois par jour (Pêches et Océans Canada, 2008), créent des habitats

distincts : la zone intertidale (zone comprise dans la limite des hautes et des basses eaux) et la zone subtidale (zone submergée en permanence).

La zone intertidale de l'aire d'étude, autant en rive sud que nord, occupe une part importante du territoire à l'étude et est dominée par des herbiers de scirpe ainsi que par des étendues de vase. La rive nord est fortement artificialisée par du remblayage et l'autoroute Dufferin-Montmorency (Figure 3). La zone subtidale se caractérise par un chenal relativement étroit d'environ 500 m de largeur, des pentes abruptes et une profondeur atteignant jusqu'à 18 m. Le fond est principalement composé de rochers et de vase.

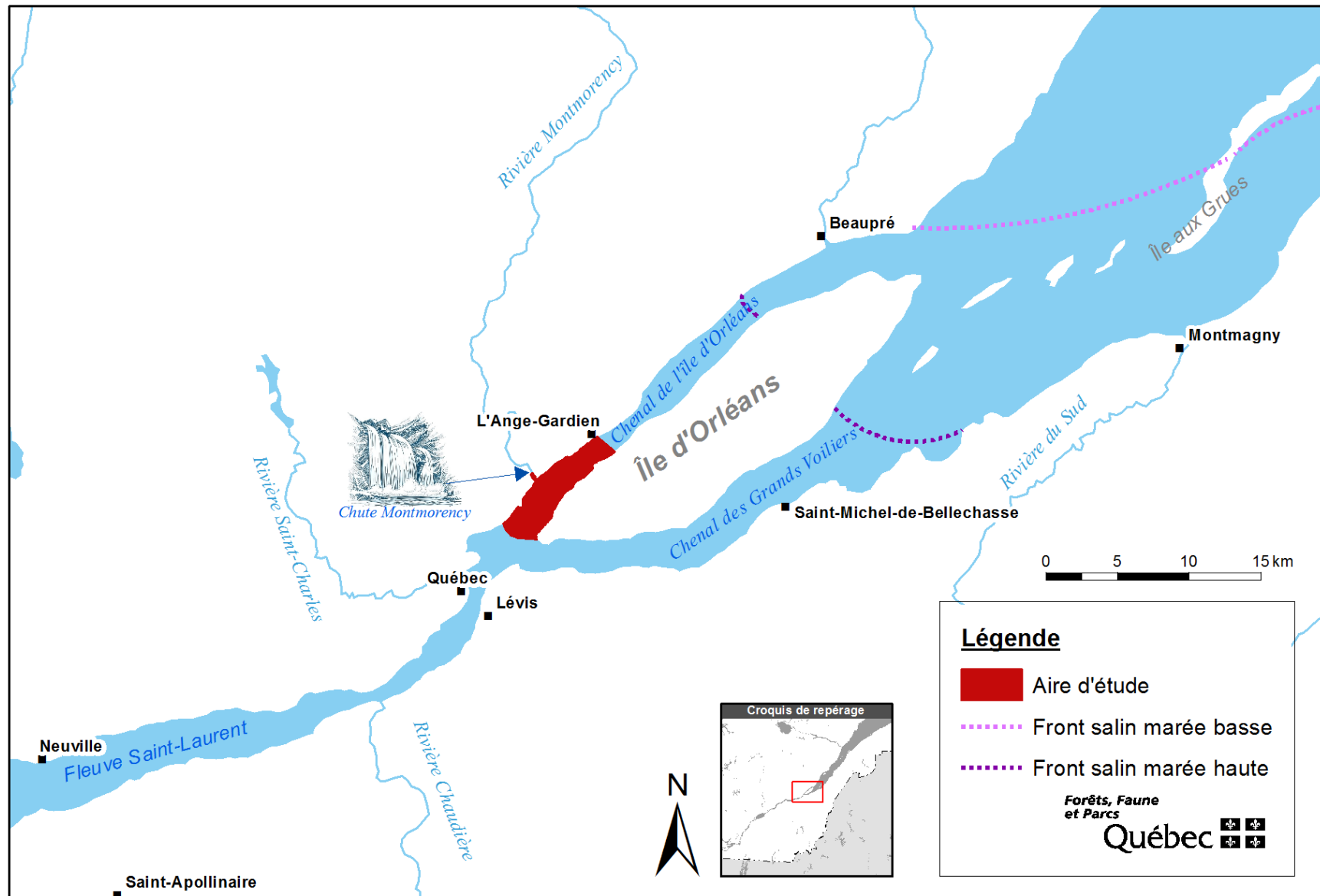


Figure 1 : Localisation de l'aire d'étude et limite du front salin selon Gagnon et al. (1993).



Crédit photo: Vincent Blouin Demers

Figure 2 : Rivière Montmorency de son embouchure (bas) à la chute Montmorency (haut), lors d'une marée descendante.



Crédit photo: Vincent Blouin Demers

Figure 3 : Rive nord de l'aire d'étude. On remarque l'autoroute Dufferin-Montmorency au centre de la photo et le panache d'eau de la rivière Montmorency à marée descendante (masse d'eau foncée), à sa confluence avec le fleuve Saint-Laurent (masse d'eau pâle).

Délimitation des secteurs

L'aire d'étude a été divisée en deux secteurs d'intérêt : le secteur du pont et un secteur témoin. De 1,5 km en amont à 1,5 km en aval du pont de l'île d'Orléans se situe le « secteur du pont » qui est le secteur névralgique de cette étude (Figure 4). Ce secteur a été délimité en tenant compte des tracés étudiés par le MTQ à l'hiver 2012 et de l'activité biologique possible. Le secteur du pont inclut également une partie de la rivière Montmorency, de l'embouchure au pied de la chute Montmorency. Le deuxième secteur, appelé le « secteur témoin », s'étend de la pointe ouest de l'île d'Orléans en amont jusqu'à L'Ange-Gardien en aval (Figure 4). Les données recueillies dans ce secteur serviront essentiellement à estimer l'importance relative du secteur du pont par rapport à un plus large territoire du chenal de l'île d'Orléans.

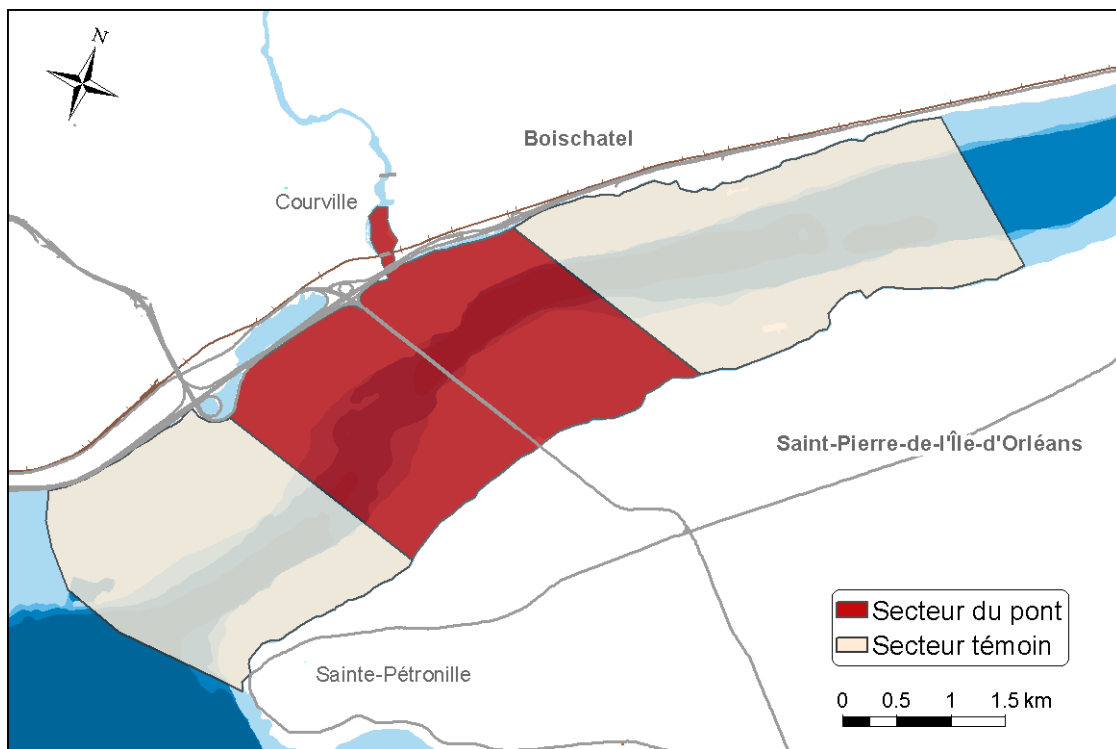


Figure 4 : Localisation du secteur du pont et du secteur témoin.

Caractérisation de l'habitat physique

Il est nécessaire de s'intéresser aux caractéristiques physiques qui influencent l'environnement dans lequel évoluent les animaux aquatiques, car ces dernières influencent fortement leur distribution ainsi que leurs activités, tels la fraie et la migration (Nilo et al. 1997, Garceau et al. 2007, Marchand et deLafontaine 2003). Comme les données sur l'environnement physique disponibles pour le secteur du pont de l'île d'Orléans étaient insuffisantes pour décrire et modéliser l'habitat du poisson, des travaux d'échantillonnage ont eu lieu en 2012 et 2013. Ces travaux visaient principalement à raffiner la description de la topographie et du substrat, à évaluer l'hétérogénéité de la température de l'eau dans le secteur ainsi qu'à caractériser à fine échelle l'environnement physique du bassin de la rivière Montmorency. La base de connaissances physiques cumulées pour le secteur du pont permettra de décrire l'habitat des principales espèces de poissons répertoriées pour ce projet. Dans le cas de l'esturgeon jaune et du baret, les données permettront également de modéliser l'habitat à fine échelle. Ce mandat a été confié au Service météorologique d'Environnement Canada qui possède une expertise reconnue en modélisation des habitats. La modélisation de l'habitat permettra de mesurer les effets de plusieurs scénarios sur l'habitat du poisson (p. ex., situation actuelle, en chantier, en activité) et de produire des avis pour orienter les choix permettant d'atténuer les répercussions sur l'habitat du poisson. Les modèles d'habitats seront présentés en détail dans la seconde partie du rapport final.

Matériel et méthodes

Description de la topographie

Pour décrire la topographie du fleuve dans la zone à l'étude, les cartes bathymétriques à l'échelle de 1:50 000 de Pêches et Océans Canada (MPO) ont été utilisées (isobathes de 3 m). La description de la bathymétrie a par la suite été raffinée avec des sondages réalisés par le Service météorologique du Canada d'Environnement Canada (isobathes de 1 m).

Description du substrat

Un inventaire du substrat a été réalisé durant la saison de travaux 2012 dans le secteur du pont de l'île d'Orléans afin de le caractériser à fine échelle. Cet inventaire a été effectué à l'aide d'une benne à sédiments de type grande ponar en suivant une grille de 126 stations équidistantes de 250 m (Figure 5). Les dimensions de la benne utilisée étaient de 23 cm de largeur sur 23 cm de longueur pour une capacité totale de 8,2 L. Un coup de benne était donné à chaque station et la composition du substrat était évaluée dans un bac à bord du bateau à l'aide d'une charte des classes de tailles (annexe 1). La dominance des substrats était évaluée visuellement, du substrat dominant au 2^e substrat sous-dominant. Lorsqu'aucun substrat n'était récolté avec la benne, jusqu'à trois coups de benne supplémentaires étaient donnés afin d'essayer de collecter du matériel. Après quatre coups de benne, si aucun substrat n'avait été échantillonné, la station était considérée comme composée de « fond dur » impossible à caractériser avec ce type d'engin. Dans ces cas, s'il y avait des traces d'un autre substrat, ce dernier était inscrit comme sous-dominant. En plus de l'inventaire du substrat à la benne Ekman, la nature du substrat et de

la végétation était évaluée aux stations de seine à chaque échantillonnage (pour plus de détails, voir section 3.2).

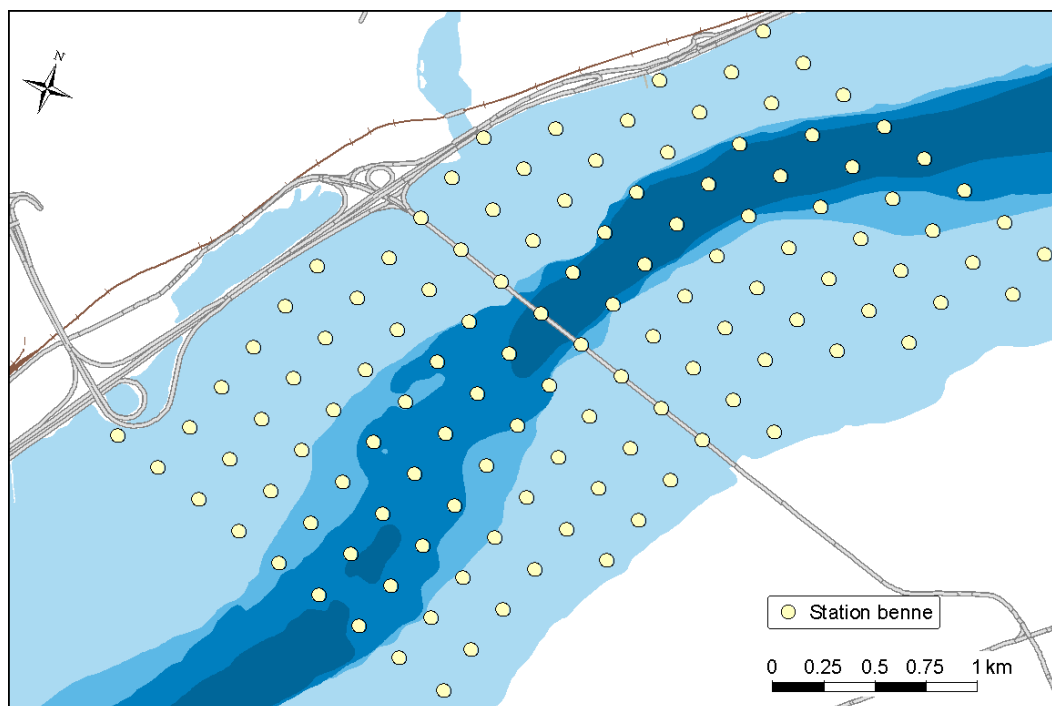


Figure 5 : Localisation des stations visant à caractériser le substrat par la benne Ekman.

Suivi des températures de l'eau et de l'air

Afin d'évaluer l'hétérogénéité spatiale de la température de l'eau et d'alimenter les modèles d'habitats à une résolution élevée, la température de l'eau a été enregistrée à l'aide de thermographes de modèle UTBI-001 de la marque ONSET®. En 2012, six stations ont été installées de la fin avril au début novembre (Figure 6). Les appareils étaient programmés pour effectuer une lecture toutes les heures. Une station, située dans le bassin même de la rivière Montmorency, permettait de mesurer directement la température de ce tributaire. Les cinq autres stations étaient situées dans le chenal de l'île d'Orléans, quatre sur la rive nord et une sur la rive sud. En 2013, la fréquence et la couverture spatiale des mesures de température ont été augmentées afin d'obtenir une résolution spatiale plus élevée. Ainsi, 17 stations ont été installées de la fin avril au début novembre (Figure 7). Quatorze de ces stations étaient installées directement dans le chenal de l'île d'Orléans, soit cinq sur la rive nord, cinq sur la rive sud et quatre au centre du chenal. En plus de ces stations, deux stations se situaient dans la rivière Montmorency, une en aval des chutes et l'autre en amont des chutes. Une station se situait aussi à Sainte-Pétronille, sur l'île d'Orléans, pour mesurer la température de l'air. En 2013, tous les thermographes étaient programmés pour prendre une lecture de température toutes les 15 minutes. Les données de température de l'eau prises toutes les 15 minutes à la station marégraphique n° 3248 de Pêches et Océans Canada, localisée à Québec, dans le Vieux-Port, ont aussi été utilisées pour les analyses (Figure 8).

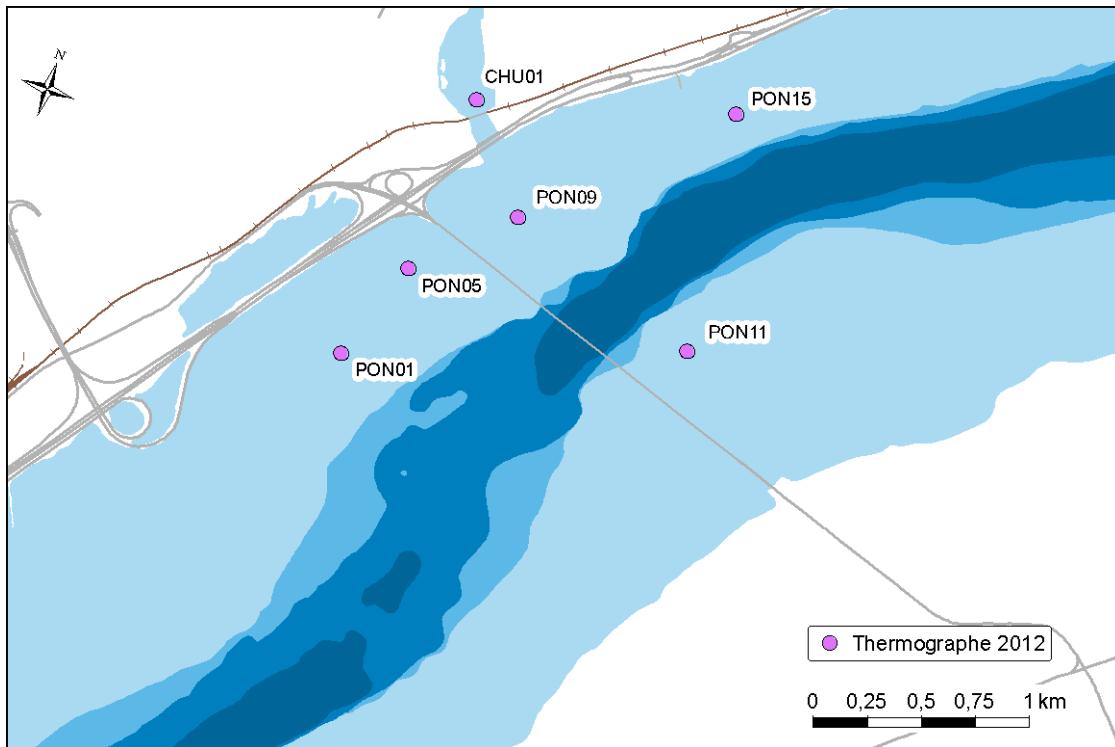


Figure 6 : Localisation des thermographes en aval de la chute Montmorency (CHU01) et dans le chenal de l'île d'Orléans (PON_) en 2012.

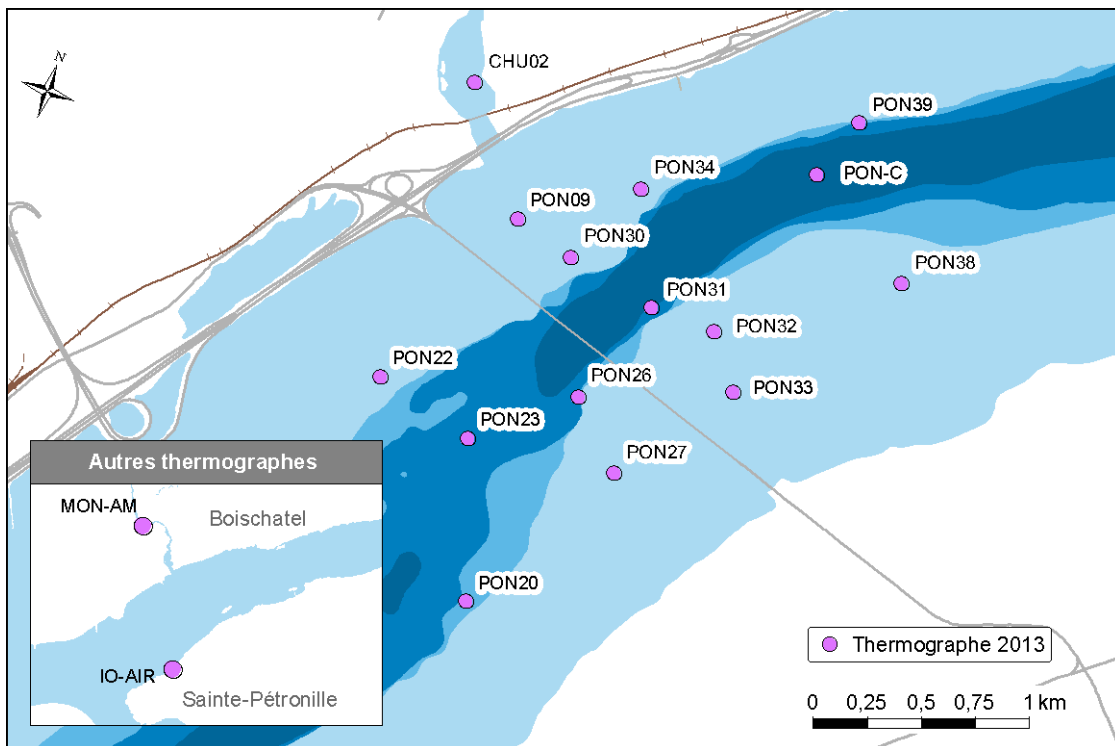


Figure 7 : Localisation des thermographes dans le chenal de l'île d'Orléans (PON_), en amont de la chute Montmorency (MON-AM) et en aval de celle-ci (CHU02), ainsi que sur l'île d'Orléans (IO-AIR, température de l'air) en 2013.

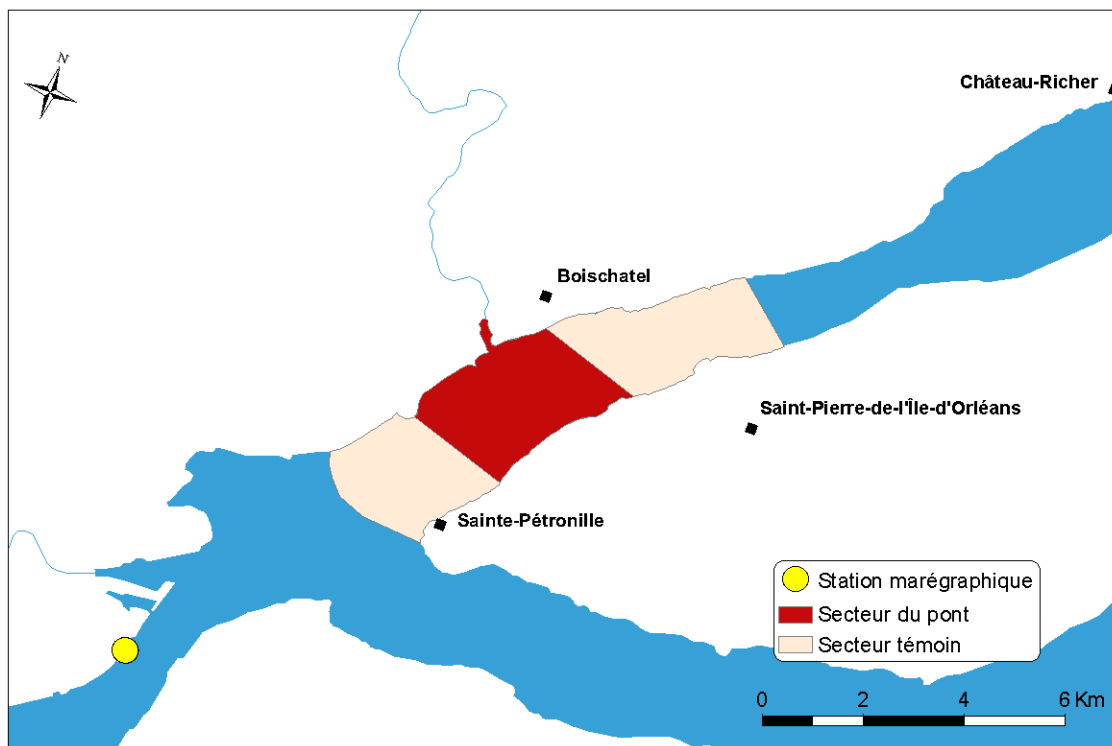


Figure8 : Station marégraphique n° 3248 de Pêches et Océans Canada localisée à Québec, dans le Vieux-Port.

Suivi des marées

Les données de marée ont été enregistrées à la station marégraphique n° 3248 de Pêches et Océans Canada, puisqu'il s'agit de la station marégraphique la plus près du secteur du pont de l'île d'Orléans (Figure8). Lorsque des données manquaient, la table de prédictions des marées pour cette station a été utilisée afin de compléter la série de données. Ces données seront utilisées dans les modèles d'habitats produits par le Service météorologique d'Environnement Canada.

Projet connexe

Caractéristiques physiques du bassin de la rivière Montmorency

La caractérisation de l'habitat physique du bassin de la rivière Montmorency a été réalisée par la Société des établissements de plein air du Québec (SEPAQ) qui gère actuellement le parc de la Chute-Montmorency. En 2013, la firme WSP Canada a été mandatée par la SEPAQ pour effectuer une description des faciès d'écoulement et des substrats de ce secteur, des pieds de la chute Montmorency jusqu'à la confluence de la rivière avec le fleuve Saint-Laurent. Cette description a été réalisée à partir de photographies aériennes à haute résolution et d'images satellitaires provenant de GoogleEarth. La topographie de ce secteur a aussi été relevée à l'aide d'un appareil GPS à 5 000 points de mesure. L'ensemble de ces données ont été mises à notre disposition au printemps 2014 et seront utilisées dans les modèles d'habitats.

Traitement des données

La majorité des données collectées pour caractériser l'habitat physique du secteur du pont de l'île d'Orléans seront traitées par le Service météorologique du Canada d'Environnement Canada et serviront à produire les modèles d'habitats. Comme cette modélisation n'est actuellement pas terminée et que la température de l'eau est une variable déterminante dans les activités biologiques des espèces aquatiques (Hodgson et Quinn 2002; Peer et Miller 2014), aux fins du présent rapport, un traitement de base des données de température a été effectué. Ce traitement visait principalement à évaluer l'hétérogénéité spatiale de la température de l'eau. Les données ont été traitées afin de vérifier si la température de l'eau de la rivière Montmorency et celle du chenal de l'île d'Orléans variaient au fil des mois et si la température de l'eau du chenal de l'île d'Orléans différait de celle enregistrée au port de Québec. Les données de température ont aussi été utilisées pour établir des saisons hydrologiques qui reflètent la biologie des espèces aquatiques.

Hétérogénéité spatiale de la température de l'eau

Afin de vérifier si les températures de l'eau à toutes les stations de la rivière Montmorency, du chenal de l'île d'Orléans et de la station marégraphique du port de Québec étaient égales ou différentes entre elles, seules les données de température de 2013 ont été utilisées. Ces données offraient une meilleure couverture temporelle et spatiale que celles obtenues en 2012. Les jeux de données pour les analyses statistiques ont été préparés en calculant la température mensuelle moyenne pour chaque station. Les stations pour lesquelles des mois manquaient ont été éliminées (CHU01, PON31 et PON39). Par la suite, le logiciel R a été utilisé pour analyser la variance à mesures répétées pour le mois afin de déterminer si les températures mensuelles étaient les mêmes à toutes les stations (R Core Team, 2013). Une analyse de contraste de Tukey a ensuite été réalisée pour déterminer quelles paires de stations affichaient des températures moyennes différentes ou égales. Avant de procéder à ces analyses, on a vérifié que les postulats de normalité et d'homogénéité de la variance des résidus étaient respectés.

Détermination de saisons biologiques par les températures

Les saisons basées sur les méthodes astronomiques ne tiennent pas compte des variables environnementales qui régissent l'activité de la faune ichthyologique comme la température de l'eau. Afin de définir des périodes de temps qui refléteraient avec plus de précision les activités des poissons, des « saisons biologiques » ont été établies. Dans le cadre des présents travaux, le terme « saisons biologiques » se définit comme étant la délimitation dans le temps de périodes qui influencent les processus biologiques de la faune aquatique. Ces saisons biologiques ont été déterminées à l'aide des températures journalières moyennes mesurées par les thermographes localisés à la station marégraphique du port de Québec. Ces derniers ont été utilisés, car ils offrent des données sur une période plus étendue (toute l'année) et parce que, en 2012, aucun thermographe dans le secteur de l'île d'Orléans ne se situait en zone subtidale. Cette situation a été corrigée en 2013 où de nombreux thermographes quadrillaient le secteur du pont de l'île d'Orléans. La saison du printemps a été définie par des valeurs de température de l'eau supérieures à 2 °C concomitantes à une augmentation progressive des températures jusqu'à l'atteinte d'un plateau (environ 20 °C). La saison de l'été a été définie de l'atteinte du plateau jusqu'à une diminution progressive des températures. La saison de

l'automne a été définie par la diminution progressive des températures jusqu'à l'atteinte d'un plateau d'environ 2 °C. Enfin, la saison de l'hiver a été définie par un plateau des températures d'environ 0 °C (environ -2 °C à 2 °C) stable dans le temps.

Résultats et discussion

Hétérogénéité spatiale de la température de l'eau

L'analyse des données de température de l'eau a montré qu'il y avait une différence significative dans la température mensuelle moyenne de l'eau entre les stations ($P < 0,0001$; Tableau 2).

Tableau 2 : Résultats de l'analyse de la variance à mesures répétées sur les données de températures mensuelles moyennes de 2013.

Effet	Degré de liberté	F	P
Intercept	1	712,19	< 0,0001
Station	13	13,95	< 0,0001
Mois	6	1898,16	< 0,0001

L'analyse de contraste a permis de préciser que cette différence est significative seulement entre les stations situées dans le chenal de l'île d'Orléans et la station de la rivière Montmorency, mais non significative entre les stations situées dans le chenal de l'île d'Orléans (Tableau 3, Figure 9). Cela signifie que la température du fleuve est relativement uniforme dans le secteur du pont de l'île d'Orléans. Il convient toutefois de préciser que, bien qu'à l'échelle mensuelle la température soit uniforme aux différentes stations, une certaine hétérogénéité locale est enregistrée dans les températures moyennes journalières (Figure 10). Les différences entre les stations s'expliquent principalement par leur localisation. Ainsi, la température des stations situées en zone intertidale varie davantage que la température des stations situées en zone subtidale. Les stations situées en zone intertidale sont parfois exondées et parfois tout juste sous la surface de l'eau, ce qui influence probablement la température.

La différence de température moyenne mensuelle entre le chenal de l'île d'Orléans et la rivière Montmorency, qui est de 3,41 °C (\pm SE 0,12 °C), est significative. Il est peu surprenant d'enregistrer une température plus froide dans la rivière Montmorency étant donné que celle-ci prend sa source à environ 80 km au nord du fleuve Saint-Laurent et traverse la réserve faunique des Laurentides avant de se jeter dans le fleuve. La différence de température enregistrée entre les deux cours d'eau devra être prise en compte dans les analyses subséquentes, car elle pourrait fortement influencer les processus biologiques (p. ex., croissance, déclenchement de la fraie).

L'absence de différence significative entre les valeurs de températures enregistrées à la station marégraphique du port de Québec et celles obtenues aux stations du chenal de l'île d'Orléans (Tableau 3, Figure 11) signifie que les données obtenues dans le port de Québec pourraient être utilisées, en temps réel, afin d'estimer certains paramètres biologiques dans le secteur du pont de l'île d'Orléans, comme le moment de déclenchement de la fraie.

Tableau 3 : Températures moyennes estimées pour chaque station en 2013 (mai à novembre) et différences statistiques entre les stations. Les stations associées à une même lettre sont considérées comme non significativement différentes.

Secteur	Station	Moyenne des températures (°C)	Différence significative entre les stations
Rivière Montmorency	MON_AM	12,57	A
Chenal de l'île d'Orléans	PON_C	16,34	B
Chenal de l'île d'Orléans	PON09	15,41	B
Chenal de l'île d'Orléans	PON20	16,44	B
Chenal de l'île d'Orléans	PON22	16,24	B
Chenal de l'île d'Orléans	PON23	16,42	B
Chenal de l'île d'Orléans	PON26	16,42	B
Chenal de l'île d'Orléans	PON27	15,67	B
Chenal de l'île d'Orléans	PON30	15,97	B
Chenal de l'île d'Orléans	PON32	15,64	B
Chenal de l'île d'Orléans	PON33	15,28	B
Chenal de l'île d'Orléans	PON34	15,67	B
Chenal de l'île d'Orléans	PON38	16,18	B
Port de Québec	POR	15,97	B

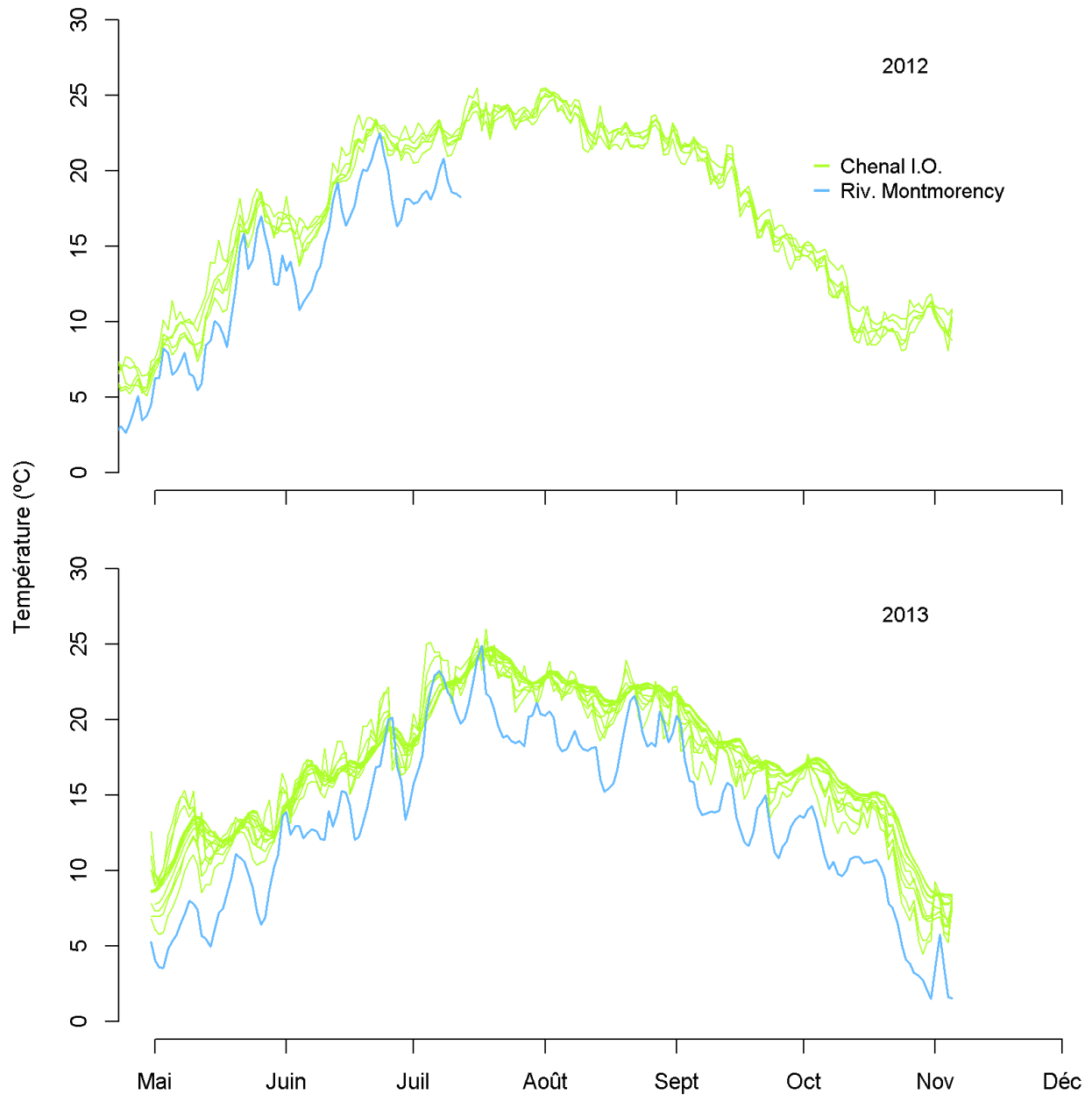


Figure 9 : Évolution de la température journalière moyenne pour les thermographes situés dans le chenal de l'île d'Orléans et ceux de la rivière Montmorency en 2012 (haut) et 2013 (bas).

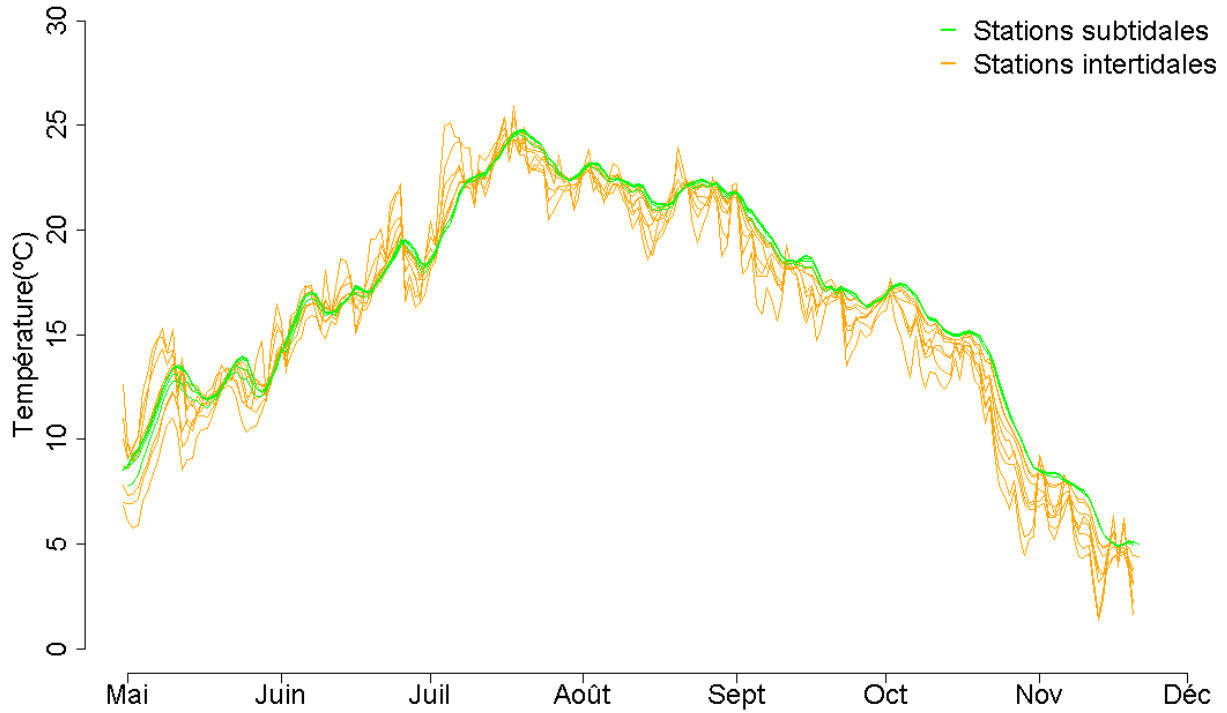


Figure 10 : Évolution de la température journalière moyenne en 2013 pour les thermographes situés dans le chenal de l'île d'Orléans en zone subtidale (vert) et en zone intertidale (orangé).

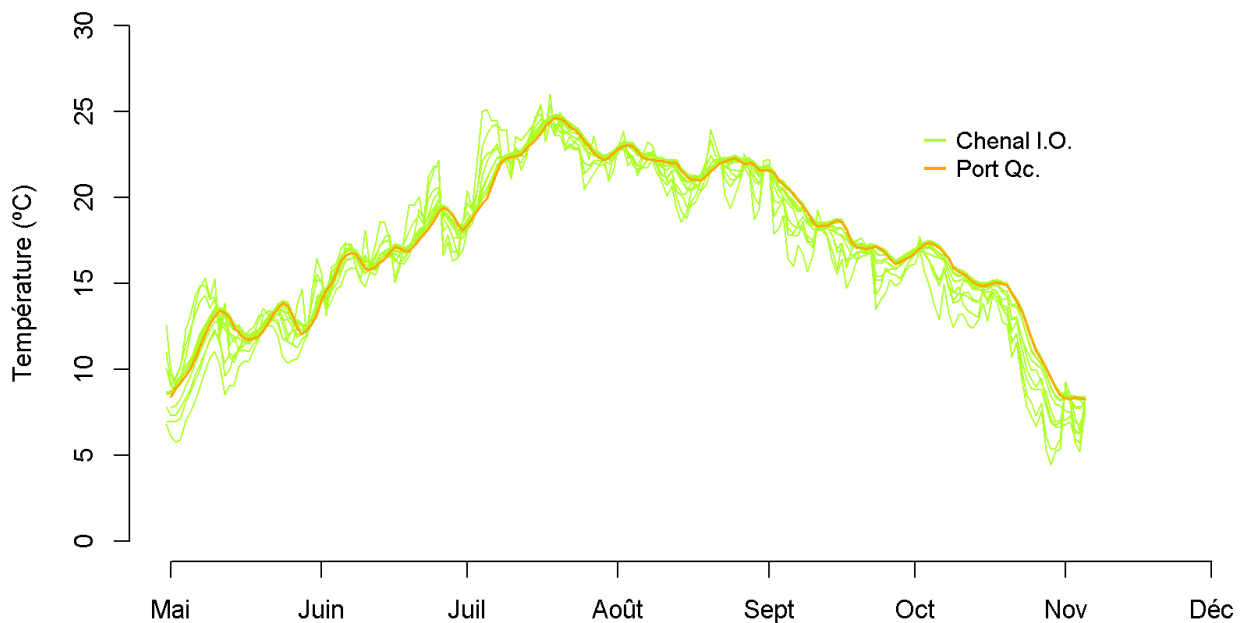


Figure 11 : Évolution de la température journalière moyenne en 2013 des thermographes situés dans le chenal de l'île d'Orléans et à la station marégraphique du port de Québec.

Détermination de saisons biologiques par les températures

L'analyse des températures journalières de l'eau enregistrées au port de Québec en 2012 et 2013 a permis d'établir quatre saisons biologiques décalées par rapport aux saisons classiques des climats tempérés, définies par les solstices et les équinoxes. Il a ainsi été déterminé que l'hiver débute le 1^{er} décembre, le printemps, le 20 mars, l'été, le 1^{er} juillet et l'automne, le 1^{er} septembre (Figure 12). Ces limites de « saisons biologiques » se rapprochent fortement des « saisons hydrologiques » définies par Marchand et deLafontaine (2003) à Saint-Nicolas, un peu en amont de Québec. Pour délimiter leurs saisons hydrologiques, ces auteurs ont utilisé le débit du fleuve Saint-Laurent à la hauteur de Saint-Nicolas ainsi que la température de l'eau. La principale différence entre les saisons hydrologiques établies par ces auteurs et les saisons biologiques que nous avons définies est le moment où débute le printemps (un mois plus tôt pour Marchand et deLafontaine, 2003). Les différences entre nos résultats s'expliquent principalement par l'utilisation par Marchand et deLafontaine du débit moyen quotidien pour établir les saisons hydrologiques plutôt que par la température moyenne journalière.

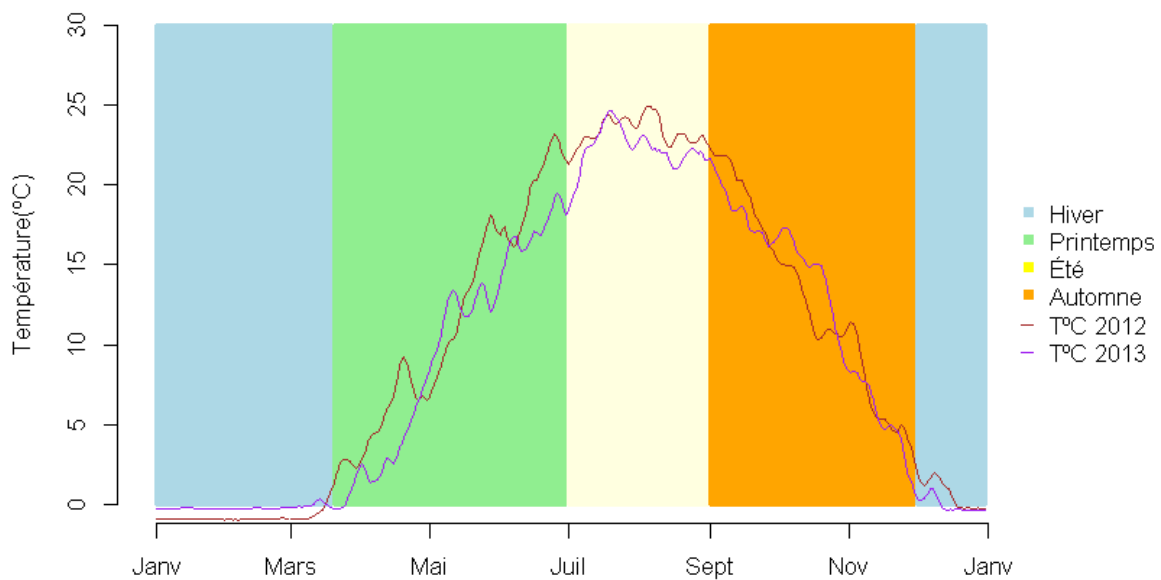


Figure 12 : Évolution de la température de l'eau à la station marégraphique du port de Québec et plage temporelle des saisons biologiques établies.

Communauté ichthyologique du secteur du pont

Revue des connaissances

La caractérisation des communautés de poissons est une étape fondamentale pour mieux comprendre et gérer les effets potentiels des activités anthropiques sur celles-ci. Néanmoins, la caractérisation d'une communauté peut se révéler une tâche ardue considérant que la présence et l'abondance des différentes espèces occupant un territoire donné peuvent considérablement varier selon les saisons et les années.

À notre connaissance, il n'existe pas d'étude de la communauté ichthyologique propre au secteur du pont de l'île d'Orléans. Néanmoins, il existe quelques études sur les communautés ichthyologiques de la région de Québec (voir Paquet 1974, Trencia 1990, Gagnon et al. 1993, Fournier et Deschamps 1997, Marchand et deLafontaine 2003). Ces études suggèrent qu'un peu plus d'une cinquantaine d'espèces de poissons fréquentent la grande région de Québec, soit entre Saint-Nicolas et la pointe ouest de l'île d'Orléans, y compris le secteur du pont de l'île d'Orléans (Marchand et deLafontaine 2003, Gagnon et al. 1993, Fournier et Deschamps 1997). De cette cinquantaine d'espèces, sept sont en situation précaire selon la Loi sur les espèces menacées et vulnérables du Québec ou selon la Loi sur les espèces en péril du Canada (tableau 2). Dans la partie amont du chenal de l'île d'Orléans, la communauté intertidale est dominée par le fondule barré (*Fundulus diaphanus*) et le baret (*Morone americana*). Quant à la zone subtidale, elle est dominée par les meuniers rouges (*Catostomus catostomus*) et noirs (*C. commersonii*) ainsi que par les dorés noirs (*Sander canadensis*) et jaunes (*S. vitreus*) (Gagnon et al. 1993).

Les derniers inventaires ichthyologiques menés dans le secteur du pont de l'île d'Orléans datent des années 1970. Ces inventaires faisaient partie d'une vaste campagne d'échantillonnage de la région de Québec (Paquet 1974). Ils visaient principalement les poissons d'intérêt récréatif et sportif fréquentant la zone intertidale du fleuve au cours de l'été. Pour la zone comprise entre Les Écureuils–Sainte-Croix et la pointe ouest du chenal de l'île d'Orléans, 32 espèces de poissons appartenant à 16 familles ont été capturées. Les espèces les plus abondantes étaient le fondule barré, le poulamon (*Microgadus tomcod*), les meuniers rouges et noirs, la perchaude (*Perca flavescens*) et le baret. Il est cependant important de noter que les engins de pêche utilisés par Paquet (1974) ne permettaient pas un échantillonnage adéquat de l'ensemble de la communauté ichthyologique, dont les espèces de grandes tailles se trouvant en zone subtidale. Devant le peu de connaissances disponibles concernant la composition et l'abondance de la communauté ichthyologique fréquentant le secteur du pont de l'île d'Orléans, il s'avérait essentiel de dresser un inventaire exhaustif de la faune aquatique tenant compte de la variabilité temporelle des espèces afin d'évaluer avec justesse l'influence sur la faune aquatique de la construction et de la mise en service d'un nouveau lien routier vers l'île d'Orléans.

Matériel et méthodes

L'échantillonnage d'une communauté de poissons dans son ensemble est difficile étant donné la diversité des habitats occupés, la biologie des espèces et leur morphométrie. Plusieurs techniques complémentaires sont donc recommandées afin de maximiser les captures et d'obtenir une meilleure représentativité de la communauté (Kwak et Peterson, 2007). Lors de différents projets menés sur le fleuve Saint-Laurent, l'utilisation combinée de filets maillants benthiques et de seines de rivage s'est avérée efficace pour estimer la composition des communautés de poissons (Leclerc 1990, Fournier et Deschamps 1997, La Violette 2003). Cette approche a donc été retenue pour les travaux d'échantillonnage devant être menés dans le secteur du pont de l'île d'Orléans.

Travaux sur le terrain

Des inventaires normalisés ont été effectués mensuellement afin de documenter la fréquentation du secteur à l'étude par les espèces de poissons durant la période d'eau libre. Deux techniques complémentaires ont été utilisées, soit l'utilisation de filets maillants benthiques et celle de seines de rivage. Ces techniques ont d'abord été testées et validées pour le secteur du pont de l'île d'Orléans par une pêche d'essai menée en mai 2012. À la suite de la validation de ces méthodes, les inventaires ont été menés mensuellement de mai à novembre 2012 et d'avril à novembre 2013.

Les filets maillants benthiques utilisés étaient composés de huit panneaux consécutifs mesurant 7,6 m de longueur et 1,8 m de hauteur chacun. Ces panneaux étaient construits avec différentes grandeurs de mailles étirées (25, 38, 51, 64, 76, 102, 127 et 152 mm) et ils étaient assemblés en ordre croissant de grandeur des mailles étirées. Huit stations ont été échantillonnées à l'aide des filets maillants benthiques. Quatre de ces stations étaient situées dans le secteur à l'étude et quatre, dans le secteur témoin (Figure 13). Un seul filet maillant benthique était utilisé par station. Les filets maillants étaient installés au fond du cours d'eau, parallèlement au courant et de manière à capturer des espèces de poissons de tailles variables. Tous les filets maillants ont été déployés pour un minimum de 18 heures et un maximum de 24 heures et ont couvert la période débutant à 18 h et se terminant à 9 h. Tous les poissons capturés ont été réfrigérés et transportés au laboratoire dans les heures suivant la levée des engins de pêche afin d'être traités le plus rapidement possible à l'état frais.

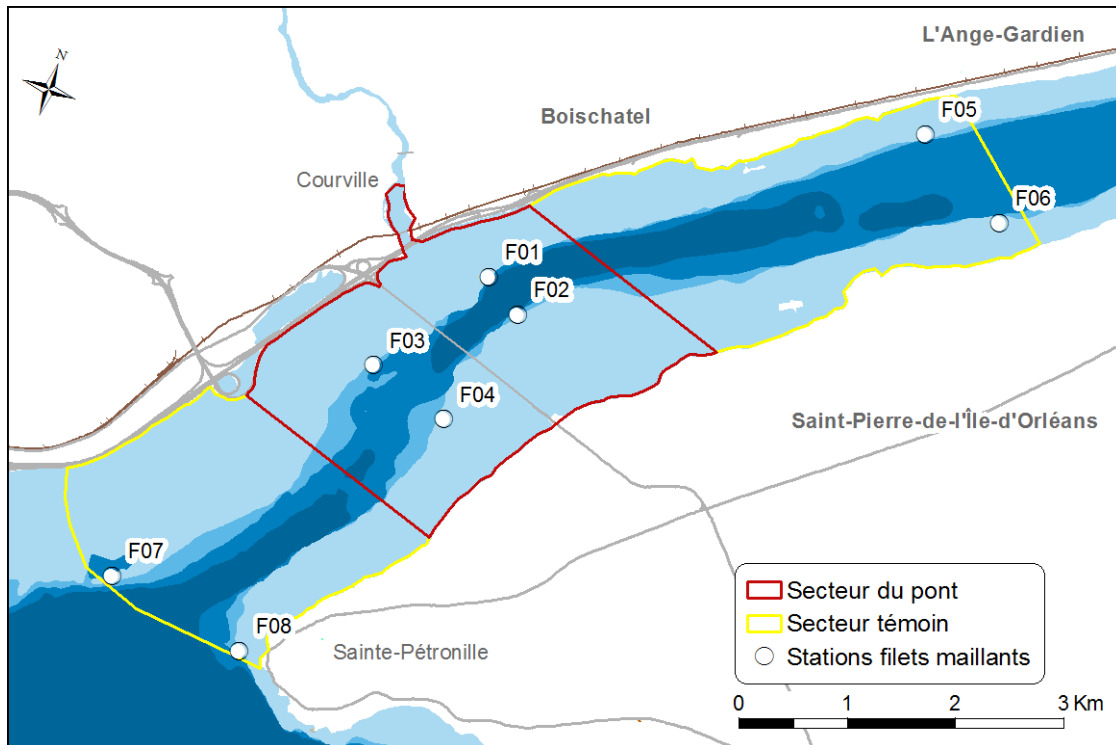


Figure 13 : Localisation des stations échantillonnées par le filet maillant benthique. Les stations F01 à F04 se situent dans le secteur du pont de l'île d'Orléans et les stations F05 à F08 se situent dans le secteur témoin.

Huit stations ont également été échantillonnées à l'aide de seines de rivage. La seine de rivage est utilisée en zone intertidale près du rivage et permet de capturer des espèces de plus petite taille que ce qui est possible avec le filet maillant benthique. La seine de rivage utilisée était composée d'un filet de 4,0 m de hauteur et de 12,5 m de longueur, avec une grandeur de mailles de 3,0 mm. Ce filet était muni d'une poche centrale de 1,52 m de longueur avec une ouverture de 1,22 m de diamètre. Quatre des stations de seine étaient situées dans le secteur à l'étude et quatre, dans le secteur témoin (Figure 14). Deux coups de seine ont été effectués à chaque station à une profondeur variant de 0,5 m à 1,0 m. Tous les poissons capturés ont été immédiatement euthanasiés, puis conservés dans de l'éthanol 95 % jusqu'à leur traitement en laboratoire.

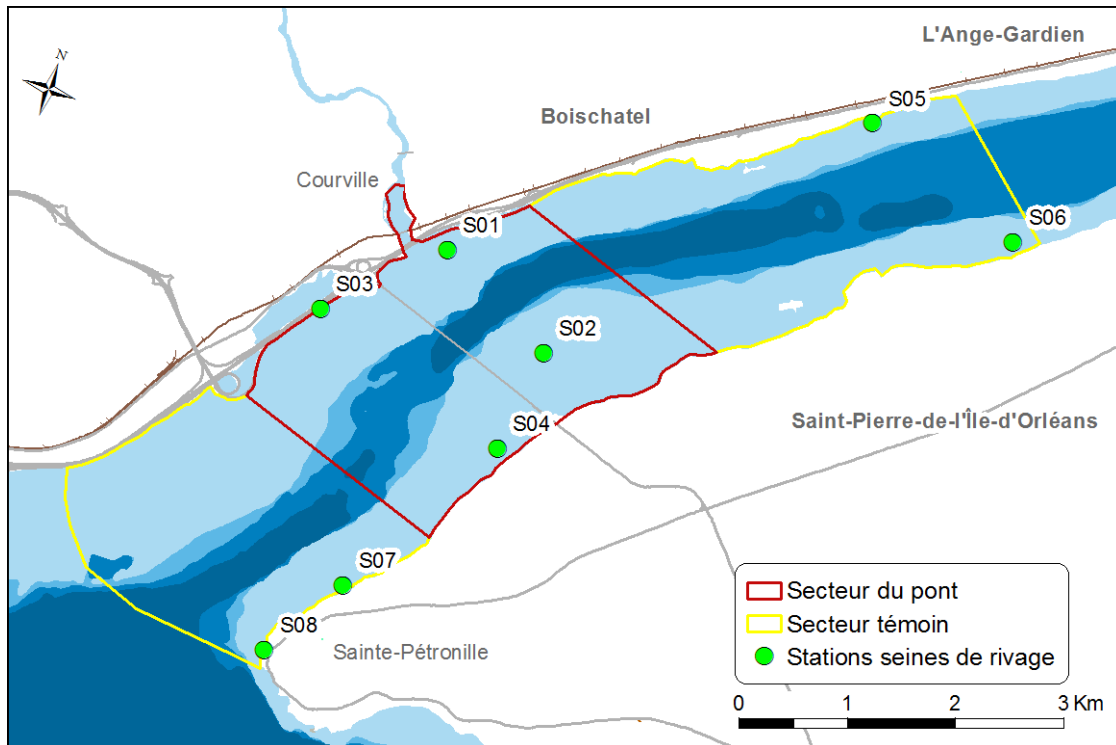


Figure 14 : Localisation des stations échantillonnées par la seine de rivage. Les stations S01 à S04 se situent dans le secteur du pont de l'île d'Orléans et les stations S05 à S08 se situent dans le secteur témoin.

Il est à noter que, pour des raisons d'ordre logistique, aucun inventaire au filet maillant et à la seine de rivage n'a été effectué dans le secteur témoin en mai 2012. De même, l'ensemble des stations de seine de rivage n'ont pu être inventoriées en avril 2013 à cause de conditions météorologiques difficiles. Il en est de même pour les stations S04 à S08 en novembre 2013

Traitement en laboratoire

Tous les poissons capturés à la seine de rivage et au filet maillant ont été identifiés à l'espèce en se basant sur des critères morphologiques ou sur des analyses génétiques, dénombrés et mesurés (pour les méthodes d'identification génétique, voir l'annexe 3). Pour plusieurs espèces d'intérêt, en plus de la longueur et de la masse, le sexe a été déterminé et le stade de développement des gonades, estimé. Les otholithes, les opercules ou les écailles ont également été prélevées pour déterminer l'âge des poissons.

Projet connexe

Suivi du recrutement de la population de bars rayés du Saint-Laurent

Dans le cadre du Programme de rétablissement du bar rayé, un réseau d'échantillonnage standardisé a été développé en 2012 (Pelletier 2013) et mis en place en 2013 afin de mesurer un indice d'abondance des jeunes de l'année pour cette espèce. Ce réseau de suivi s'étend dans la

portion estuarienne du Saint-Laurent comprise entre Bécancour et L'Isle-Verte sur la rive sud et entre Trois-Rivières et La Malbaie sur la rive nord, y compris les îles. En 2012, 152 stations espacées systématiquement de 5 km ont été échantillonnées en juillet, août et septembre avec une seine de rivage identique à celle utilisée pour les inventaires ichthyologiques réalisés dans la présente étude (Figure 15). Un seul coup de seine était effectué par station et la température de l'eau, la salinité, la granulométrie et la végétation étaient notées. Les poissons capturés ont été conservés et ont tous été identifiés, pesés et mesurés en laboratoire. Les données recueillies lors de cet échantillonnage ont été utilisées pour comparer l'abondance des juvéniles du bar rayé, du baret et de l'alose savoureuse du secteur du pont par rapport à un territoire plus large du fleuve Saint-Laurent.

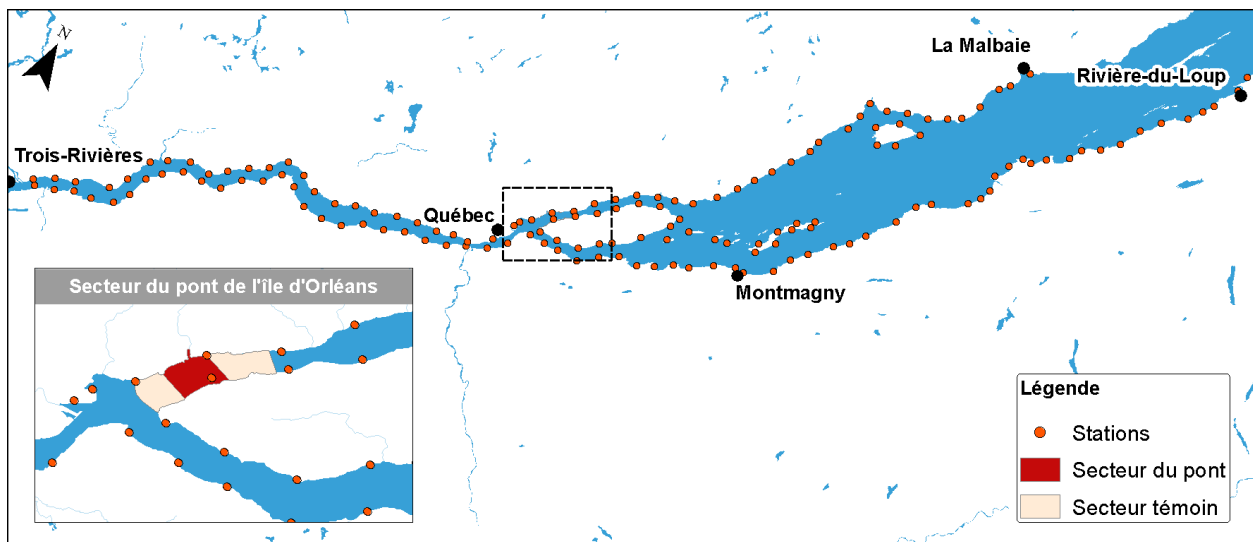


Figure 15 : Localisation des stations échantillonnées par la seine de rivage lors du suivi du recrutement de la population de bars rayés du Saint-Laurent en 2012.

Réseau de suivi ichthyologique

Le Réseau de suivi ichthyologique (RSI) est un programme mis en place en 1995 qui vise à évaluer l'état des communautés de poissons du fleuve Saint-Laurent. Ce réseau est actuellement géré par le MFFP et utilise des méthodes de prélèvement standardisées (voir LaViolette, 2003). Comme les méthodes utilisées dans le cadre du projet du pont de l'île d'Orléans sont les mêmes que celles déployées pour le RSI, cela permet de comparer les données obtenues dans le secteur du pont de l'île d'Orléans avec celles des autres secteurs du fleuve Saint-Laurent couverts par le RSI (Figure 16).

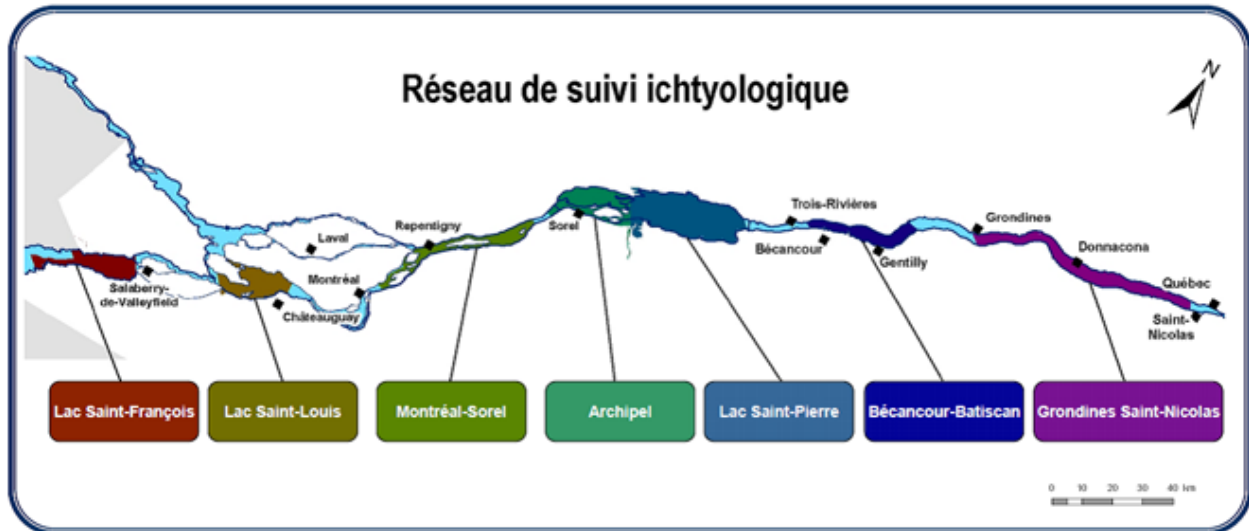


Figure 16 : Secteurs couverts par le Réseau de suivi ichtyologique.

Traitement des données

Effort d'échantillonnage

L'effort de pêche, qui a été réparti sur deux années pour un total de 15 périodes d'inventaires réalisés pendant la période d'eau libre, a été de 116 nuits-filets pour le filet maillant et de 103 stations pour la seine de rivage (Tableau 4). Afin de décrire la communauté de poissons, les données d'inventaire des 2 années et des 15 périodes ont été combinées pour le secteur du pont de l'île d'Orléans et le secteur témoin. Cela visait à réduire la variabilité interannuelle d'abondance et à obtenir un nombre suffisant d'individus de chaque espèce pour faire les analyses de dynamique de populations.

Comme il est virtuellement impossible de quantifier exactement le nombre de poissons dans un plan d'eau, des indices d'abondance ont été développés. Ces indices qui relativisent le nombre de captures par le nombre d'unités d'effort de pêche permettent d'estimer et de comparer l'abondance des poissons d'un site à l'autre. Dans la présente étude, l'indice de captures par unité d'effort (CPUE) et l'indice de biomasse par unité d'effort (BPUE) ont été utilisés. Les CPUE sont calculées en fonction des poissons dénombrés pour un effort de pêche standard. Dans le cas présent, l'effort de pêche standard pour la méthode du filet maillant était la nuit-filet, alors que l'effort de pêche standard pour la seine de rivage était une station échantillonnée. Les filets maillants et les stations de seine où aucun poisson n'a été capturé représentent un effort de pêche qui doit être comptabilisé dans le calcul. La biomasse par unité d'effort est quant à elle obtenue en totalisant la masse des poissons capturés pour chaque effort de pêche (nuit-filet ou station).

Tableau 4 : Effort d'échantillonnage déployé pour les inventaires menés au filet maillant et à la seine de rivage en 2012 et 2013 dans le secteur du pont de l'île d'Orléans et le secteur témoin.

Engin	Période	Effort de pêche ¹		
		Pont	Témoin	Total
Filet maillant	2012	28	24	52
	2013	32	32	64
	Total	60	56	116
Seine de rivage	2012	28	24	52
	2013	27	24	51
	Total	55	48	103

¹ Pour le filet maillant l'effort de pêche est la nuit-filet.

¹ Pour la seine de rivage, l'effort de pêche est le nombre de stations échantillonnées.

Structure de la communauté ichthyologique

Les analyses de structure des communautés permettent d'évaluer la diversité des espèces présentes à un endroit donné, mais aussi de décrire quantitativement la complexité de la communauté. Pour ce faire, plusieurs indices de structure des communautés doivent être utilisés en complémentarité. Dans la présente étude, les indices de structure des communautés ont été calculés au niveau taxinomique de l'espèce à l'aide de la librairie Vegan (Oksanen et al. 2013) du logiciel R 3.0.2 (R Core Team 2013). Ces indices ont été calculés pour plusieurs groupements hiérarchiques, soit l'aire d'étude entière, le secteur du pont de l'île d'Orléans, le secteur témoin ainsi que les zones intertidales et subtidales des secteurs du pont et témoin. L'analyse des indices de diversité pour ces différents groupements permet d'apprécier la complexité de la communauté de poissons à plusieurs échelles.

Pour l'ensemble des groupements définis ci-dessus, la richesse spécifique, la richesse spécifique raréfiée et le nombre d'individus par espèce ont été calculés sur l'ensemble des individus capturés. L'indice de richesse spécifique est la diversité d'espèces observée dans un groupement. On parle parfois aussi de diversité apparente des espèces, car les individus présents dans une communauté sont rarement tous capturés, ce qui ne permet pas de connaître la diversité absolue. La richesse spécifique est calculée en dénombrant le nombre d'espèces échantillonnées dans un groupement. La richesse spécifique est toutefois fortement influencée par la taille de l'échantillon (Kwak et Peterson 2007). En effet, généralement, plus la taille de l'échantillon est grande, plus le nombre d'espèces détectées est grand. Il est donc préférable de corriger l'indice de richesse pour un nombre d'individus égal entre les groupements afin de pouvoir les comparer entre eux.

La technique utilisée pour estimer la richesse raréfiée dans la présente étude est celle de Hurlbert (1971) où le nombre d'individus a été fixé à 100. Le nombre d'espèces raréfié d'un échantillon de taille N à un échantillon de taille n (100) a été calculé avec l'équation suivante :

$$\hat{S}_n = \sum_{i=1}^S (1 - q_i),$$

$$\text{où : } q_i = \binom{N - x_i}{n} \div \binom{N}{n}$$

où S est le nombre d'espèces, x_i est le nombre d'individus de l'espèce i , $\binom{N}{n}$ est le coefficient binomial et q_i est la probabilité que l'espèce i ne soit pas présente dans un échantillon de taille n .

Bien que la richesse spécifique est la mesure de base permettant de décrire une communauté, elle ne permet pas à elle seule d'apprécier la contribution de chacune des espèces à la communauté. Par contre, lorsque la richesse spécifique est combinée aux indices de diversité, d'équitabilité et de dominance, il est possible de mesurer la distribution des individus au sein des espèces et donc d'estimer la complexité des communautés. Plusieurs indices de diversité, d'équitabilité et de dominance peuvent être utilisés. Pour les présents travaux, l'indice de diversité de Shannon (H'), qui est plus sensible aux espèces moins abondantes (Shannon et Weaver 1949), a été calculé selon la formule suivante :

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_e p_i$$

où p_i est la proportion de l'espèce i , et S est le nombre d'espèces.

L'indice d'équitabilité qui a été utilisé est celui de Pielou (J'). Cet indice mesure la répartition des individus au sein des espèces en se basant sur l'indice de diversité de Shannon selon la formule suivante :

$$J' = \frac{H'}{\log_e S}$$

où H' est l'indice de Shannon et S le nombre d'espèces.

Enfin, l'indice de dominance mesure la contribution relative d'un sous-ensemble des espèces les plus abondantes, généralement les deux ou trois espèces les plus abondantes. Dans ce cas-ci, les trois espèces les plus abondantes ont été utilisées pour les calculs de dominance :

$$D_3 = \sum_{i=1}^3 p_i$$

où p_i est la proportion de l'échantillon total représenté par l'espèce i .

Les indices de Shannon, d'équitabilité de Pielou et de dominance ont été calculés en excluant les espèces rares, définies comme étant les espèces pour lesquelles les effectifs étaient inférieurs à

1 % des effectifs globaux. Les espèces rares sont le plus souvent exclues des analyses de communautés, car leur présence : 1) influence généralement peu la dynamique de la communauté; 2) peut être le fruit du hasard; et 3) peut compromettre certaines analyses statistiques (Kwak et Peterson, 2007). Dans les groupements où les données de la seine de rivage et du filet maillant étaient combinées, le seuil de 1 % incluait seulement les espèces présentant plus de 82 individus (15 espèces). Dans les groupements où seules les données de la seine de rivage ou du filet maillant étaient utilisées, le seuil de 1 % incluait seulement les espèces présentant respectivement plus de 60 (10 espèces) et de 20 individus (9 espèces).

Description de la communauté

Afin de décrire la communauté des poissons du secteur du pont de l'île d'Orléans et du secteur témoin, une analyse de dynamique des populations a été menée. Pour les espèces capturées au filet maillant, seules celles présentant un nombre d'individus supérieur à 50, et pour lesquelles les paramètres morphométriques mesurés le permettaient, ont pu être analysées. Suivant ces critères, les populations de barbus de rivières, de baretts, de dorés jaunes et noirs, d'esturgeons jaunes et de meuniers noirs et rouges ont été examinées. L'abondance (CPUE), la biomasse (BPUE), la longueur totale moyenne (mm), la masse moyenne (g), l'âge moyen (année), le ratio des sexes et la condition des poissons ont été retenus afin de décrire la communauté de poissons pour différents segments des populations, soit les femelles, les femelles matures, les mâles, les mâles matures et les poissons immatures des deux secteurs. Pour les espèces capturées à la seine de rivage, seule l'abondance (CPUE) a été évaluée pour deux segments de population, soit les jeunes de l'année et les individus âgés d'un an et plus.

Des jeunes de l'année, toutes espèces confondues, ont aussi été utilisés pour répertorier des aires d'alevinage. Ces zones ont été délimitées en incluant les stations de seinage de la présente étude et celles du suivi des juvéniles du bar rayé situées dans les limites de l'aire d'étude pour lesquelles des jeunes de l'année avaient été capturés. L'habitat préférentiel des jeunes de l'année dans ce secteur n'étant pas connu, les limites des aires d'alevinage ont par la suite arbitrairement été établies en suivant le tracé des rives du chenal de l'île d'Orléans et de l'isobathe zéro du niveau des mers. Cela visait à inclure les marais intertidaux connus pour abriter les alevins de nombreuses espèces et à inclure des zones dans lesquelles les conditions physiques étaient les plus propices aux jeunes stades de vie. Il est important de noter que cette délimitation grossière ne correspond pas strictement à l'habitat préférentiel des jeunes stades de vie, mais représente une estimation des aires possédant le plus fort potentiel.

Pour les deux types d'inventaires, soit l'inventaire à la seine de rivage et celui au filet maillant benthique, l'abondance (CPUE) des espèces retenues pour les analyses de communautés (voir page précédente) a été ventilée pour chaque mois inventorié. Cette analyse avait pour but d'estimer les variations temporelles de l'abondance des espèces dans le secteur du pont et le secteur témoin.

Résultats et discussion

Structure de la communauté

Richesse spécifique

Au total, 45 espèces ont été capturées dans l'aire d'étude à l'aide du filet maillant et de la seine de rivage (Tableau 5). Si l'on tient compte de la présence de certaines espèces documentée lors d'autres activités d'acquisition de connaissances, tels que la télémétrie acoustique et le suivi de la reproduction, ce nombre s'élève à 49 espèces (Tableau 6). À titre comparatif, un peu plus d'une cinquantaine d'espèces sont connues pour fréquenter les habitats d'eau douce de la région de Québec (Marchand et deLaFontaine 2003, Gagnon et al. 1993, Fournier et Deschamps 1997). De plus, les sept espèces en situation précaire présentes dans la région de Québec (Tableau 1) ont été détectées dans l'aire d'étude. Il apparaît donc que l'aire d'étude est riche sur le plan de la biodiversité. Une forte similitude a été observée dans la composition des espèces dans le secteur du pont de l'île d'Orléans et le secteur témoin. Globalement, bien que la richesse spécifique du secteur témoin (41 espèces) semble plus élevée que dans le secteur du pont de l'île d'Orléans (37 espèces), l'analyse de la richesse spécifique raréfiée à un seuil de 100 individus indique que la richesse en espèces des deux secteurs est équivalente, se situant respectivement à 16,6 et à 16,7 espèces (Tableau 7). La constatation est la même si l'on ventile la richesse spécifique raréfiée pour les milieux intertidaux et subtidaux des deux secteurs (Tableau 7).

Indices de diversité et de dominance

Malgré une richesse en espèces équivalente, l'indice de diversité de Shannon et l'indice d'équitabilité de Pielou sont plus faibles dans le secteur du pont que dans le secteur témoin. Cela est vrai autant pour les milieux intertidaux et subtidaux que pour les deux milieux groupés (Tableau 7). Ces différences s'expliquent principalement par la distribution en abondance des espèces qui est fort différente entre les deux secteurs (Figure 18 et Figure 17). En effet, alors que dans le secteur du pont quelques espèces dominent largement la communauté, dans le secteur témoin, l'abondance est beaucoup plus uniforme entre les espèces. Cette constatation se reflète aussi dans l'indice de dominance, systématiquement plus élevé dans le secteur du pont que dans le secteur témoin (Tableau 7). De fait, un indice de dominance élevé indique que quelques espèces dominent fortement la communauté.

Tableau 5 : Liste des espèces capturées dans le secteur du pont de l'île d'Orléans et le secteur témoin, ainsi que leur abondance, classées par ordre alphabétique du nom français.

Nom français	Nom latin	Total	Pont	Témoin
Achigan à petite bouche	<i>Micropterus dolomieu</i>	9	4	5
Alose à gésier	<i>Dorosoma cepedianum</i>	1	0	1
Alose savoureuse	<i>Alosa sapidissima</i>	329	44	285
Bar rayé	<i>Morone saxatilis</i>	55	11	44
Barbue de rivière	<i>Ictalurus punctatus</i>	149	65	84
Baret	<i>Morone americana</i>	1 689	455	1 234
Carpe	<i>Cyprinus carpio</i>	4	2	2
Chevalier jaune	<i>Moxostoma valenciennesi</i>	3	1	2
Chevalier rouge	<i>Moxostoma macrolepidotum</i>	68	22	46
Cisco de lac	<i>Coregonus artedi</i>	5	3	2
Crapet de roche	<i>Ambloplites rupestris</i>	1	1	0
Crapet-soleil	<i>Lepomis gibbosus</i>	3	1	2
Crayon d'argent	<i>Labidesthes sicculus</i>	5	1	4
Doré jaune	<i>Sander vitreus</i>	297	114	183
Doré noir	<i>Sander canadensis</i>	327	173	154
Éperlan arc-en-ciel	<i>Osmerus mordax</i>	779	30	749
Épinoche à cinq épines	<i>Culaea inconstans</i>	6	1	5
Épinoche à quatre épines	<i>Apeltes quadracus</i>	1	0	1
Épinoche à trois épines	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	134	42	92
Esturgeon jaune	<i>Acipenser fulvescens</i>	264	84	180
Esturgeon noir	<i>Acipenser oxyrinchus</i>	35	9	26
Fondule barré	<i>Fondulus diaphanus</i>	2 112	1 286	826
Fouille-roche zébré	<i>Percina caprodes</i>	26	4	22
Gaspereau	<i>Alosa pseudoharengus</i>	20	5	15
Gobie à taches noires	<i>Neogobius melanostomus</i>	85	58	27
Grand corégone	<i>Coregonus clupeaformis</i>	27	22	5
Lamproie argentée	<i>Ichthyomyzon unicuspis</i>	1	1	0
Laquaiche argentée	<i>Hiodon tergisus</i>	3	2	1
Lépisosté osseux	<i>Lepisosteus osseus</i>	1	0	1
Lotte	<i>Lota lota</i>	7	6	1
Malachigan	<i>Aplodinotus grunniens</i>	1	1	0
Méné d'argent	<i>Hybognathus regius</i>	5	2	3
Méné d'herbe	<i>Notropis bifrenatus</i>	1	0	1
Méné émeraude	<i>Notropis atherinoides</i>	561	162	399
Méné jaune	<i>Notemigonus crysoleucas</i>	1	1	0
Méné pâle	<i>Notropis volucellus</i>	2	0	2
Meunier noir	<i>Catostomus commersonii</i>	298	128	170
Meunier rouge	<i>Catostomus catostomus</i>	310	100	210
Perchaude	<i>Perca flavescens</i>	375	307	68
Poulamon atlantique	<i>Microgadus tomcod</i>	10	9	1
Queue à tache noire	<i>Notropis hudsonius</i>	35	10	25
Raseux-de-terre gris	<i>Etheostoma olmstedi</i>	152	129	23
Raseux-de-terre noir	<i>Etheostoma nigrum</i>	1	0	1
Tête-de-boule	<i>Pimephales promelas</i>	1	0	1
Ventre-pourri	<i>Pimephales notatus</i>	2	0	2
	Total	8 201	3 296	4 905

Tableau 6 : Liste des espèces détectées dans le secteur du pont de l'île d'Orléans et le secteur témoin lors d'autres types d'inventaires dans ces secteurs.

Nom français	Nom latin	Méthode d'inventaire
Anguille d'Amérique	<i>Anguilla rostrata</i>	Télémétrie acoustique
Saumon atlantique	<i>Salmo salar</i>	Télémétrie acoustique
Chabot tacheté	<i>Cottus bairdi</i>	Suivi de la reproduction
Naseux des rapides	<i>Rhinichthys cataractae</i>	Suivi de la reproduction

Répartition de l'abondance entre les espèces

En zone intertidale, l'abondance de toutes les espèces confondue est deux fois plus élevée dans le secteur témoin que dans le secteur du pont (Tableau 7). Ainsi, on remarque une abondance nettement plus élevée des espèces fourrage et de jeunes de l'année dans ce secteur que dans celui du pont. La répartition de l'abondance entre les espèces est très différente entre les deux secteurs (Figure 17). La zone intertidale du secteur du pont est fortement dominée par une seule espèce, le fondule barré, qui représente 54,3 % des prises. La perchaude est la deuxième espèce en abondance dans ce secteur, représentant 16,7 % des prises. Le secteur témoin, pour sa part, présente un assemblage réparti de façon plus équitable avec trois espèces dominant l'assemblage, représentant 26,2 %, 20,0 % et 18,2 % des prises. Il s'agit respectivement du baret, du fondule barré et de l'éperlan arc-en-ciel.

Tableau 7 : Indices de diversité pour différents groupements, pour le secteur du pont de l'île d'Orléans et le secteur témoin. Les indices de Shannon, d'équitabilité et de dominance ont été calculés pour les espèces présentant une abondance supérieure au seuil de 1 %.

Groupement	Effort ¹	N total	CPUE	Richesse spécifique (S)	Richesse spécifique raréfiée (Ŝ)	Indice de Shannon (H')	Indice d'équitabilité de Piélou (J')	Dominance (D ₃)
Aire étude	219	8 201	37	45	17,41	2,27	0,84	0,58
Pont	115	3 296	29	37	16,67	2,08	0,77	0,64
Témoin	104	4 905	47	41	16,63	2,24	0,83	0,59
Pont — intertidale	55	2 279	41	28	12,26	1,47	0,64	0,80
Témoin — intertid.	48	3 837	80	35	12,44	1,81	0,79	0,72
Pont — subtidale	60	1 017	18	21	11,33	1,83	0,83	0,66
Témoin — subtid.	56	1 068	18	16	10,79	2,05	0,93	0,50

¹ Effort : nombre de stations échantillonnées.

En zone subtidale, l'abondance totale en ce qui concerne le CPUE, toutes espèces confondues, est équivalente entre le secteur du pont et le secteur témoin (Tableau 7). La zone subtidale du secteur du pont est fortement dominée par le baret qui représente 34,2 % des captures et, dans une moindre mesure, par le doré noir qui représente 16,9 % des captures (Figure 18). Pour le secteur témoin, la dominance est partagée par cinq espèces qui représentent de 16,9 à 13,0 % des captures, soit, par ordre d'importance, l'esturgeon jaune, le doré jaune, le meunier noir, le

baret et le doré noir (Figure 18). Il est à noter que la présence de l'esturgeon jaune est probablement sous-estimée, puisque la taille des mailles des filets maillants utilisés ne permettait pas de capturer les individus de plus de 1 000 mm. Or, le suivi par télémétrie d'esturgeons jaunes adultes mesurant plus de 1 000 mm indique que les individus de cette gamme de tailles fréquentent couramment l'aire d'étude (voir p. 95).

Description de la communauté

De façon générale, la communauté ichtyologique de l'aire d'étude est dominée par de jeunes spécimens, particulièrement en zone intertidale, mais aussi en zone subtidale (Figure 17 et Figure 18). De plus, l'abondance des espèces présentes dans l'aire d'étude varie grandement d'une saison à l'autre, ce qui est principalement attribuable à des mouvements migratoires et à l'arrivée des jeunes de l'année.

Zone intertidale

Toutes espèces confondues, la zone intertidale est manifestement dominée par les jeunes de l'année, ce qui est vrai autant dans le secteur du pont de l'île d'Orléans que dans le secteur témoin (Figure 17). En effet, les jeunes de l'année de 26 espèces sur 38 ont été capturés dans l'aire d'étude, représentant au minimum 61 % de l'abondance en zone intertidale (Tableau 8). De fait, dans certains cas, il a été impossible de déterminer le stade de maturité des individus capturés. Par exemple, l'abondance des jeunes de l'année du fondule barré est probablement plus élevée que ce qui a pu être dénombré, puisque le stade de maturité d'une large part des individus capturés n'a pu être déterminé. On sait cependant que les marais à scirpes du chenal de l'île d'Orléans sont un habitat préférentiel du fondule barré pour tout son cycle vital, y compris la période d'alevinage (Gagnon et al. 1993).

La présence continue de jeunes de l'année de juin à septembre dans l'aire d'étude a permis de répertorier des aires d'alevinage sur les deux rives du chenal de l'île d'Orléans (Figure 19). Ce résultat est cohérent avec la présence d'aires d'alevinage dans l'aire d'étude qui avaient été répertoriées pour plusieurs espèces lors de travaux antérieurs (Mousseau et Armelin, 1995; Argus, 2001; Tableau 8; Figure 20). Lors de ces travaux, de nombreuses aires d'alevinage avaient aussi été répertoriées dans l'ensemble du chenal de l'île d'Orléans (Mousseau et Armelin, 1995; Argus, 2001; Figure 21). Néanmoins, cette étude est la première à documenter une zone d'alevinage située sur la rive nord du chenal de l'île d'Orléans, en amont de la localité de L'Ange-Gardien. L'abondance des aires d'alevinage dans le chenal de l'île d'Orléans est probablement liée aux conditions physiques qui prévalent dans ce secteur ainsi qu'aux nombreux marais intertidaux (Gagnon et al. 1993). Il est important de noter que les inventaires menés dans le cadre du présent projet n'ont pas couvert l'ensemble des habitats utilisés par les jeunes de l'année des espèces identifiées dans l'aire d'étude. C'est par exemple le cas des jeunes de l'année du gaspareau et du poulamon qui utilisent surtout le milieu pélagique (Gagnon et al. 1993), milieu qui n'a pas été inventorié en 2012 ni en 2013. Il est donc probable que l'abondance des jeunes de l'année pour ces espèces ait été sous-estimée par rapport à leur abondance réelle.

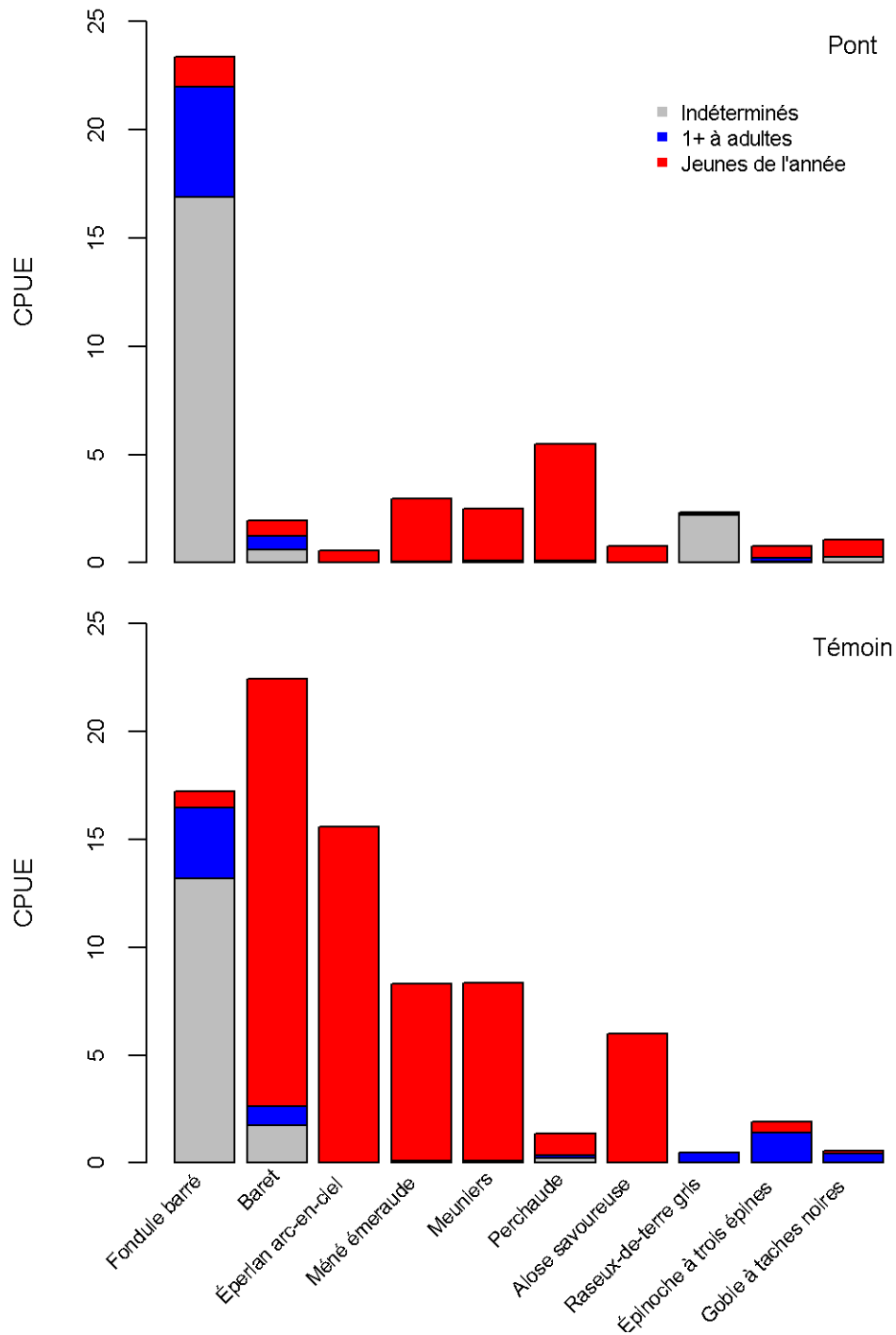


Figure 17 : Nombre de capture par unité d'effort par espèce en zone intertidale (seine de rivage) dans le secteur du pont de l'île d'Orléans (haut) et le secteur témoin (bas). Seules les espèces présentant une abondance dépassant le seuil de 1 % sont représentées.

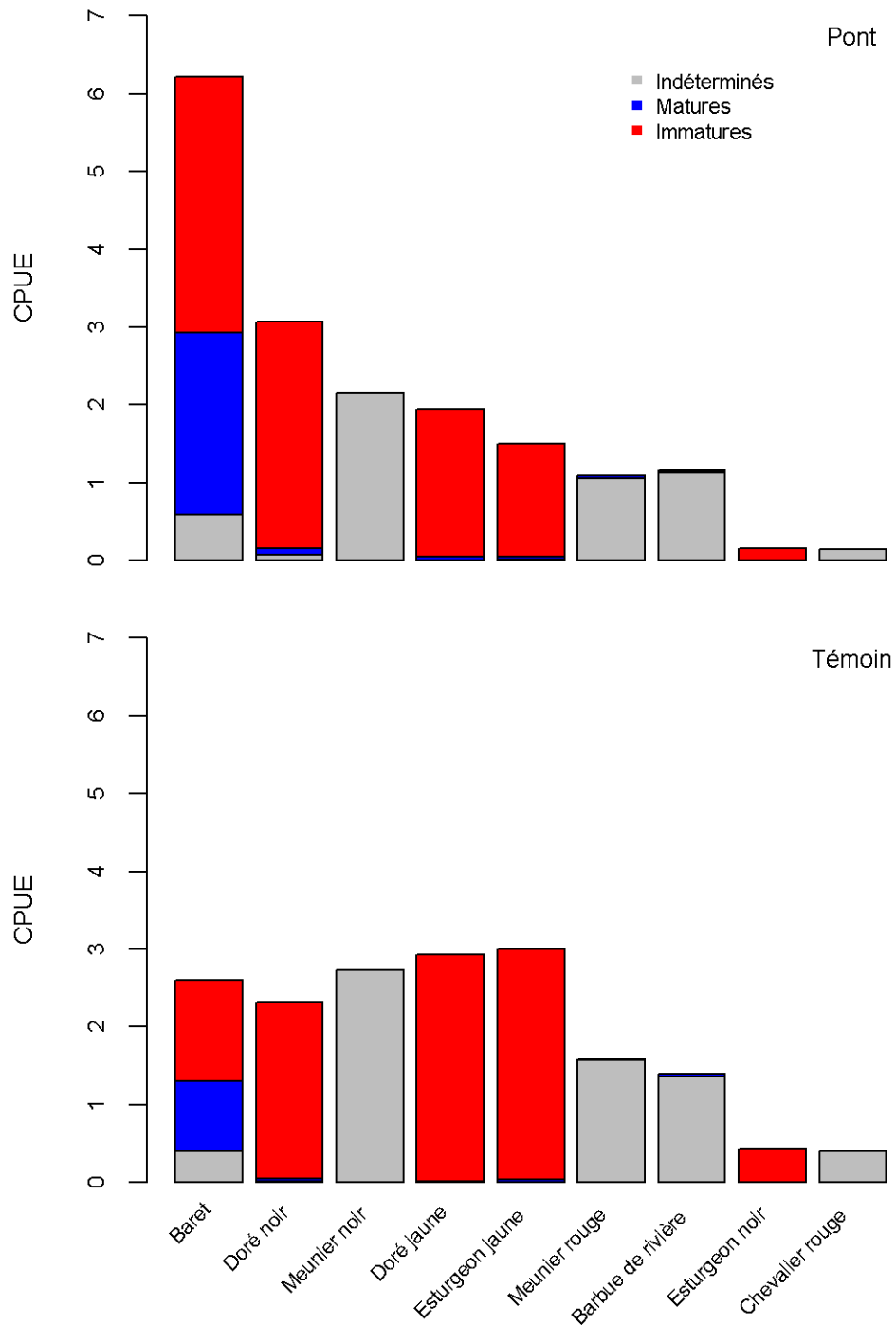


Figure 18 : Nombre de captures par unité d'effort des espèces capturées en zone subtidale (filet maillant) dans le secteur du pont de l'île d'Orléans (haut) et le secteur témoin (bas). Seules les espèces présentant une abondance dépassant 1 % des effectifs totaux sont représentées.

Tableau 8 : Espèces pour lesquelles des jeunes de l'année ont été capturés lors d'études antérieures à la présente étude au cours des inventaires de 2012 et de 2013, ainsi que leur abondance (CPUE) dans le secteur du pont et dans le secteur témoin.

Espèces nom français	Espèces nom latin	Présence études antérieures	Présence 2012-2013	CPUE pont	CPUE témoin
Baret	<i>Morone americana</i>	x	x	0,71	19,85
Doré jaune	<i>Sander vitreus</i>	x	x	0,09	0,10
Gaspereau	<i>Alosa pseudoharengus</i>	x	x	0,11	0,23
Laquaiche argentée	<i>Hiodon tergisus</i>	x	x	0,04	0,02
Meuniers	<i>Catostomus</i> sp.	x	x	2,40	8,25
Poulamon atlantique	<i>Microgadus tomcod</i>	x	x	0,13	0,02
Alose savoureuse	<i>Alosa sapidissima</i>		x	0,76	5,98
Bar rayé	<i>Morone saxatilis</i>		x	0,05	0,81
Chevalier rouge	<i>Moxostoma macrolepidotum</i>		x	0,24	0,27
Cisco de lac	<i>Coregonus artedi</i>		x	0,05	0,04
Crapet-soleil	<i>Lepomis gibbosus</i>		x	0,02	0,04
Crayon d'argent	<i>Labidesthes sicculus</i>		x	0,02	0,06
Doré noir	<i>Sander canadense</i>		x	0,02	0,31
Éperlan arc-en-ciel	<i>Osmerus mordax</i>		x	0,51	1,60
Épinoche à trois épines	<i>Gasterosteus aculeatus</i>		x	0,55	0,52
Fondule barré	<i>Fundulus diaphanus</i>		x	1,40	0,75
Fouille-roche zébré	<i>Percina caprodes</i>		x	0,02	0,15
Gobie à tache noire	<i>Neogobius melanostomus</i>		x	0,78	0,15
Grand corégone	<i>Coregonus clupeaformis</i>		x	0,11	0,00
Méné d'argent	<i>Hybognathus regius</i>		x	0,02	0,06
Méné émeraude	<i>Notropis atherinoides</i>		x	2,89	8,21
Méné pâle	<i>Notropis volucellus</i>		x	0,00	0,04
Perchaude	<i>Perca flavescens</i>		x	5,38	1,00
Queue à tache noire	<i>Notropis hudsonius</i>		x	0,05	0,23
Raseux-de-terre gris	<i>Etheostoma olmstedi</i>		x	0,04	0,00
Ventre-pourri	<i>Pimephales notatus</i>		x	0,00	0,04
Carpe	<i>Cyprinus carpio</i>	x		0,00	0,00
Grand brochet	<i>Esox lucius</i>	x		0,00	0,00

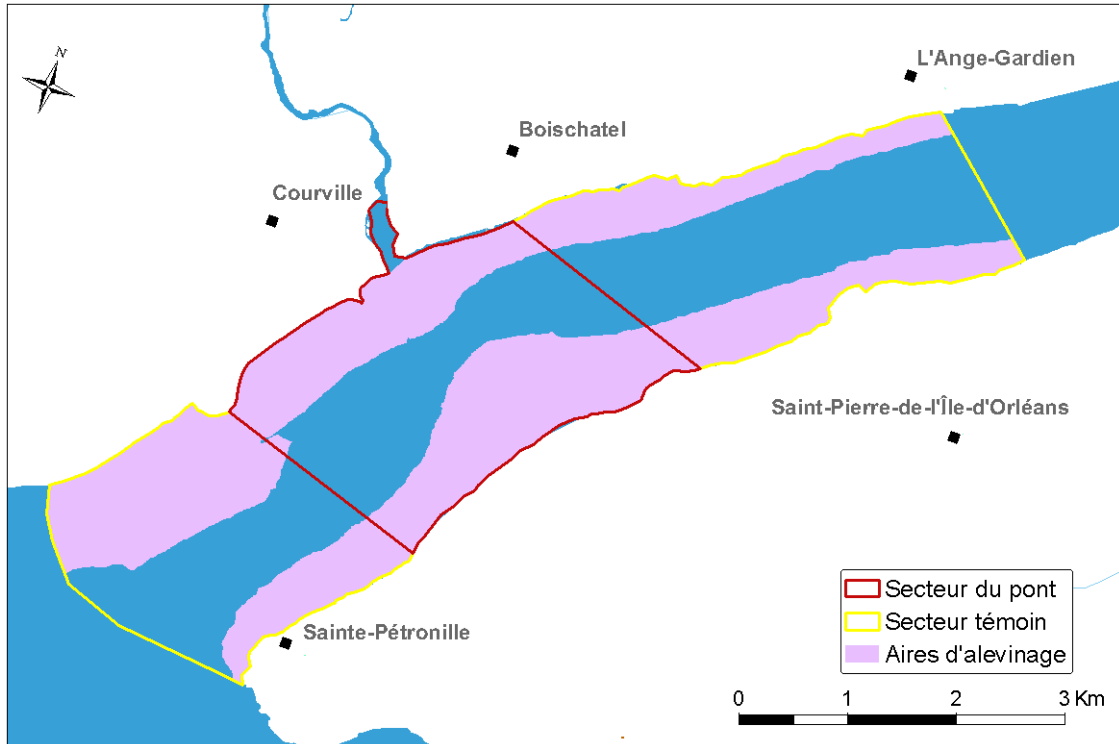


Figure 19 : Aires d'alevinage répertoriées dans l'aire d'étude lors des inventaires de 2012-2013.

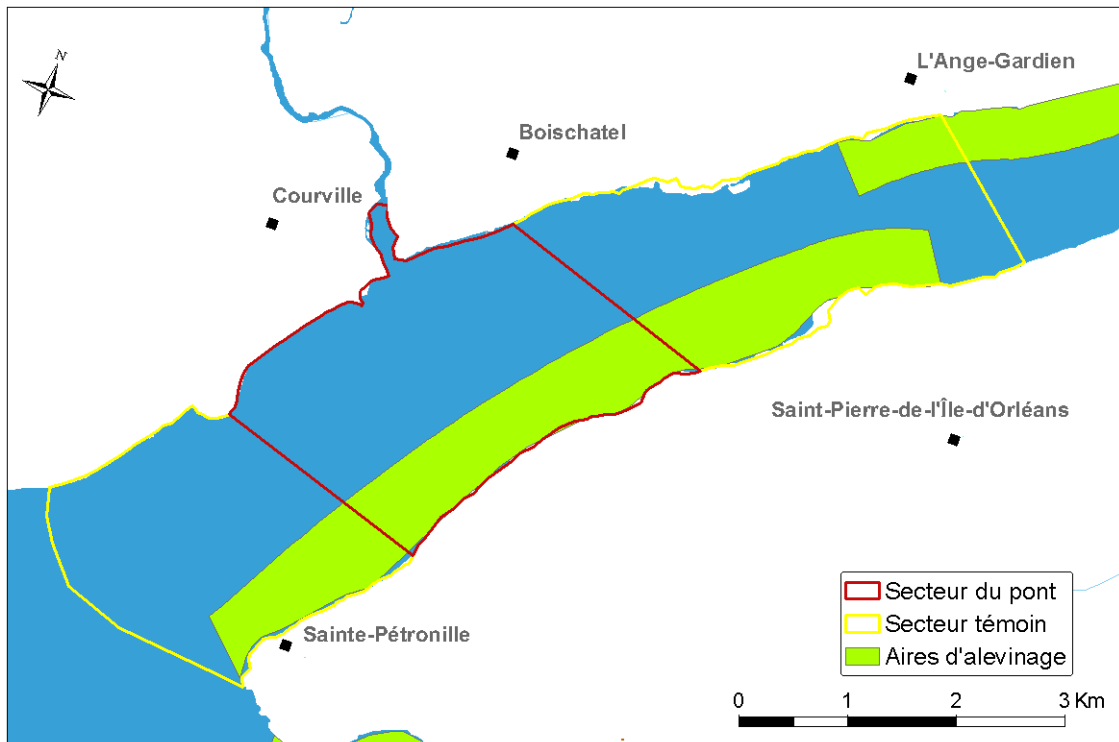


Figure 20 : Aires d'alevinage répertoriées par Mousseau et Armelin (1995). Adaptée d'Argus (2001).

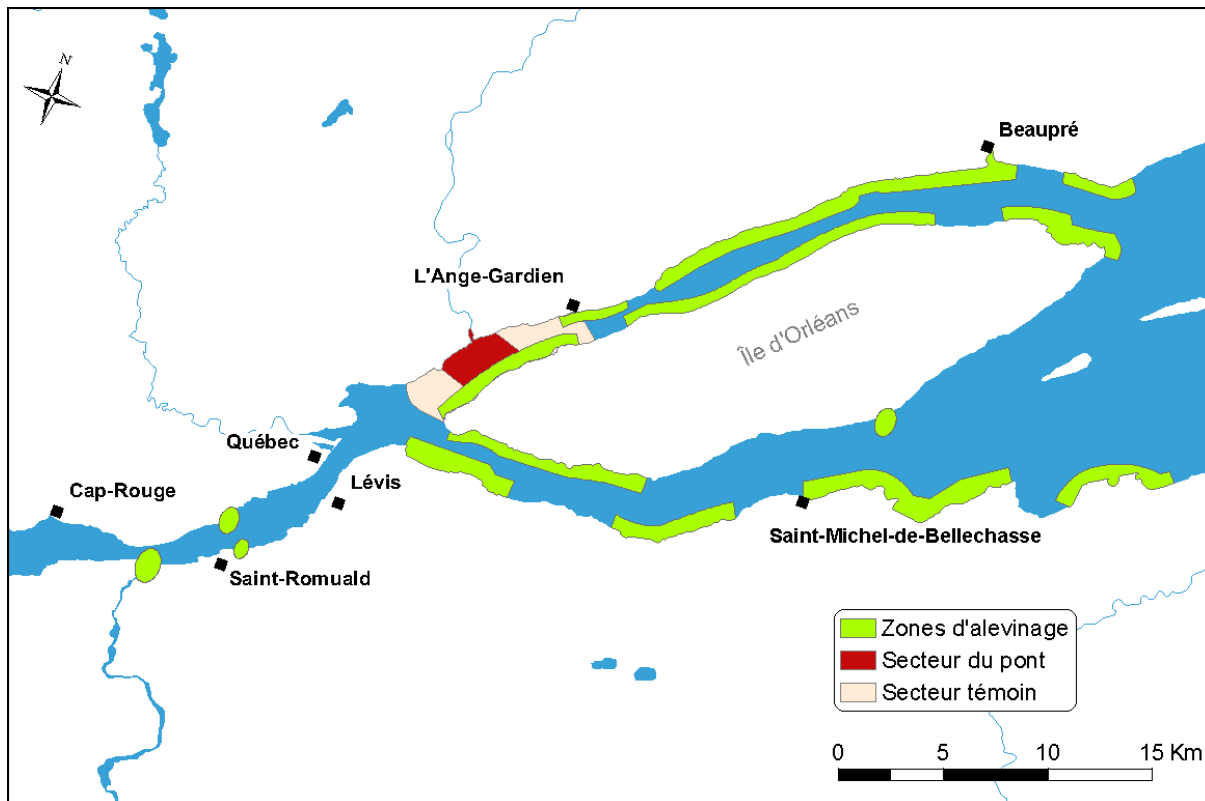


Figure 21 : Zones d'alevinage dans la région de Québec répertoriées par Mousseau et Armelin (1995). Adaptées d'Argus (2001).

À l'exception de la carpe et du grand brochet, la totalité des espèces qui avaient été répertoriées dans les aires d'alevinage lors des travaux antérieurs l'ont aussi été lors des présents inventaires. Seuls la carpe et le grand brochet font exception (Tableau 8). Vingt nouvelles espèces ont aussi été répertoriées dans les inventaires de 2012 et de 2013 par rapport aux inventaires antérieurs. Les différences observées dans la diversité des espèces s'expliquent en partie par un changement au fil du temps de la composition de la communauté de poissons de ce secteur. En effet, plusieurs des inventaires menés dans l'aire d'étude ont eu lieu il y a plus d'une trentaine d'années. Alors qu'aujourd'hui le grand brochet ne semble plus fréquenter ou fréquente peu l'aire d'étude, il y était autrefois plus abondant (Paquet, 1977). Dans le cas du bar rayé, il avait disparu du fleuve Saint-Laurent au moment de ces inventaires, mais il a été réintroduit depuis. Il est aussi probable que les jeunes de l'année de certaines espèces n'étaient pas présents au moment des inventaires antérieurs. De fait, ces inventaires ont eu lieu à l'été, ce qui exclut d'emblée la possibilité de capturer les jeunes de certaines espèces, tels les meuniers noirs et rouges, pour lesquelles les jeunes de l'année sont surtout présents au printemps. Pour les espèces nouvellement détectées dans les aires d'alevinage de l'aire d'étude, notons trois espèces d'intérêt, soit l'aloise savoureuse, le bar rayé et l'éperlan arc-en-ciel. La présence de ces espèces est discutée en détail dans le présent document (p. 47).

Lorsque l'on compare les deux secteurs à l'étude, on remarque des différences quant à l'abondance des jeunes de l'année. En effet, bien que la majorité des espèces fréquente les deux secteurs, le baret, l'éperlan arc-en-ciel, l'aloise savoureuse, le méné émeraude et les meuniers sont nettement plus abondants dans le secteur témoin que dans le secteur du pont (Figure 17). À l'inverse, la perchaude est peu abondante dans le secteur témoin, mais abondante dans le secteur du pont (Figure 17).

Malgré ces différences, il importe de considérer chacune des aires d'alevinage situées en rives du chenal de l'île d'Orléans comme une seule et unique entité (Figure 19). En effet, alors que les jeunes de l'année de certaines espèces ont été capturés surtout dans la partie amont du secteur témoin (p. ex., aloise savoureuse), d'autres ont été majoritairement capturés dans le secteur du pont de l'île d'Orléans (p. ex., perchaude), alors que d'autres ont surtout été capturés dans la partie aval du secteur témoin (p. ex., baret, éperlan arc-en-ciel). De plus, plusieurs jeunes de l'année trouvés dans la partie aval du secteur témoin ont d'abord dû transiter par la partie amont du secteur témoin et par le secteur du pont de l'île d'Orléans. C'est notamment le cas de l'éperlan arc-en-ciel qui se reproduit en amont de l'aire d'étude (Pigeon et al. 1998, inventaires MFFP, données non publiées), mais dont les jeunes de l'année ont surtout été capturés dans la partie aval du secteur témoin. C'est aussi le cas du baret pour lequel une frayère d'importance se situe dans le secteur du pont de l'île d'Orléans (voir section 4, p. 55). Alors que très peu de jeunes de l'année de cette espèce ont été capturés directement sur le site de frai du secteur du pont de l'île d'Orléans, l'abondance des jeunes de l'année est très élevée dans la partie aval du secteur témoin. De plus, les inventaires menés dans le cadre du réseau de suivi du recrutement du bar rayé ont révélé une très forte abondance de jeunes de l'année du baret dans l'ensemble du chenal de l'île d'Orléans, y compris l'aire d'étude. Cela confirme la présence de nombreuses aires d'alevinage relatives à cette espèce lors d'inventaires antérieurs (Argus, 2001; Figure 22), mais laisse aussi croire que ces individus proviennent, au moins en partie, de la frayère répertoriée dans le secteur du pont de l'île d'Orléans.

Les données collectées lors des inventaires menés pour suivre le recrutement du bar rayé indiquent aussi clairement que le chenal de l'île d'Orléans, y compris l'aire d'étude, est de loin la principale zone d'élevage des jeunes baretts (Figure 23).

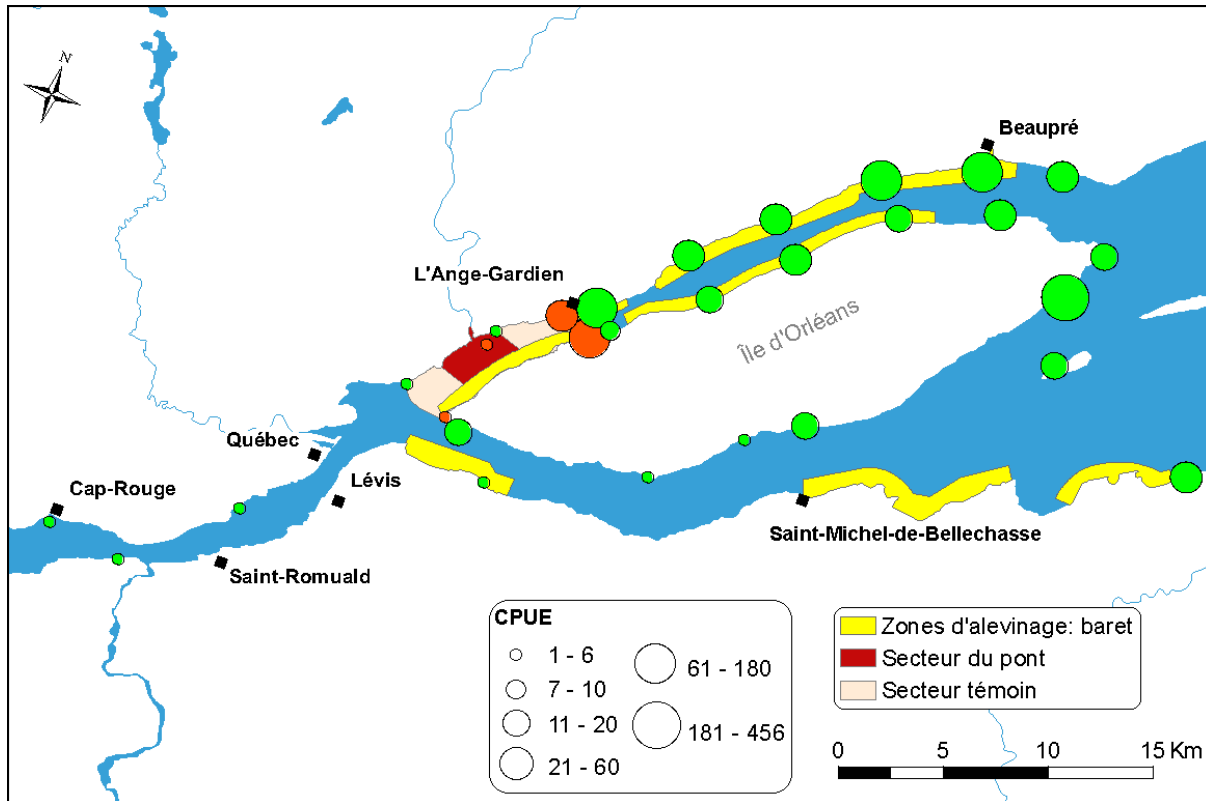


Figure 22 : Zones d'alevinage répertoriées pour le baret par Argus (2001) dans la région de Québec et abondance en CPUE des jeunes de l'année dans la région de Québec pour le mois d'août 2012. Les cercles verts représentent les captures du réseau de suivi du recrutement du bar rayé, alors que les cercles orangés représentent les captures de la présente étude.

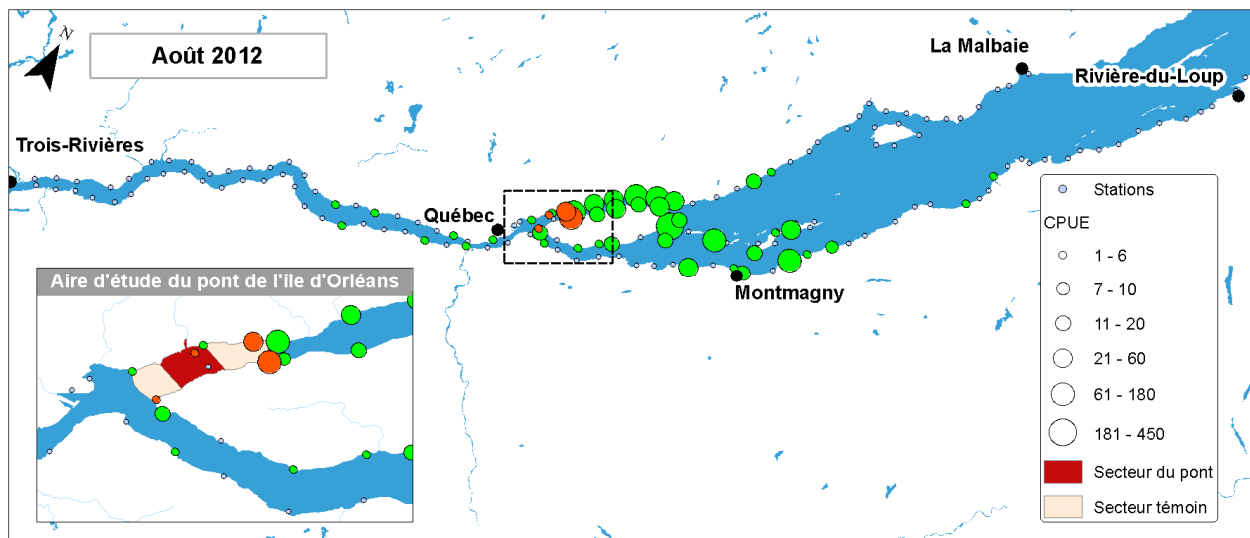


Figure 23 : Abondance en CPUE des jeunes de l'année du baret, de Trois-Rivières à Rivière-du-Loup pour le mois d'août 2012. Les cercles verts représentent l'abondance pour les captures du réseau de suivi du recrutement du bar rayé, alors que les cercles orangés représentent les captures de la présente étude.

La présence et l'abondance des jeunes de l'année des différentes espèces varient grandement dans le temps (Figure 24 et Figure 25). Cela est principalement attribuable à la chronologie du frai des espèces, à la croissance des jeunes poissons ainsi qu'à leurs déplacements. Les jeunes de l'année des espèces frayant tôt en saison, comme c'est le cas pour l'éperlan arc-en-ciel et les meuniers, sont capturés les plus tôt en saison, lors des premiers inventaires. Les jeunes des espèces frayant plus tard, comme l'alse savoureuse et le baret, sont quant à eux capturés plus tard en saison. Chez l'alse savoureuse, le sommet d'abondance des jeunes de l'année dans l'aire d'étude correspond à un mélange de jeunes ayant récemment éclos et de jeunes en migration vers l'aval, mais provenant de secteurs amont du fleuve (Maltais et al. 2010). Chez le baret, le sommet d'abondance des jeunes de l'année s'observe en août, ce qui correspond à la période à laquelle les individus atteignent la taille minimale de capturabilité par les seines de rivage. En effet, compte tenu des quatre à sept jours nécessaires entre la fertilisation des œufs et l'éclosion des larves, il est fort probable qu'il y ait un grand nombre de jeunes dans l'aire d'étude avant le mois d'août, mais que les individus ne soient pas capturables par les engins utilisés. En résumé, il apparaît que le sommet de l'abondance des jeunes de l'année dans l'aire d'étude varie selon les espèces et qu'il est tributaire de leur biologie.

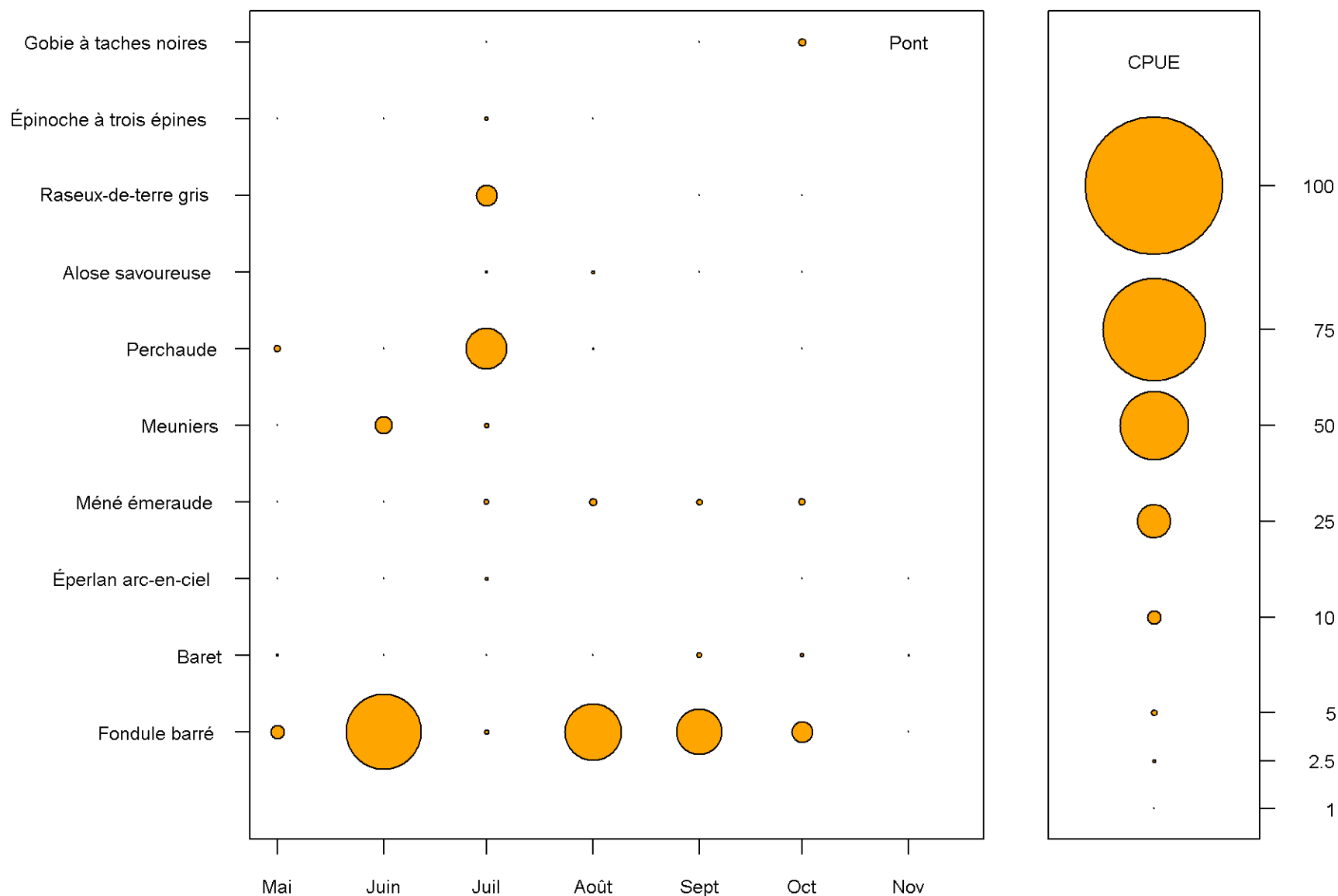


Figure 24 : Nombre de capture par unité d'effort par espèce en zone intertidale, dans le secteur du pont de l'île d'Orléans au cours de la période d'eau libre. Seules les espèces avec une abondance dépassant le seuil de 1 % sont représentées.

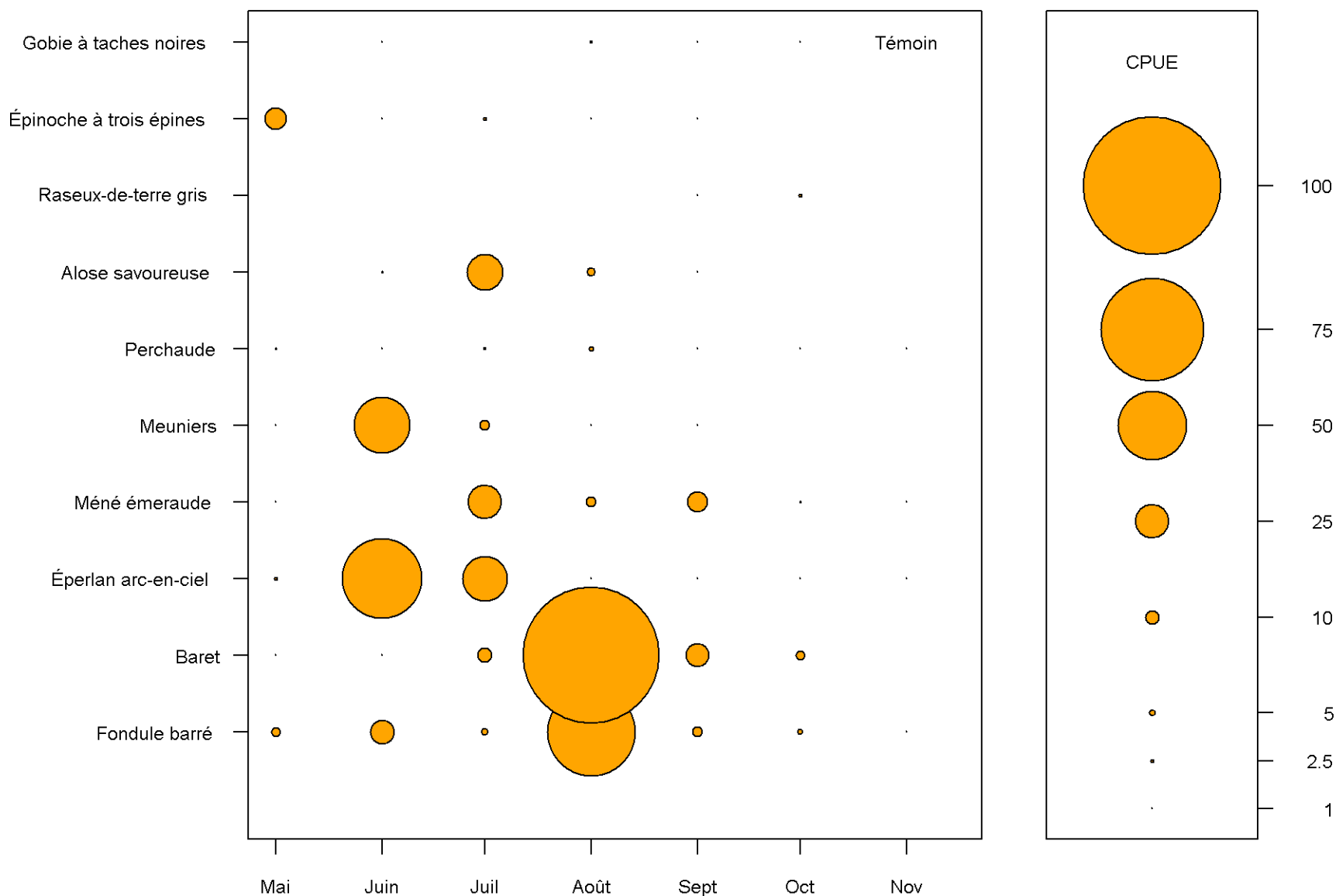


Figure 25 : Nombre de capture par unité d'effort par espèce en zone intertidale, dans le secteur témoin au cours de la période d'eau libre. Seules les espèces avec une abondance dépassant le seuil de 1 % sont représentées.

Zone subtidale

La zone subtidale de l'aire d'étude est utilisée à la fois par des spécimens immatures pour certaines espèces et des spécimens matures ou de grandes tailles pour d'autres (Tableau 9; Figure 18). La présence et l'abondance de ces espèces varient dans le temps, ce qui semble surtout attribuable aux mouvements migratoires entre les lieux d'alimentation, de frai et d'hivernage (Figure 26).

Pour le doré jaune, le doré noir, l'esturgeon jaune et l'esturgeon noir, la très grande majorité des individus capturés était immature (Figure 18). Les poissons de ces espèces étaient en moyenne plus petits, moins lourds et plus jeunes dans le secteur du pont de l'île d'Orléans que dans le secteur témoin (Tableau 9). Bien que cette tendance ne soit pas significative, elle est pertinente à relever, puisqu'elle s'avère constante entre les espèces. En effet, cette observation indique que le secteur du pont pourrait constituer une zone d'abris et d'engraissement pour les plus petits spécimens.

Chez le doré jaune, l'abondance et la biomasse du secteur du pont de l'île d'Orléans étaient relativement faibles comparativement au secteur témoin et à ce que l'on trouve en moyenne dans les différents tronçons du fleuve Saint-Laurent (Arvisais et al. 2012; Tableau 9). De plus, très peu d'individus matures ont été capturés dans les deux secteurs, ce qui indique que l'aire d'étude est utilisée comme zone d'alimentation par les individus immatures de cette espèce. La plus grande abondance de doré jaune est observée à l'automne (Figure 26), ce qui correspond aux mouvements migratoires automnaux vers les zones d'hivernage situées en amont dans le fleuve Saint-Laurent (deLafontaine et al. 2002). Une migration vers l'aval a aussi lieu au printemps selon deLafontaine et al. (2002), mais a probablement lieu soit plus progressivement, soit tôt au printemps, puisqu'aucune concentration particulière de doré jaune n'a été observée dans l'aire d'étude durant cette saison.

Chez le doré noir, l'abondance et la biomasse des secteurs du pont de l'île d'Orléans et témoin étaient pratiquement identiques, se situant respectivement à 2,8 et 2,5 CPUE et à 0,9 et 1,0 BPUE (Tableau 9). L'abondance de cette espèce dans l'aire d'étude est moyenne comparativement à ce que l'on trouve ailleurs dans le fleuve, mais inférieure à ce que l'on aurait pu s'attendre pour le secteur (Figure 27). En effet, l'abondance du doré noir tend à augmenter avec la diminution de la transparence de l'eau qui, elle, diminue de l'amont du fleuve vers l'aval (Figure 27). Selon ces données, une abondance de doré noir de 3 à 7 CPUE aurait pu être observée. Tout comme pour le doré jaune, très peu de dorés noirs matures ont été capturés dans l'aire d'étude, ce qui indique que l'aire d'étude est utilisée comme zone d'alimentation par le segment immature de la population. Comme pour le doré jaune, il est probable que le doré noir entreprenne une migration vers l'amont l'automne venu, puisqu'une plus grande abondance d'individus est enregistrée à cette saison (Figure 26). Toutefois, cela demeure à confirmer, car les données disponibles à ce sujet sont insuffisantes pour l'aire d'étude et le fleuve Saint-Laurent en général.

Chez les esturgeons jaunes et noirs, tous les individus capturés avaient une longueur totale de moins de 1 m. Chez ces deux espèces, l'atteinte de la maturité sexuelle dans le fleuve Saint-Laurent se fait à une longueur supérieure à 1 m (Fortin et al. 1992, COSEPAC 2006), ce qui permet de conclure que les individus capturés étaient tous immatures. L'absence d'individus mesurant plus de 1 m est attribuable à la taille des mailles des filets utilisés qui étaient trop étroites pour permettre la capture des spécimens de taille supérieure. La présence de spécimens adultes a toutefois été documentée lors d'autres activités d'acquisition de connaissances (voir p. 55 et p. 95). La présence de ces espèces dans l'aire d'étude est discutée en détail ci-dessous (p. 47).

Pour le baret, le meunier rouge, le meunier noir et la barbue de rivière, une grande proportion des individus capturés était mature (baret) ou de taille et de masse laissant présumer qu'il s'agissait surtout d'individus matures (meuniers rouges et noirs, barbue de rivière; Tableau 9, Figure 18).

L'abondance du baret dans l'aire d'étude était très élevée par rapport à ce qui est documenté pour l'espèce dans le fleuve Saint-Laurent. À titre d'exemple, l'abondance de cette espèce dans le secteur du pont et le secteur témoin était respectivement six et trois fois plus élevée que celle du secteur Bécancour-Batiscan, échantillonné dans le cadre du RSI en 2012. L'abondance du baret varie beaucoup dans le temps, s'accroissant en mai et juin, diminuant radicalement au mois de juillet et augmentant quelque peu à l'automne (Figure 26). Les mois de mai et juin correspondent au sommet des activités de frai pour cette espèce dans le secteur du pont de l'île d'Orléans (voir section 4, p. 55). L'abondance du baret était deux fois plus élevée dans le secteur du pont que dans le secteur témoin et près du tiers des individus capturés étaient matures. Le rapport des sexes était fortement déséquilibré en faveur des mâles tant pour le secteur du pont (2,7) que pour le secteur témoin (2,4), ce qui est généralement observé dans les sites de frai de cette espèce (Mansueti, 1961). L'ensemble de ces résultats indique que le secteur du pont et, dans une moindre mesure, le secteur témoin constituent des sites de reproduction pour le baret. Cela a d'ailleurs été confirmé lors du suivi de la reproduction dans le secteur du pont de l'île d'Orléans (voir section 4, p. 55). Comme il a été mentionné précédemment, à la suite de la période de frai, l'abondance du baret demeure relativement faible pour l'été dans l'aire d'étude, ce qui s'explique par la migration des individus vers des lieux d'alimentation. À l'automne, l'abondance du baret est de nouveau élevée, ce qui correspond à la migration vers les lieux d'hivernage. Selon les données obtenues dans la présente étude, ces lieux d'hivernage se situeraient apparemment dans le secteur du pont de l'île d'Orléans et en amont de l'île d'Orléans (voir section 5, p. 95).

Tableau 9 : Valeurs des paramètres descriptifs utilisés afin de quantifier la dynamique de population pour sept des principales espèces échantillonnées dans le secteur du pont de l'île d'Orléans et le secteur témoin en zone subtidale.

Paramètres	Doré jaune		Doré noir		Baret		Esturgeon jaune		Barbue rivière		Meunier noir		Meunier rouge	
	Pont	Témoin	Pont	Témoin	Pont	Témoin	Pont	Témoin	Pont	Témoin	Pont	Témoin	Pont	Témoin
Abondance (CPUE)¹														
Tous	1,7	3,1	2,8	2,5	5,9	2,8	1,4	3,2	1	1,5	2	2,9	1,2	1,7
Femelle	1,1	2	1,8	1,7	1,3	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-
Mâle	0,5	1,1	0,8	0,7	3,5	1,7	-	-	-	-	-	-	-	-
Femelle mature	0	0	0	0	0,5	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-
Mâle mature	0	0	0	0	1,5	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-
Biomasse (BPUE)²														
Tous	0,9	1,8	0,9	1	1	0,6	0,3	0,3	1,1	1,7	1,5	2,4	0,6	1
Femelle	0,7	1,3	0,7	0,8	0,3	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
Mâle	0,2	0,5	0,2	0,2	0,6	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-
Femelle mature	0	0	0	0	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
Mâle mature	0	0	0	0	0,2	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
Long. totale moy. (mm)														
Tous	366,2	387,8	318,1	351,3	220	235,1	612,6	633	464,4	471,2	386,8	399,7	361,3	378,5
Femelle	394	401,6	347,7	365,5	227,8	232,2	-	-	-	-	-	-	-	-
Mâle	344,6	369	288	341,9	215,5	237	-	-	-	-	-	-	-	-
Masse (g)														
Tous	527,7	588,2	311,6	411,2	175,5	206,5	1 076,2	2 349,3	1 052,8	1 168,8	768,9	828,3	523,8	616,6
Femelle	640,7	665,7	390,8	461,1	196,7	211,7	-	-	-	-	-	-	-	-
Mâle	390,4	461,1	208,9	341,1	159,6	197,9	-	-	-	-	-	-	-	-
Âge														
Tous	2,5	2,8	3	3,7	4,3	4,9	-	-	-	-	-	-	-	-
Femelle	2,8	3,1	3,5	3,9	3,5	3,8	-	-	-	-	-	-	-	-
Mâle	2,2	2,5	2,5	3,6	4,4	5,6	-	-	-	-	-	-	-	-
Condition (b)³	3,19	3,04	3,15	3,09	3,26	3,22	3,36	3,44	3,32	3,38	2,96	2,95	2,82	2,90
Rapport des sexes⁴	0,41	0,6	0,45	0,41	2,7	2,4	-	-	-	-	-	-	-	-

¹ Capture par unité d'effort (nombre d'individus capturés par nuit-filet).² Biomasse par unité d'effort (masse des captures par nuit-filet).³ Exposant de la relation longueur-masse des poissons.⁴ Nombre de mâles\nombre de femelles.

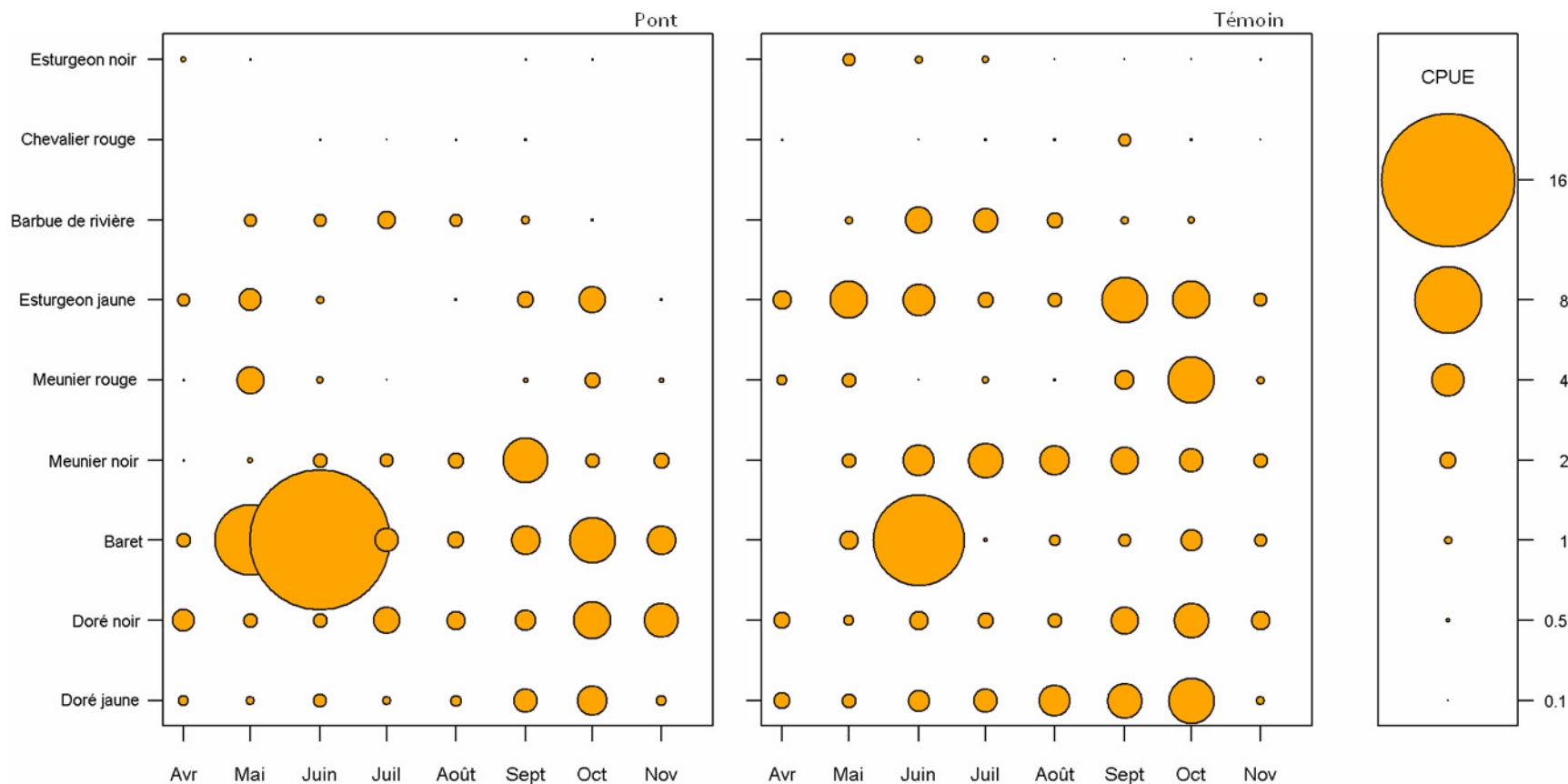


Figure 26 : Nombre de captures par unité d'effort par espèce en zone subtidale (filet maillant), dans les secteurs du pont de l'île d'Orléans (gauche) et témoin (droite) au cours de la période d'eau libre. Seules les espèces avec une abondance dépassant le seuil de 1 % sont représentées.

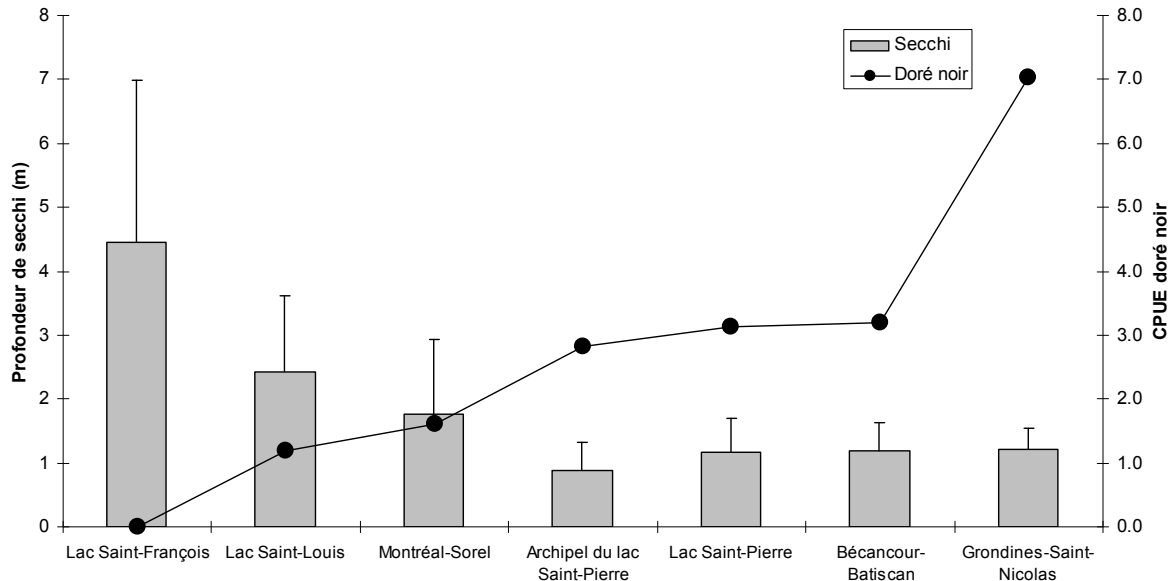


Figure 27 : Proportion de doré noir en fonction de la transparence de l'eau pour différents secteurs du Saint-Laurent (tiré d'Arvisais et al. 2012).

Pour le meunier noir, le secteur du pont et le secteur témoin présentent une abondance respectivement deux et trois fois plus importante que celle observée dans le secteur Bécancour-Batiscan en 2012. De plus, la longueur moyenne et la masse moyenne sont comparables entre les secteurs à l'étude. Elles sont toutefois respectivement 1,5 et 2,4 fois plus élevées dans ces secteurs que dans le secteur Bécancour-Batiscan. Cela est possiblement attribuable à la présence de reproducteurs en début de saison et, dans une moindre mesure, à des conditions d'habitat favorables à l'espèce. Des œufs de meunier noir ont d'ailleurs été récoltés dans la rivière Montmorency au cours des mois de mai et juin (voir section 4, p. 55).

L'abondance du meunier rouge dans le secteur du pont de l'île d'Orléans et le secteur témoin est respectivement de 1,2 et 1,7 CPUE, ce qui est en moyenne 11 fois plus élevé que ce qui a été répertorié en 2012 dans le secteur Bécancour-Batiscan où un CPUE de 0,13 avait été estimé. De plus, les meuniers rouges du secteur Bécancour-Batiscan étaient en moyenne 1,2 fois plus petits et 1,3 fois moins lourds que ceux de l'aire d'étude. Tout comme pour le meunier noir, cela est attribuable à la présence de reproducteurs en début de saison et à des conditions d'habitat favorables à l'espèce. L'abondance du meunier rouge varie dans le temps et est probablement liée aux migrations printanières vers les lieux d'alimentation situés en aval dans le fleuve Saint-Laurent et aux migrations automnales vers les lieux d'hivernage en amont (Figure 26; deLafontaine et al. 2002). Pour le mois de mai, une plus forte abondance de meunier rouge est observée dans le secteur du pont de l'île d'Orléans que dans le secteur témoin, ce qui s'explique probablement par la présence d'aires de fraie. En effet, cette période correspond au sommet de la fraie chez cette espèce et des œufs ont été récoltés dans la rivière Montmorency (voir section 4, p. 55).

Chez la barbue de rivière, l'abondance des secteurs du pont (CPUE = 1,0) et témoin (CPUE = 1,5) s'avère comparable, mais moins importante que celle trouvée dans le secteur de Bécancour-Batiscan

(CPUE = 2,3). Néanmoins, les individus capturés étaient en moyenne plus gros que dans le secteur Bécancour-Batiscan, ce qui pourrait être attribuable à un plus grand nombre d'individus matures. Cela demeure toutefois une hypothèse, car les données de maturité sexuelle ne sont pas disponibles pour cette espèce. L'abondance de la barbie de rivière varie dans l'aire à l'étude entre les saisons, l'espèce étant plus abondante en été et moins abondante au printemps et à l'automne (Figure 26). La barbie de rivière fraie au cours des mois de juin et juillet (Scott et Crossman, 1974). L'abondance plus élevée de cette espèce dans le secteur témoin au cours des mois de juin et juillet pourrait donc refléter des activités de reproduction, mais cela demeure à confirmer, puisque la maturité sexuelle et le sexe des individus n'ont pas été examinés. De plus, aucun œuf et aucun jeune de l'année n'ont été capturés lors des autres inventaires menés en 2012 et 2013.

Espèces en situation précaire

Comme mentionné, les sept espèces en situation précaire fréquentant la région de Québec ont été détectées dans l'aire d'étude à au moins une reprise au cours des travaux sur le terrain menés en 2012 et 2013.

Alose savoureuse

Alors qu'aucun spécimen adulte d'alse savoureuse n'a été capturé dans l'aire d'étude, des jeunes de l'année y ont cependant été observés. Ces derniers ont été capturés dans l'aire d'étude, principalement dans la partie amont du secteur témoin, de juin à octobre. Ils étaient toutefois nettement plus nombreux en juillet (Figure 24 et Figure 25). Tel que le décrivent Maltais et al. (2005), les jeunes de l'année capturés dans l'aire d'étude correspondent probablement à un mélange d'individus issus de frayères localisées près de l'aire d'étude et d'individus en dévalaison vers la mer issus de frayères situées en amont dans le fleuve Saint-Laurent. Les données recueillies lors du suivi du recrutement du bar rayé indiquent que, lors de leur dévalaison vers la mer, les jeunes de l'année de l'alse savoureuse utilisent majoritairement le chenal des Grands Voiliers, alors que le chenal de l'île d'Orléans est utilisé plus marginalement (Figure 1; Figure 28). Il est probable que la concentration significative de jeunes de l'année capturés dans l'aire d'étude soit liée aux activités de frai ayant lieu près de l'aire d'étude, ce qui ferait de ce secteur un secteur d'alevinage plus qu'un secteur de transit.

Anguille d'Amérique

Aucune anguille d'Amérique n'a été capturée à l'aide des filets maillants ou des seines de rivage dans l'aire d'étude, ces engins n'étant pas efficaces pour cette espèce. La présence d'anguille d'Amérique a néanmoins été documentée par le suivi télémétrique d'individus au stade argenté. Plusieurs anguilles argentées ont été détectées dans le secteur du pont de l'île d'Orléans à l'automne, au moment de leur dévalaison vers la mer (voir p. 95). Par ailleurs, le chenal de l'île d'Orléans est connu pour être utilisé par environ 20 % des anguilles au stade argenté en dévalaison (Beguer-Pon et al. 2014).

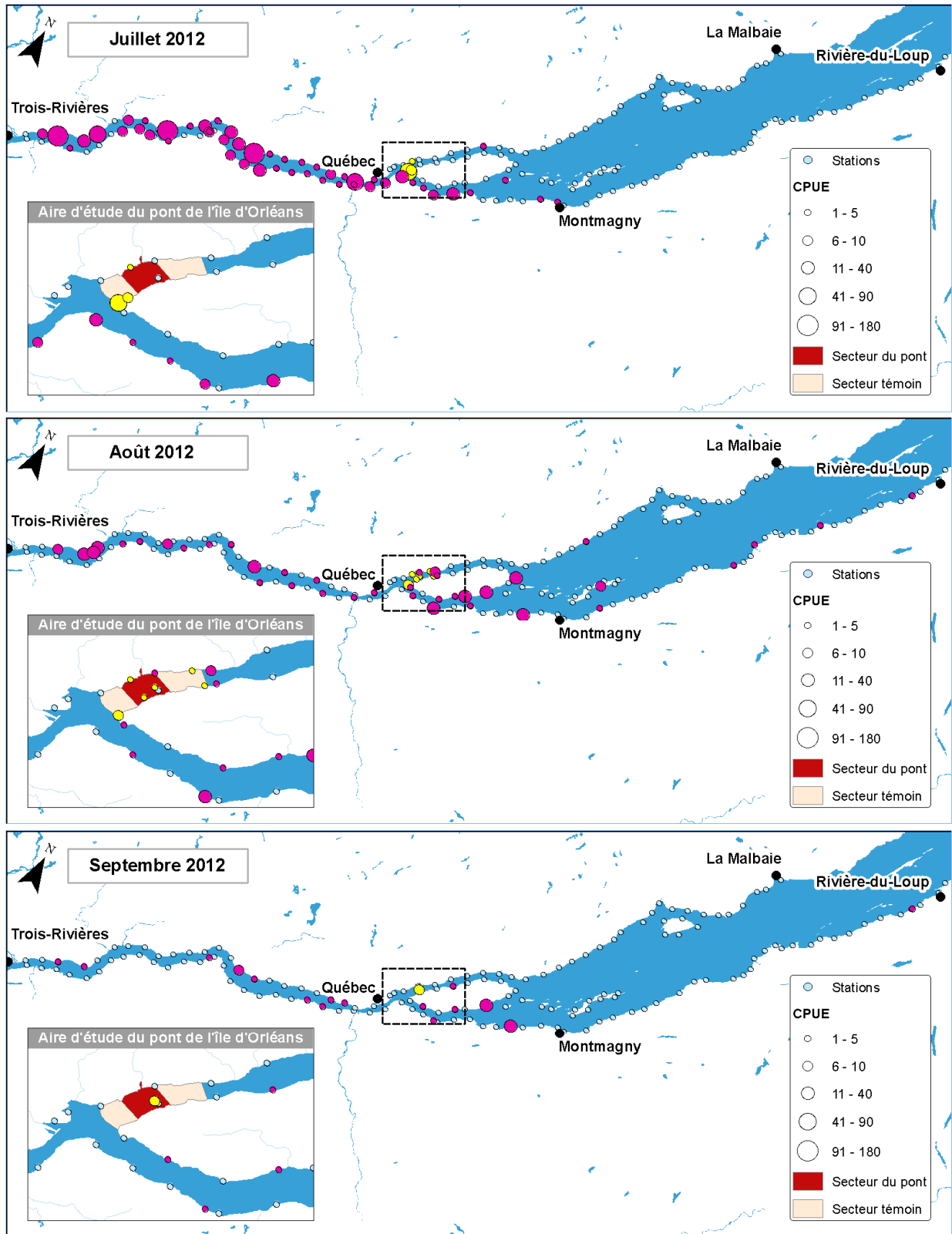


Figure 28 : Abondance en CPUE des jeunes de l'année de l'alose savoureuse de Trois-Rivières à Rivière-du-Loup, de juillet à septembre 2012. Les cercles mauves représentent l'abondance des aloses savoureuses capturées lors du suivi du recrutement du bar rayé, alors que les cercles jaunes représentent les captures du présent projet.

Bar rayé

Au cours des inventaires menés au filet maillant, 12 bars rayés, dont un seul adulte, ont été capturés dans l'aire d'étude. En plus de ces captures, 16 bars rayés adultes ont été détectés lors du suivi télémétrique. De façon générale, il semble que le segment adulte de la population de bars rayés du fleuve Saint-Laurent utilise peu l'aire d'étude, qu'il s'agisse du secteur du pont ou du secteur témoin. De plus, les données de télémétrie ont révélé que le secteur du pont de l'île d'Orléans est essentiellement utilisé comme lieu de passage par les adultes (voir section 5, p. 95). Il en est tout autrement pour le segment juvénile. En effet, lorsque l'on compare l'abondance des jeunes de l'année de l'aire d'étude avec celle observée ailleurs dans les autres secteurs visés par le suivi du recrutement du bar rayé de 2012, il apparaît que l'aire d'étude présente une abondance élevée de jeunes de l'année (Figure 29). Plus précisément, en juillet, peu après la reproduction, une abondance élevée de jeunes de l'année est observée dans le secteur de la baie de Beauport et dans l'aire d'étude, surtout à la pointe ouest de l'île d'Orléans. Les secteurs de Montmagny et de Rivière-Ouelle se démarquent aussi par une abondance élevée de jeunes de l'année. En août, les jeunes de l'année se concentrent principalement dans deux zones, soit la rive sud de l'estuaire du Saint-Laurent, de Montmagny à Rivière-Ouelle, et le chenal de l'île d'Orléans dans lequel se situe l'aire d'étude (Figure 29). L'abondance des jeunes de l'année du bar rayé dans l'aire d'étude et le chenal de l'île d'Orléans diminue en septembre, alors que les jeunes bars se concentrent davantage sur la rive sud de l'estuaire du Saint-Laurent (Figure 29). Ces résultats suggèrent que le chenal de l'île d'Orléans, dont l'aire d'étude, est une zone d'alevinage pour le bar rayé.

Éperlan arc-en-ciel

Sur les 779 éperlans arc-en-ciel capturés dans l'aire d'étude, seulement 3 individus étaient adultes, tous les autres étaient des jeunes de l'année. Le nombre d'éperlans capturés était nettement plus élevé dans le secteur témoin, principalement dans la zone aval, avec 739 prises comparativement à seulement 30 dans le secteur du pont de l'île d'Orléans (Figure 25). Pour le secteur témoin, les juvéniles de l'éperlan arc-en-ciel représentaient la troisième espèce la plus abondante, derrière le baret et le fondule barré. La très grande majorité des éperlans capturés l'ont été aux mois de juin et juillet, ce qui correspond au moment à partir duquel les jeunes de l'année deviennent vulnérables aux engins de pêche utilisés (Figure 24 et Figure 25).

La présence de jeunes larves d'éperlan dans la région de Québec, notamment autour de l'île d'Orléans, a déjà été documentée lors d'inventaires menés précisément pour déterminer les lieux de frai de cette espèce (Pigeon et al. 1998, inventaires MFFP, données non publiées). Ces travaux indiquent que des lieux de fraie importants pour l'éperlan arc-en-ciel se trouvent entre le pont de Québec et les alentours de la pointe ouest de l'île d'Orléans. La majorité des jeunes de l'année qui utilisent l'aire d'étude proviennent vraisemblablement de sites de frai situés en amont de l'aire d'étude, bien qu'un site de frai marginal utilisé sporadiquement ait été répertorié dans le secteur du pont de l'île d'Orléans (voir section 4, p. 55). Les jeunes de l'année issus des frayères situées en amont de l'île d'Orléans doivent transiter par le secteur du pont de l'île d'Orléans pour atteindre la zone d'alevinage répertoriée dans la partie aval du secteur témoin. Il apparaît donc que l'aire d'étude constitue à la fois une zone d'alevinage pour l'espèce (zone aval du secteur témoin) et un lieu de transit (secteur du pont de l'île d'Orléans).

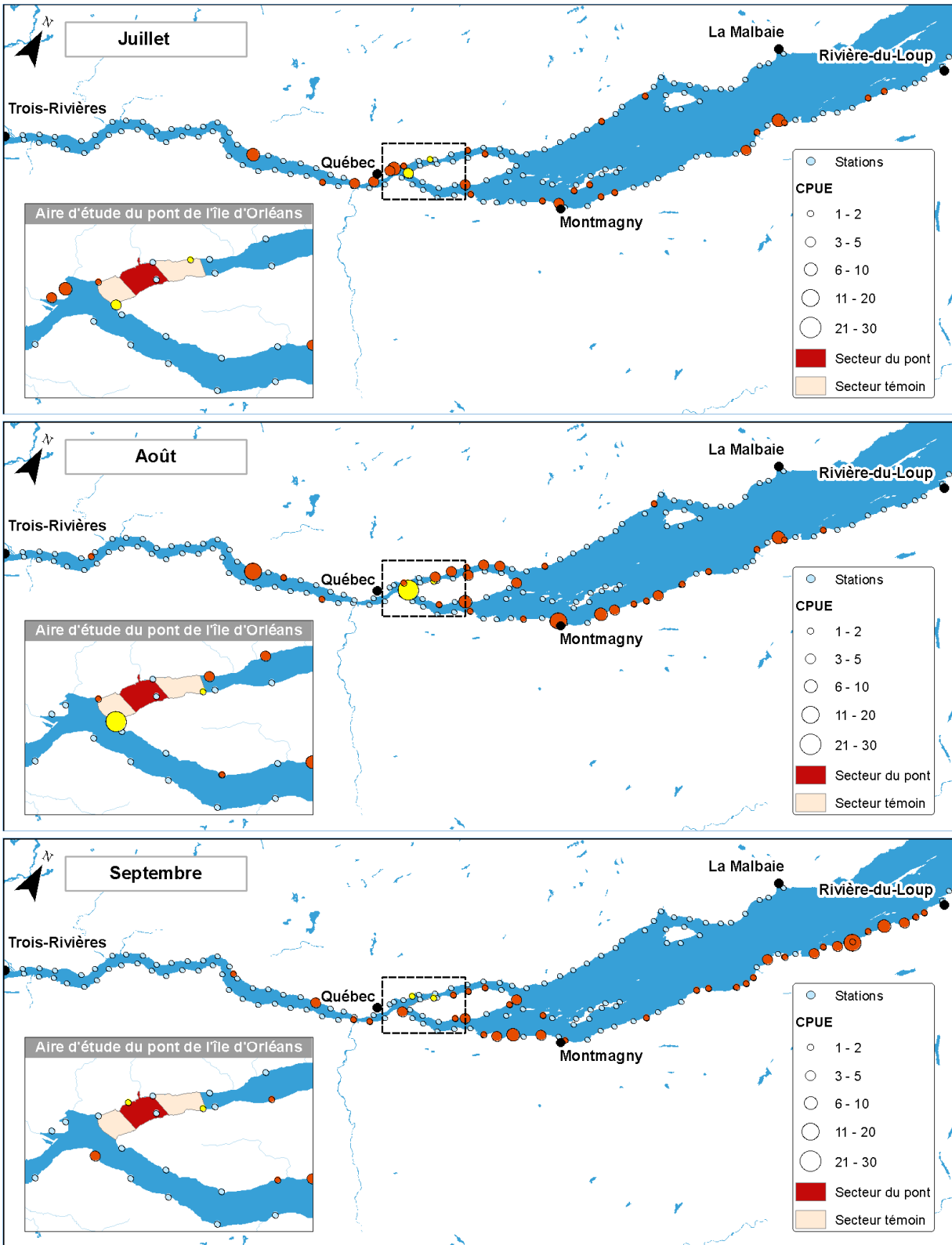


Figure 29 : Abondance en CPUE des jeunes de l'année du bar rayé, de Trois-Rivières à Rivière-du-Loup, pour juillet à septembre 2012. Les cercles orangés représentent l'abondance des captures effectuées lors du réseau de suivi du recrutement du bar rayé, alors que les cercles jaunes représentent les captures du présent projet.

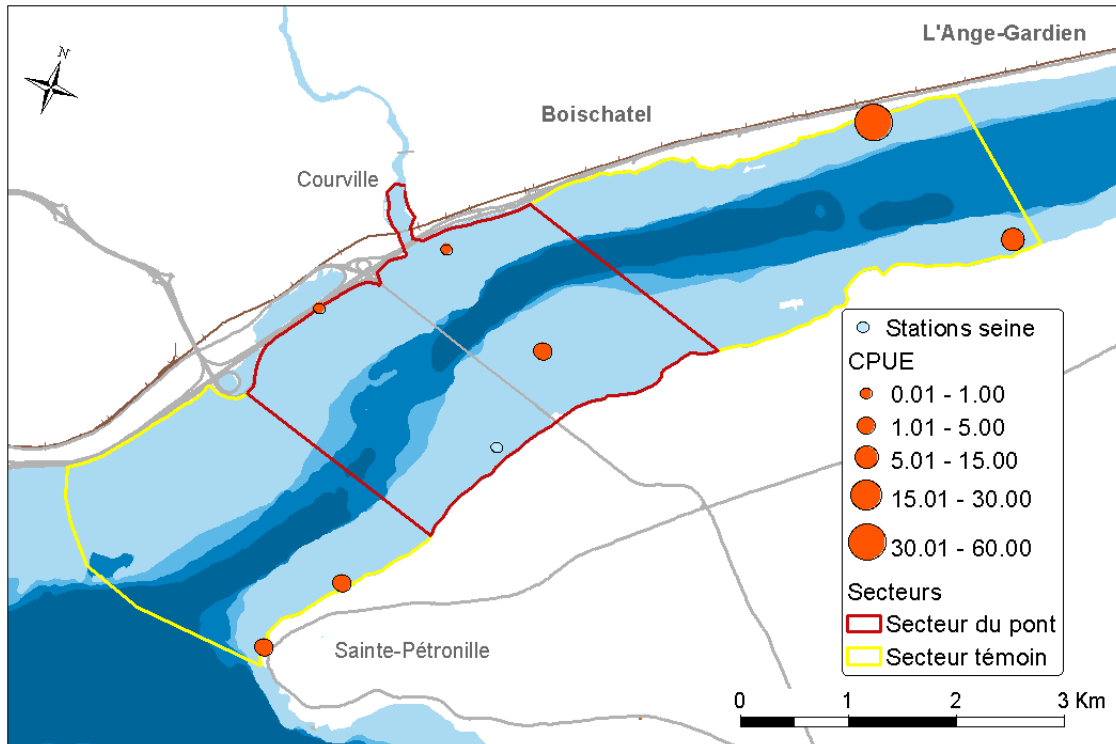


Figure 30 : Abondance en CPUE des jeunes de l'année de l'éperlan arc-en-ciel dans le secteur du pont de l'île d'Orléans et le secteur témoin.

Esturgeon jaune

L'esturgeon jaune fait partie des neuf espèces les plus abondantes en zone subtidale dans l'aire d'étude. Dans le secteur du pont de l'île d'Orléans, l'espèce arrive au cinquième rang des espèces les plus abondantes, alors qu'elle arrive au premier rang dans le secteur témoin. Pour les deux secteurs, l'abondance de l'espèce s'accroît au printemps et à l'automne (Figure 26), ce qui correspond aux migrations saisonnières entreprises par l'espèce entre les lieux d'hivernage et les lieux d'alimentation (voir section 5, p. 95). Le chenal de l'île d'Orléans, dont fait partie l'aire d'étude, est connu pour être une aire d'alimentation et de concentration d'esturgeons jaunes (Société de la Faune et des Parcs du Québec 2003). De plus, les travaux menés sur la reproduction de cette espèce dans le secteur du pont de l'île d'Orléans ont confirmé la présence d'une frayère à l'embouchure de la rivière Montmorency et de rassemblements d'esturgeons jaunes matures en période de frai (voir section 4, p. 55 et section 5, p. 95). Le suivi par télémétrie des adultes a aussi révélé que, pour certains segments de la population d'esturgeons jaunes, le secteur de Québec et le secteur du pont de l'île d'Orléans sont des zones d'hivernage. En résumé, il apparaît que l'aire d'étude est un habitat important pour l'espèce, puisque plusieurs habitats essentiels s'y trouvent (frayère, alevinage, alimentation, hivernage), en plus d'être utilisée comme lieu de passage.

Esturgeon noir

Autant dans le secteur du pont de l'île d'Orléans que dans le secteur témoin, l'esturgeon noir arrive au huitième rang des espèces les plus abondantes en zone subtidale. L'analyse des données de télémétrie d'esturgeons noirs adultes et juvéniles a révélé que l'espèce fréquente l'aire d'étude, mais que les individus n'y demeurent généralement que pour de courts séjours (voir section 5, p. 95). Des travaux

menés par Hatin et al. (2003) avaient révélé une zone de concentration d'esturgeons noirs adultes à proximité de l'aire d'étude, soit à l'embouchure de la rivière Saint-Charles. Selon ces auteurs, l'embouchure de la rivière Saint-Charles serait principalement utilisée comme zone d'alimentation. Les données de télémétrie d'esturgeons noirs juvéniles semblent aussi confirmer l'utilisation de ce secteur par ce segment de la population. Ainsi, bien que l'esturgeon noir fréquente l'aire d'étude, ce territoire ne semble pas être une zone de concentration particulière pour cette espèce.

Saumon atlantique

Aucun saumon atlantique n'a été capturé dans l'aire d'étude. La présence de l'espèce a toutefois été documentée lors du suivi par télémétrie de la dévalaison des saumoneaux de la population de la rivière Jacques-Cartier. Il est toutefois apparu que les saumoneaux utilisant le secteur du pont de l'île d'Orléans étaient en transit et n'utilisaient ce secteur que comme lieu de passage (voir section 5, p. 95).

Synthèse et limitations

Les inventaires menés durant toute la période d'eau libre ont permis de mettre en évidence l'utilisation de l'aire d'étude comme zones d'alevinage, d'alimentation et de reproduction, mais aussi comme lieu de passage entre différents habitats essentiels pour plusieurs espèces. L'utilisation concomitante du filet maillant et de la seine de rivage a permis de documenter en profondeur la communauté de poisson fréquentant le secteur du pont de l'île d'Orléans ainsi que les fluctuations de l'abondance des espèces dans le temps. Il est ainsi apparu que l'aire d'étude est riche sur le plan de la biodiversité, avec près d'une cinquantaine d'espèces la fréquentant à un moment ou à un autre de la période d'eau libre. Les résultats ont aussi mis en évidence l'utilisation du secteur du pont de l'île d'Orléans par les sept espèces en situation précaire présentes dans la région de Québec.

La comparaison des données propres au secteur du pont de l'île d'Orléans à celles d'autres études permet d'apprécier la contribution particulière de ce secteur au recrutement et à la présence de certaines populations de poissons sur un territoire très large. Des perturbations de l'habitat du poisson dans le secteur du pont de l'île d'Orléans pourraient donc avoir des répercussions sur les populations de poissons à l'échelle du fleuve Saint-Laurent. Qu'il s'agisse d'espèces en situation précaire ou non, il apparaît donc capital de préserver les habitats essentiels répertoriés dans l'aire d'étude, mais aussi la connectivité qui existe entre ces différents habitats, autant pour les segments adultes que juvéniles.

Bien que les méthodes employées pour décrire la communauté ichthyologique du secteur du pont de l'île d'Orléans se soient avérées efficaces, certaines limitations doivent être relevées. C'est notamment le cas pour la capturabilité des poissons par les engins de pêche. En effet, les engins utilisés ne permettaient pas de capturer les spécimens de très petite taille (p. ex., jeunes larves de bar rayé) ou de très grande taille (p. ex., esturgeons adultes). De plus, les engins utilisés n'étaient pas adaptés à la capture de certaines espèces comme les anguilles ou les lamproies. Néanmoins, l'utilisation de données en provenance d'autres types d'inventaires ou d'autres études (p. ex., télémétrie chez les esturgeons, captures d'individus fraîchement éclos chez l'éperlan arc-en-ciel) a généralement permis de remédier à cette situation. Il faut aussi noter l'absence d'inventaires en période hivernale (décembre à mars) à cause des difficultés inhérentes à l'échantillonnage durant cette saison. Dans le cas de la seine de rivage, le couvert de glace empêche son utilisation. Pour ce qui est du filet maillant, il est possible de le déployer

sous la glace, mais le milieu extrêmement dynamique du secteur du pont de l'île d'Orléans rend cette tâche considérablement complexe et hasardeuse. L'absence d'inventaires en période hivernale a toutefois en partie été compensée par un suivi télémétrique pour l'hiver 2013-2014. Bien entendu, seules les espèces marquées avec des émetteurs acoustiques ont pu être suivies pendant cette période.

Malgré les limitations relevées, l'étendue temporelle des inventaires, l'utilisation de plusieurs méthodes d'échantillonnage et la complémentarité, d'autres études menées à l'échelle du fleuve Saint-Laurent ont permis de dresser une description sans précédent de la communauté ichthyologique du secteur du pont de l'île d'Orléans.

Activités de reproduction

Revue des connaissances

Peu d'information était disponible sur les activités de reproduction des différentes espèces de poissons du fleuve Saint-Laurent dans le secteur de Québec et autour de l'île d'Orléans. Cela est vrai autant pour la présence de frayère que pour la prévalence et la chronologie des activités de reproduction. L'information disponible la plus récente provenait principalement d'inventaires menés en 1976 par Denis Bouchard, qui visaient à localiser les frayères des principales espèces de poissons d'intérêt sportif et commercial sur l'ensemble du fleuve Saint-Laurent. Se basant principalement sur la présence de géniteurs et d'alevins, Bouchard (1976) a répertorié plusieurs frayères potentielles dans les régions de Québec et de l'île d'Orléans. Selon cette étude, 11 espèces pourraient se reproduire dans ces régions (Tableau 10, Figure 31). Certaines de ces frayères seraient localisées dans le secteur du pont de l'île d'Orléans, où six espèces s'y reproduisent probablement (Tableau 10).

Tableau 10 : Espèces pour lesquelles des frayères potentielles ont été répertoriées dans la région de Québec et de l'île d'Orléans, et particulièrement dans le secteur du pont de l'île d'Orléans, selon Bouchard (1976).

Nom français	Nom latin	Région de Québec et de l'île d'Orléans	Secteur du pont de l'île d'Orléans
Achigan à petite bouche	<i>Micropterus dolomieu</i>	x	x
Alose savoureuse	<i>Alosa sapidissima</i>	x	
Barbotte brune	<i>Ameiurus nebulosus</i>	x	
Baret	<i>Morone americana</i>	x	
Carpe	<i>Cyprinus carpio</i>	x	x
Éperlan arc-en-ciel	<i>Osmerus mordax</i>	x	
Épinoche à trois épines	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	x	
Grand brochet	<i>Esox lucius</i>	x	x
Meunier noir	<i>Catostomus commersonii</i>	x	x
Meunier rouge	<i>Catostomus catostomus</i>	x	x
Perchaude	<i>Perca flavescens</i>	x	x

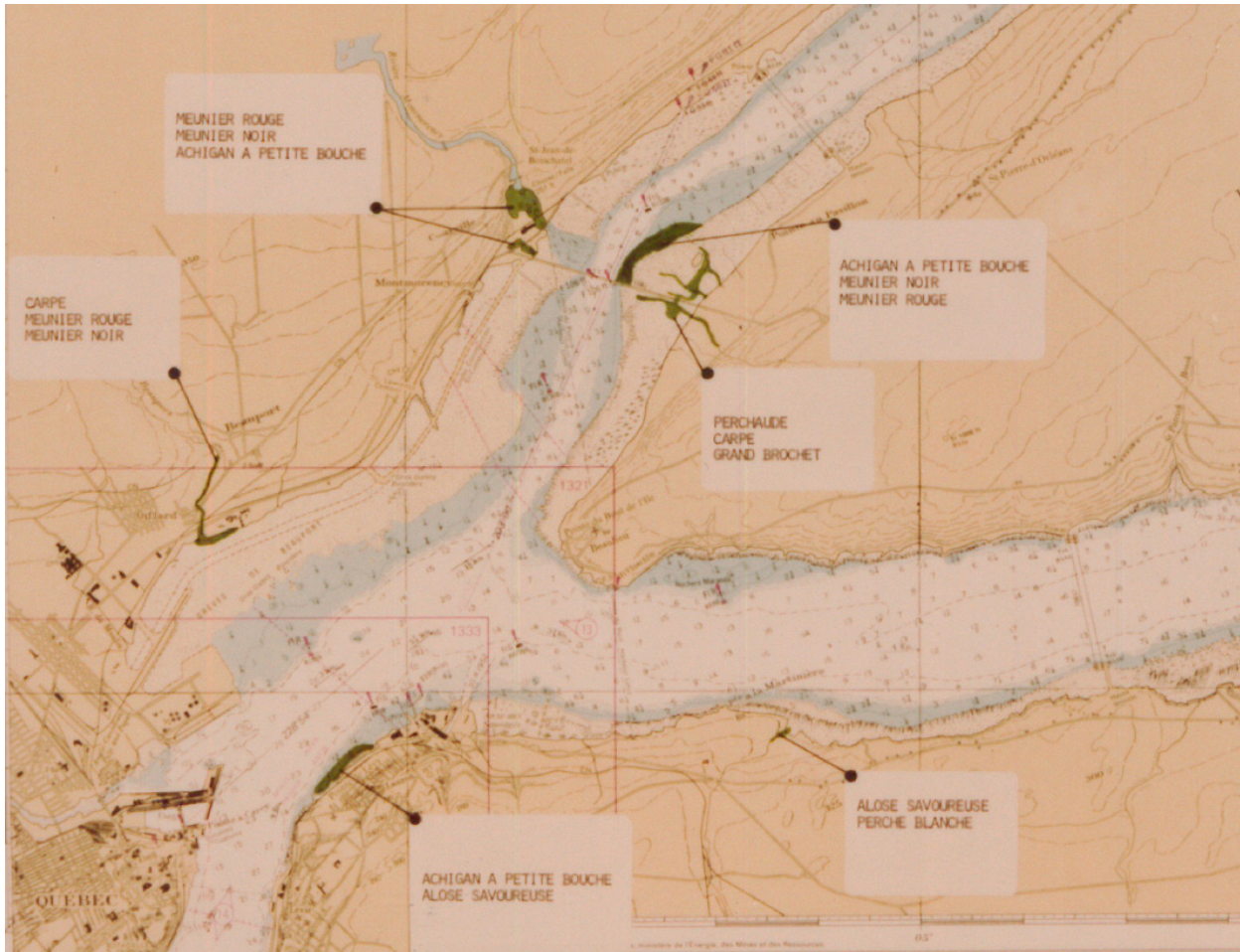


Figure 31 : Illustration représentant les frayères potentielles près de Québec et de l'île d'Orléans (tirée de Bouchard, 1976).

À la suite des inventaires de Bouchard (1976), aucun effort n'a été déployé dans la région de Québec pour confirmer l'utilisation de ces frayères potentielles. Le Groupe Environnement Shooner inc. a produit en 1991 un atlas des habitats des principales espèces de poissons du Saint-Laurent, qui comportait entre autres une mise à jour des connaissances sur les frayères de poissons dans le secteur Québec-Lévis (Thérien et al. 1991). Au moment de publier cet atlas, aucune nouvelle connaissance sur la fraie des poissons dans ce secteur n'avait été générée, exception faite de certaines frayères d'éperlans arc-en-ciel. Ainsi, pour le secteur Québec-Lévis, cet atlas ne présente pas de nouvelles frayères par rapport à ce qui avait été trouvé par Bouchard (1976). Dans les dernières années, quelques espèces en situation précaire ont reçu une attention particulière afin de confirmer l'utilisation de certaines frayères ou d'en localiser de nouvelles. C'est notamment le cas de l'éperlan arc-en-ciel, du bar rayé, de l'alose savoureuse et de l'esturgeon jaune.

L'éperlan arc-en-ciel fait l'objet d'un suivi rigoureux de ses activités de reproduction par le gouvernement provincial depuis plusieurs décennies (p. ex., Carrier et al. 1981, Trencia 1999, Texier 2003, Trencia et Langevin 2008). Ce suivi vise particulièrement la population d'éperlans arc-en-ciel de la rive sud, mais des efforts sont aussi déployés pour localiser les zones de fraie de la population de la rive nord (inventaires

menés par le MFFP, données non publiées). Pour cette espèce, certaines frayères potentielles trouvées par Bouchard (1976) ont été confirmées et de nouvelles frayères ont été répertoriées.

Concernant le bar rayé, sa réintroduction dans les eaux du fleuve Saint-Laurent est récente (2002), mais une frayère naturelle a été localisée à l'embouchure de la rivière du Sud (Legault, en prép.). Des inventaires récents menés par le MFFP indiquent que l'espèce fraie probablement ailleurs, directement dans le fleuve Saint-Laurent ou dans ses tributaires, notamment dans la région de Québec. Des travaux sont toujours en cours afin de découvrir les sites de frai de l'espèce.

La situation est semblable pour l'alose savoureuse. Jusqu'à très récemment, on croyait que cette espèce se reproduisait exclusivement dans les frayères de la rivière des Prairies et de la rivière des Outaouais, situées bien en amont de la région de Québec. Alors qu'aucune autre frayère n'a formellement été trouvée, une étude récente a mis en lumière que la population d'aloses savoureuses du fleuve Saint-Laurent ne se reproduirait pas seulement dans ces secteurs, mais fraierait successivement à différents endroits, de l'amont vers l'aval (Maltais et al. 2010). Certains sites de frai se trouveraient près de Québec, notamment près ou autour de l'île d'Orléans et de la baie de Beauport. Cela avait d'ailleurs déjà été suggéré par Bouchard (1976).

Enfin, des travaux menés sur le terrain dans les dernières années ont mis en évidence le retour de l'esturgeon jaune à la frayère de la rivière Chaudière et à une autre située à l'embouchure de la rivière du Sud (communication personnelle, P. Y. Collin, 2014). Des travaux préliminaires sur le terrain ont aussi confirmé la présence d'individus matures pendant la période de frai à l'embouchure de la rivière Montmorency (Vallières, 2010, rapport interne), ce qui suggère la présence d'une frayère.

Matériel et méthodes

Espèces visées

Compte tenu des données voulant que l'éperlan arc-en-ciel, l'esturgeon jaune, le bar rayé et l'alose savoureuse puissent se reproduire dans le secteur du pont de l'île d'Orléans, des inventaires précis ont été menés afin de déterminer les sites de frai utilisés par ces espèces. En plus des espèces visées particulièrement, les inventaires menés avaient pour but d'examiner les activités de reproduction des autres espèces de poissons fréquentant le secteur du pont. Ainsi, lors de la saison d'échantillonnage de 2012, une frayère de baretts a été répertoriée dans le secteur du pont de l'île d'Orléans. Comme pour les espèces prioritairement visées, des efforts particuliers ont alors été déployés en 2013 afin de circonscrire cette frayère de baretts et d'évaluer la densité du dépôt des œufs.

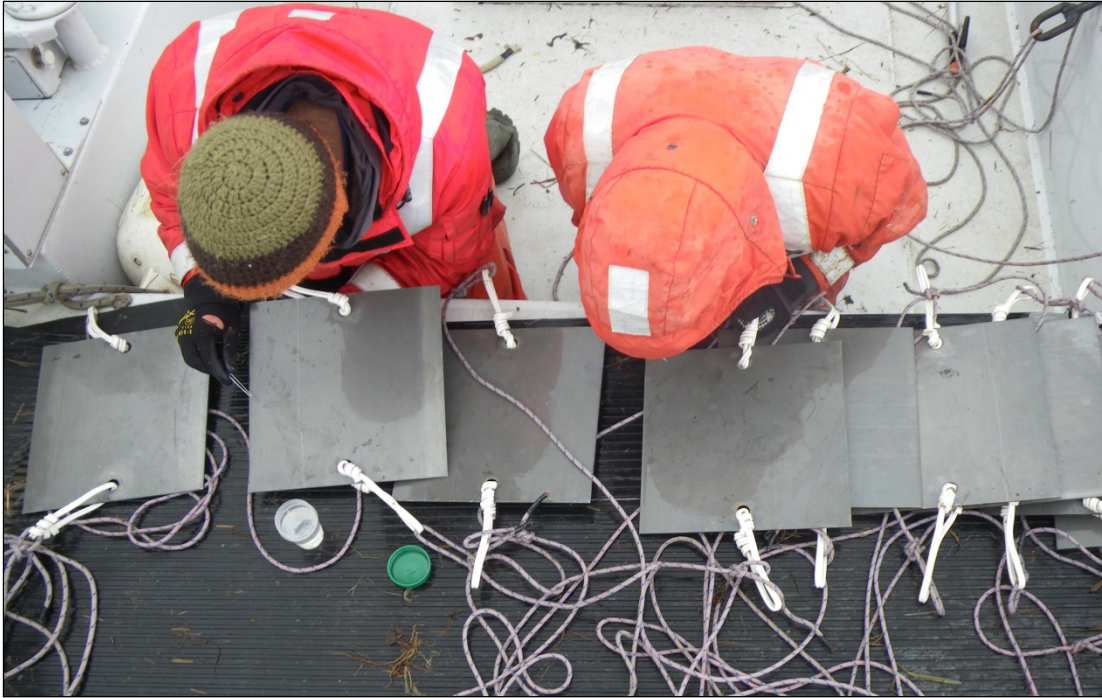
Dans le cas de l'éperlan arc-en-ciel et de l'esturgeon jaune, des capteurs d'œufs ont été déployés afin de collecter directement les œufs déposés par les adultes. Pour ce qui est du bar rayé, les œufs étant pélagiques et les adultes se reproduisant que sur une très courte période, les données des inventaires ichtyologiques (voir p. 19) et de la télémétrie hydroacoustique (voir p. 95) ont été utilisées pour évaluer la présence des adultes et leur utilisation du secteur du pont de l'île d'Orléans en période de reproduction. Pour l'alose savoureuse, une attention particulière a été portée aux individus matures capturés lors des inventaires ichtyologiques pendant la période de reproduction (mai à juillet). Enfin, lors de la saison

d'échantillonnage de 2012, une frayère de barets a été répertoriée dans le secteur du pont de l'île d'Orléans, une première dans le fleuve Saint-Laurent. Des efforts particuliers ont donc été déployés en 2013 pour circonscrire cette frayère et évaluer la densité du dépôt des œufs.

Description des engins de collecte des œufs

La collecte des œufs de poisson est une méthode d'échantillonnage efficace pour valider la présence de frayères dans un secteur en particulier. Néanmoins, les méthodes de collecte d'œufs doivent tenir compte des caractéristiques biologiques de ceux-ci (p. ex., adhérents ou non), de la façon dont les femelles les libèrent (p. ex., directement sur le substrat ou en zone démersale) et des caractéristiques physiques de l'habitat (p. ex., vitesse du courant et profondeur de l'eau). Considérant l'ensemble de ces caractéristiques, trois types de capteurs ont été retenus pour inventorier le secteur du pont de l'île d'Orléans afin d'optimiser la collecte d'œufs des différentes espèces.

Dans le cas de l'éperlan arc-en-ciel, le type de capteur d'œufs utilisé consiste en une ligne de 10 plaques de métal de 30 cm x 30 cm reliées entre elles par une corde de 5 m (Figure 32). Ce type de capteur est déposé au fond du cours d'eau, parallèlement au courant. Les plaques de métal sont efficaces pour les espèces à œufs adhérents comme ceux de l'éperlan arc-en-ciel (Genivar, 2007). Au cours de la saison d'échantillonnage de 2012, il a aussi été observé que les plaques de métal étaient efficaces pour collecter les œufs du baret. Dans le cas de l'esturgeon jaune, le type de capteur d'œufs utilisé consiste en une ligne de cinq filtres pour chaudière (appareil de chauffage central), chacun inséré dans un cadre de métal de 38 cm x 45 cm ou de filtres pour chaudière enroulés autour d'un parpaing (Figure 33). Les cinq unités sont reliées entre elles par une corde de 5 m de longueur. Ce type de capteur est adapté à la capture d'œufs adhérents ou non et est fréquemment utilisé pour la capture des œufs de plusieurs espèces d'esturgeons (McCabe 1990, Heise et al. 2004), y compris l'esturgeon jaune (LaHaye et al. 2003, Thiem et al. 2013). Il est à noter qu'au cours de la saison 2012 certaines stations de filtres pour chaudière localisées dans le bassin de la rivière Montmorency ne possédaient qu'une seule unité au lieu de cinq compte tenu de l'exiguïté de certaines zones de ce secteur. Le dernier type de capteur d'œufs utilisé consiste en un bloc de béton creux à faces lisses de 10 cm x 20 cm x 40 cm (Figure 34). Un seul bloc par station est installé. Ce type de capteur est adapté aux espèces qui cherchent des cavités pour déposer leurs œufs comme les raseux-de-terre. Pour la saison d'échantillonnage 2012, un filet troubleau a aussi été testé durant la période de reproduction de l'esturgeon jaune dans le bassin de la rivière Montmorency. Ce type d'engin est conçu pour récolter les organismes, dont les œufs, se trouvant dans le substrat et est approprié pour récolter les œufs d'esturgeons jaunes. Enfin, si des œufs de poisson étaient trouvés accidentellement lors d'autres activités d'échantillonnage, ils étaient aussi conservés pour être identifiés et dénombrés. Les différents types de capteurs d'œufs ont été levés tous les quatre jours, dans la mesure du possible, afin d'éviter que les œufs n'éclosent entre les levées.



Crédit photo: MFFP

Figure 32 : Inspection d'une ligne de capteurs d'œufs de type plaque de métal.



Crédit photo: MFFP

Figure 33 : Montage d'un capteur d'œufs de type filtre pour chaudière inséré dans un cadre métallique.



Crédit photo: MFFP

Figure 34 : Vue plongeante d'un capteur d'œufs de type bloc creux.

Recherche des zones de fraie et périodes d'échantillonnage

Éperlan arc-en-ciel

Les frayères typiques de l'éperlan arc-en-ciel se situent dans les rivières et les ruisseaux, en amont des zones sous l'influence des marées (revu par Brassard et Verreault 2000). Néanmoins, l'éperlan arc-en-ciel peut aussi frayer dans la zone sous l'influence des marées et même en milieu subtidal sur des hauts-fonds rocheux, directement dans l'estuaire fluvial du Saint-Laurent (Brassard et Verreault 2000, Lecompte et Dodson 2004, GENIVAR 2007, 2008). Les caractéristiques physiques du tronçon fluvial du secteur du pont de l'île et de la rivière Montmorency pourraient donc convenir à la reproduction de cette espèce. Par conséquent, la rivière Montmorency, du bassin à l'embouchure, et le chenal de l'île d'Orléans, situés dans le secteur du pont de l'île d'Orléans, ont fait l'objet d'un échantillonnage intensif en 2012 et en 2013. En 2012, 41 lignes de plaques de métal ont été installées dans ces secteurs (Figure 35 et Figure 36). En 2013, 26 lignes de plaques de métal ont été installées dans ces mêmes secteurs (Figure 38).

La période d'échantillonnage avec les plaques de métal a été déterminée en tenant compte des préférences de températures de frai connues pour l'espèce dans le fleuve Saint-Laurent et ses tributaires. La fraie a généralement lieu entre 5 et 15 °C (revu par Robitaille et Vigneault 1990), mais le suivi de la reproduction de l'espèce dans le fleuve Saint-Laurent montre une préférence pour des températures situées entre 6 et 10 °C. La température de l'eau du fleuve Saint-Laurent enregistrée à la station du Vieux-Port de Québec a été utilisée afin de déterminer le début et la fin de la période d'échantillonnage. En 2012, les plaques de métal ont été déployées pour l'éperlan arc-en-ciel du 13 avril

au 14 mai (températures comprises entre 6 et 11 °C). En 2013, elles ont été déployées du 23 avril au 9 mai (températures comprises entre 5 et 13 °C).

Au cours des deux années d'échantillonnage, un témoin positif constitué de deux lignes de plaques de métal a été installé au ruisseau de l'Église qui est un site de frai connu pour l'éperlan arc-en-ciel (Figure 37; Genivar, 2007, 2008). Ce témoin avait pour but de valider l'efficacité des plaques de métal à collecter les œufs d'éperlan arc-en-ciel.

Esturgeon jaune

L'esturgeon jaune se reproduit habituellement au pied d'obstacles infranchissables tels que les chutes et les barrages, dans des courants rapides généralement d'environ 1 m/s (revu par Peterson et al. 2007). Néanmoins, l'esturgeon jaune peut aussi frayer directement dans les cours d'eau où la vitesse du courant est élevée (LaHaye et al. 2003) ou encore sur les hauts-fonds des lacs, préférentiellement dans des zones exposées aux vagues (revu par Kerr et al. 2010). Dans tous les cas, l'espèce préfère des substrats propres, grossiers et hétérogènes (revu par Kerr et al. 2010). Dans le secteur du pont de l'île d'Orléans, ces conditions sont remplies dans la rivière Montmorency et à son embouchure. Il n'est pas exclu que l'esturgeon jaune fraie directement dans le chenal de l'île d'Orléans. Par conséquent, le déploiement des capteurs d'œufs, particulièrement en 2012, a été planifié afin de couvrir le maximum de secteurs propices à la reproduction de l'esturgeon jaune. Ainsi, en 2012, 6 lignes de filtres pour chaudière ont été installées dans le bassin et les rapides de la rivière Montmorency et 27 unités additionnelles (un seul filtre pour chaudière et non une ligne) ont été installées dans le bassin de la rivière Montmorency (Figure 35 et Figure 36). Onze lignes ont aussi été installées dans la section du chenal de l'île d'Orléans située dans le secteur du pont de l'île. En 2013, le déploiement des capteurs d'œufs visait à préciser les secteurs où des activités de reproduction avaient été répertoriées en 2012. Quatorze lignes de filtres pour chaudière ont donc été installées dans le bassin de la rivière, dans les rapides et à l'embouchure de la rivière Montmorency (Figure 38 et Figure 39).

La période d'échantillonnage avec les filtres pour chaudière a été déterminée en tenant compte des préférences de température de l'esturgeon jaune pour ses activités de reproduction. Les températures du déclenchement de la fraie varient selon les localités, mais se situent entre 9 et 13 °C (revu par Bruch et Binowski, 2002), alors que les températures optimales pour le frai se situent généralement entre 12 et 18 °C (Scott et Crossman, 1974; OMNR, 2009). Dans le fleuve Saint-Laurent à la hauteur de Québec, ces températures sont généralement atteintes au cours du mois de mai (Marchand et deLafontaine, 2003). Toutefois, au printemps, la température de l'eau de la rivière Montmorency est généralement plus froide que celle du fleuve. Les données de température de la rivière Montmorency ont donc été utilisées pour planifier le déploiement des filtres pour chaudière. En 2012, la période d'échantillonnage s'est échelonnée du 14 mai au 21 juin (températures comprises entre 7 et 22 °C), alors qu'en 2013 elle s'est échelonnée du 16 mai au 18 juin (températures comprises entre 6 et 17 °C). Pour les deux années, les capteurs d'œufs ont été retirés au moment où aucun œuf n'était collecté à aucune des stations lors d'au moins deux séances de levées consécutives des engins.

Baret

Alors que l'aire de répartition du baret dans le fleuve Saint-Laurent s'étend de l'amont du tronçon fluvial jusque dans l'estuaire moyen (Bernatchez et Giroux 2012), aucune frayère pour l'espèce n'avait été

répertoriée avant la tenue de la présente étude. En 2012, l'analyse des lignes de plaque de métal déployées dans le secteur du pont de l'île d'Orléans pour l'éperlan arc-en-ciel a révélé que cinq d'entre elles contenaient des œufs de baret, et ce, lors de plusieurs levées consécutives. Compte tenu de la présence soutenue des œufs de baret sur les lignes de plaques de métal, il a été décidé de poursuivre l'échantillonnage des œufs de cette espèce au-delà de la période de reproduction de l'éperlan arc-en-ciel avec 12 des 41 lignes de plaque de métal initialement installées. Ces plaques ont été retirées le 7 juin alors que près de deux semaines s'étaient écoulées sans dépôt d'œufs de baret. Toutefois, des œufs de baret ont de nouveau été trouvés lors du retrait des engins, ce qui suggère que le frai n'était pas terminé.

En 2013, 28 lignes de plaques de métal ont été installées précisément pour documenter les activités de reproduction du baret dans le chenal de l'île d'Orléans et pour délimiter avec plus de précisions la frayère répertoriée en 2012. Quatre stations ont aussi été ajoutées au cours de la période de frai afin de circonscrire la frayère avec plus de précision. En 2013, la période d'échantillonnage avec les plaques de métal pour le baret a été déterminée en tenant compte des températures de déclenchement et de sommet de la fraie rapportées dans la littérature scientifique. Sur la côte atlantique, la fraie a généralement lieu entre 10 et 20 °C (Mansueti 1961, Klauda et al. 1988, Kerr et Secor 2010), mais les températures de frai optimales se situent entre 12 et 14 °C (revu par Setzler-Hamilton, 1991). Néanmoins, compte tenu de l'absence de documentation pour le fleuve Saint-Laurent, qui se situe à la limite nordique de l'aire de répartition de l'espèce, il a été décidé de déployer les plaques de métal à partir de 5 °C. Cette mesure avait pour but de documenter avec certitude le début de la fraie. Les plaques ont été retirées lorsque la température de l'eau a dépassé le seuil des 20 °C et qu'une absence d'œuf au cours de deux levées consécutives a été observée. Ainsi, pour 2013, le déploiement des capteurs d'œufs pour le baret s'est effectué du 23 avril au 12 juillet alors que les températures de l'eau étaient comprises entre 5 et 22 °C.

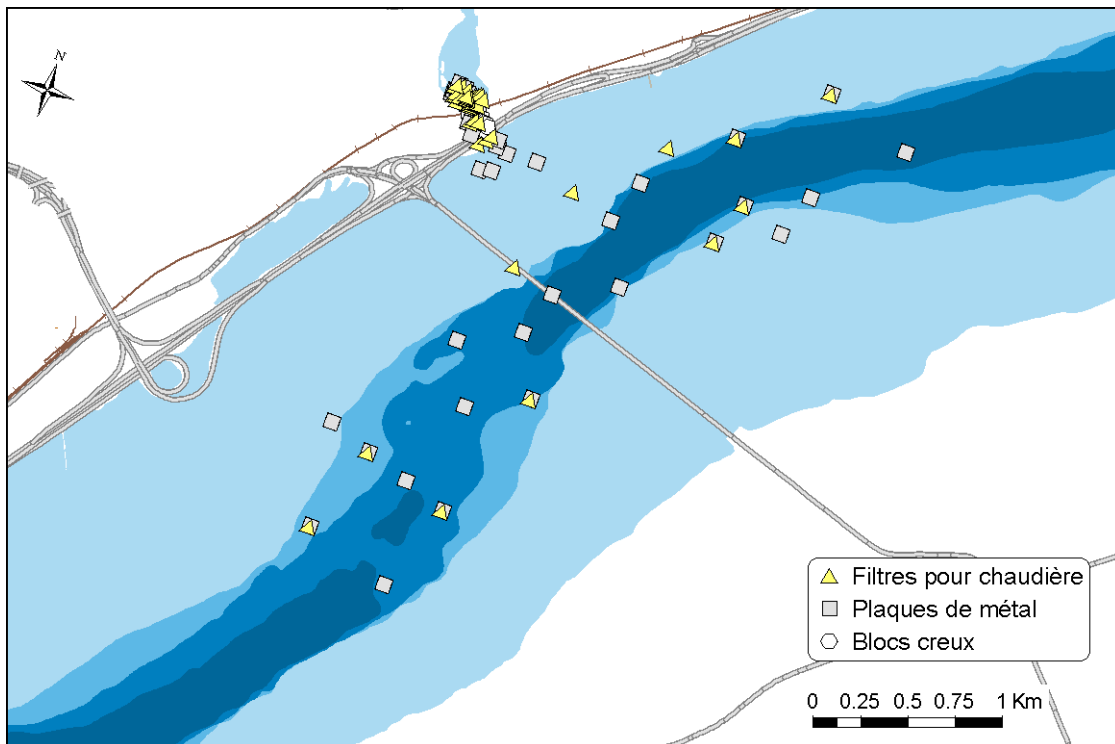


Figure 35 : Localisation des capteurs d'œufs dans le secteur du pont de l'île d'Orléans en 2012.

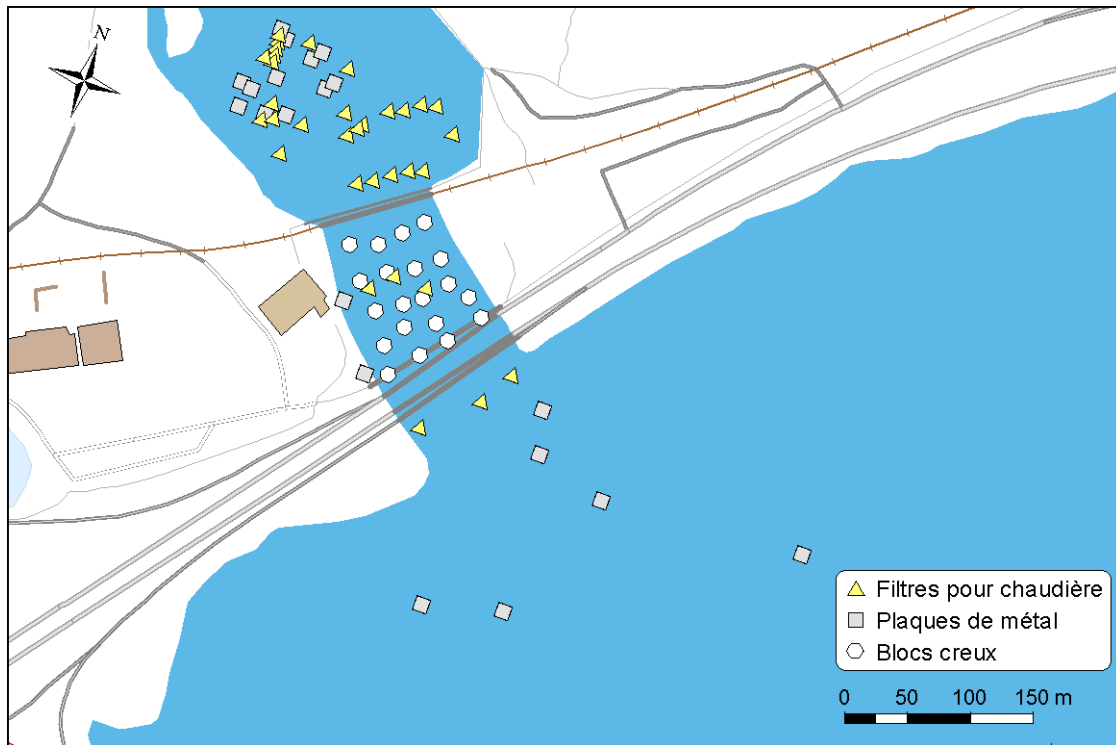


Figure 36 : Localisation des capteurs d'œufs dans la rivière Montmorency, du bassin à son embouchure, en 2012.

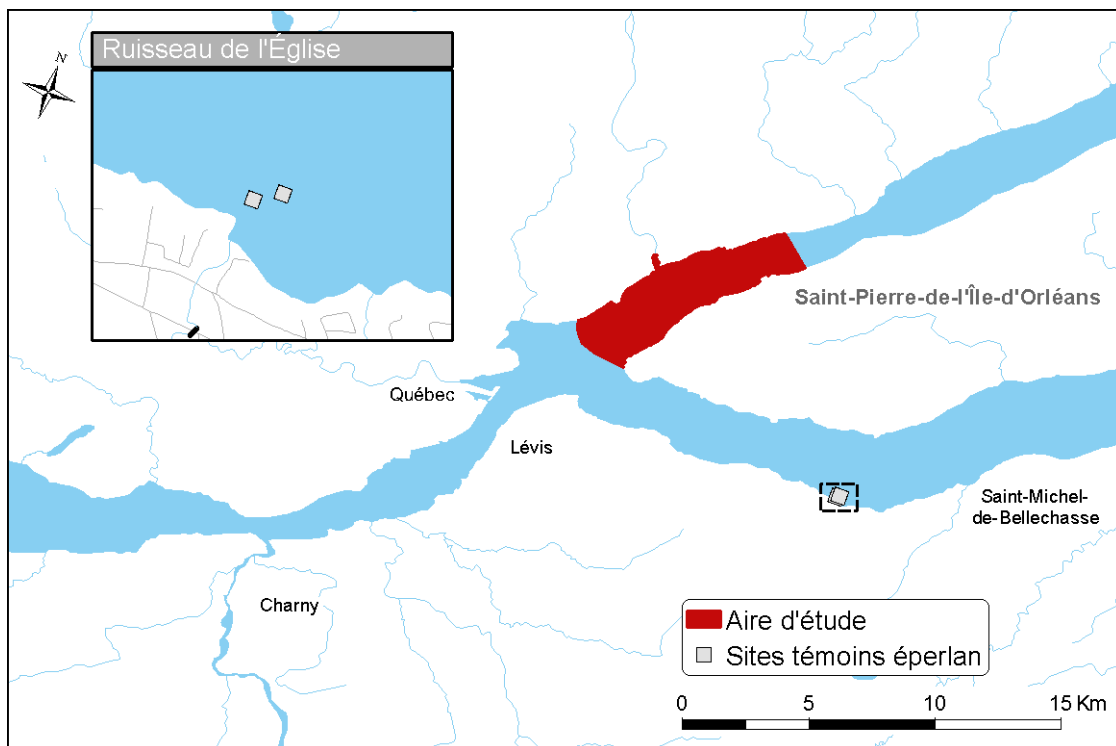


Figure 37 : Localisation des deux lignes de capteurs d'œufs témoins pour l'éperlan arc-en-ciel au ruisseau de l'Église en 2012 et 2013.

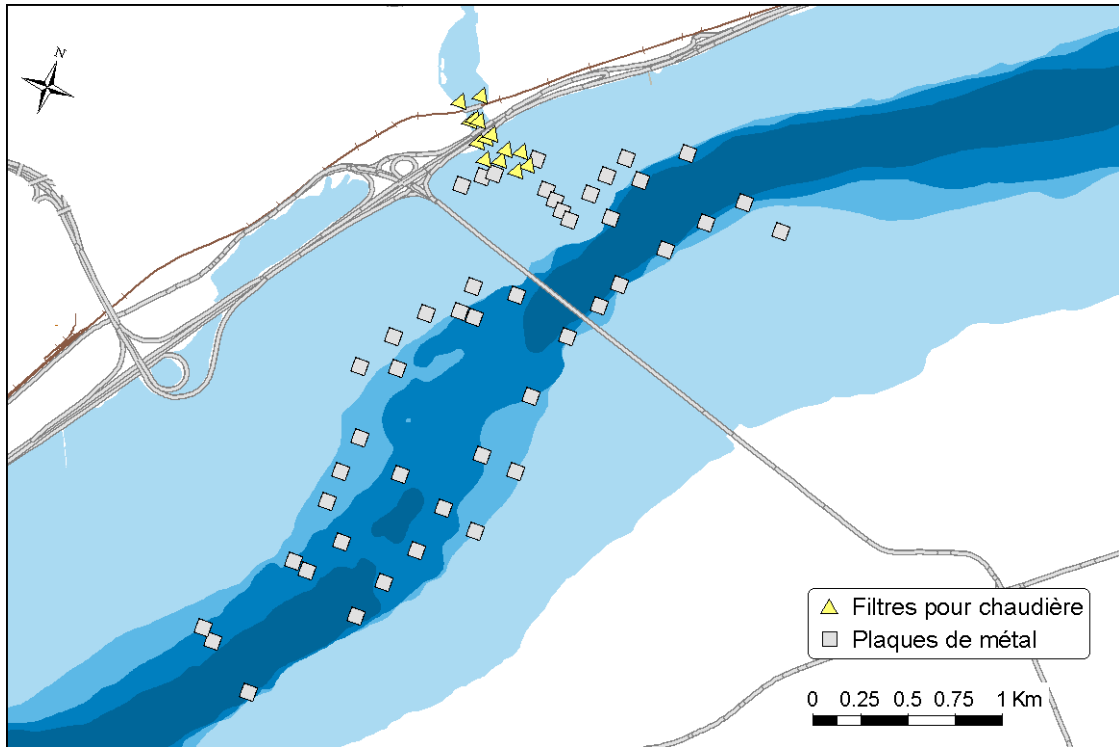


Figure 38 : Localisation des capteurs d'œufs dans le secteur du pont de l'île d'Orléans en 2013.

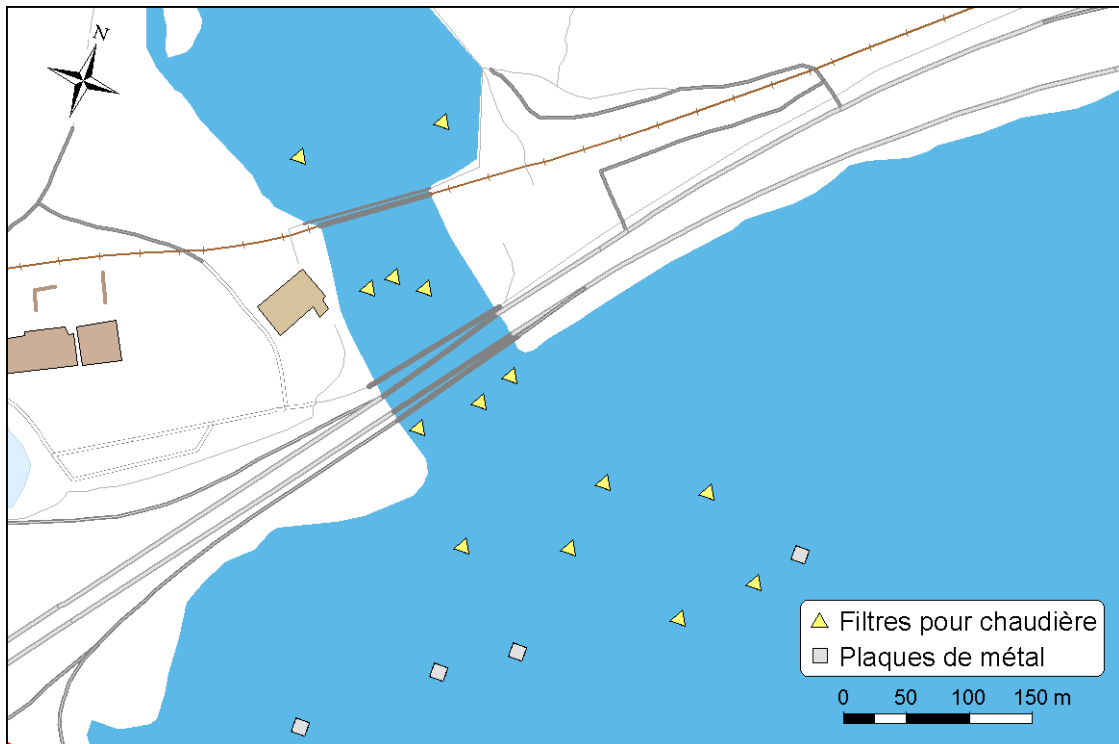


Figure 39 : Localisation des capteurs d'œufs dans la rivière Montmorency, du bassin à l'embouchure, en 2013.

Identification et dénombrement des œufs

À chaque levée, tous les types de capteurs d'œufs étaient méticuleusement inspectés afin de collecter tous les œufs pouvant s'être fixés aux engins. Les œufs récoltés étaient immédiatement immergés dans de l'éthanol 95 % pour être conservés et analysés ultérieurement en laboratoire. Au laboratoire, tous les œufs ont été dénombrés et identifiés à l'espèce, en se basant sur leur morphologie ou sur des analyses génétiques (pour les méthodes génétiques, voir l'annexe 3). Dans le cas de l'éperlan arc-en-ciel, il était prévu de génotyper les œufs récoltés pour établir leur population d'origine (rive sud ou rive nord, Bernatchez et al. 1993). Or, le nombre seuil d'œufs d'éperlan arc-en-ciel nécessaire pour mener ces analyses n'a pas été atteint.

Présence des individus matures

En 2012 et en 2013, la présence d'esturgeons jaunes matures à l'embouchure de la rivière Montmorency a été évaluée par les captures non standardisées de spécimens adultes en vue du marquage pour la télémétrie hydroacoustique (voir p. 95). L'utilisation de l'habitat et la présence des individus matures portant un émetteur ont aussi été évaluées grâce aux données de déplacements obtenues par la télémétrie acoustique (voir p. 95). La présence des esturgeons jaunes matures marqués ne pouvait toutefois pas être évaluée directement sur la frayère. De fait, la faible profondeur de l'eau à marée basse (< 1 m) et les forts courants de ce secteur ne permettent pas d'installer les récepteurs hydroacoustiques nécessaires pour ce type de suivi. La présence de bars rayés (2012 et 2013) et de barets (2013) matures en période de reproduction, ainsi que leur utilisation de l'habitat, a aussi été évaluée dans le secteur du pont de l'île d'Orléans par les données de télémétrie hydroacoustique. Les méthodes employées pour la capture, le marquage et le suivi télémétrique de ces deux espèces sont détaillées dans la section sur les déplacements et l'utilisation de l'habitat (voir p. 95). Pour l'alose savoureuse et le bar rayé, une attention particulière a été portée aux individus matures lors des inventaires ichtyologiques menés pendant les périodes de reproduction de ces espèces, soit du 1^{er} mai au 30 juin (voir p. 19).

Projets connexes

Pêches expérimentales au port de Québec et suivi de la fraie du bar rayé du Saint-Laurent

En mai et juin 2013, la firme de génie-conseil Environnement Illimité a mené des inventaires ichtyologiques dans le secteur du port de Québec. À cette occasion, des données sur la présence de bars rayés adultes ont été recueillies. Ces données suggéraient que des bars rayés matures pouvaient se rassembler au printemps dans ce secteur. En 2014, le MFFP a mené une série d'inventaires visant à localiser des frayères de bars rayés dans le fleuve Saint-Laurent, en particulier dans la région de Québec. Les embouchures des rivières Etchemin, Petite du Chêne, du Chêne, Ouelle et Rivière-du-Loup, de même que les secteurs de la baie de Beauport, du port de Québec et de Lévis, ont été échantillonnés avec des filets maillants pour déterminer s'il s'agissait de lieux de rassemblement pour les bars rayés matures en période de reproduction (Figure 40). Ces données ont été utilisées afin d'obtenir un profil plus précis de la reproduction de l'espèce pour la grande région de Québec, notamment près du secteur du pont de l'île d'Orléans.

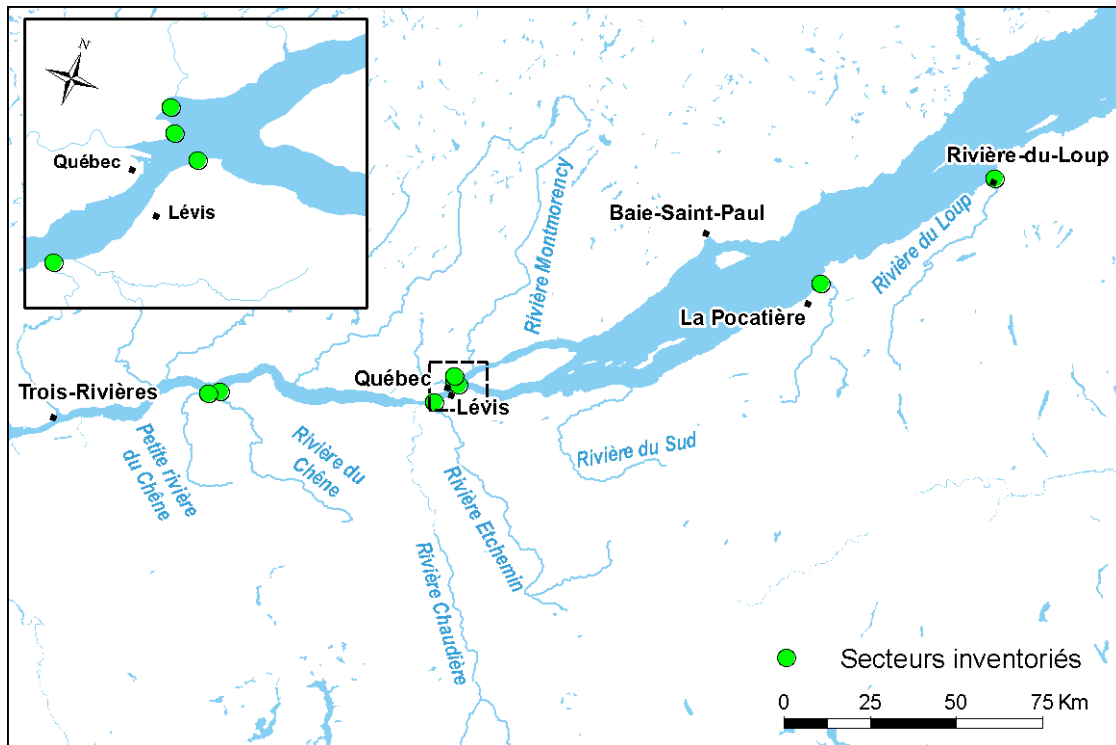


Figure 40 : Secteurs inventoriés pour localiser les frayères de bars rayés en 2014.

Traitements des données

Efficacité des méthodes employées

L'efficacité globale des quatre types de capteurs d'œufs a été évaluée en 2012. Afin d'estimer l'efficacité des engins, le nombre d'espèces et le nombre d'œufs récoltés ont été comptabilisés pour chaque type d'engin. Pour l'éperlan arc-en-ciel, le nombre d'œufs collectés par les lignes de plaques de métal installées au ruisseau de l'Église a été comptabilisé et comparé au nombre d'œufs collectés dans le secteur du pont de l'île d'Orléans.

Diversité des espèces présentes

Les espèces pour lesquelles des œufs ont été récoltés dans le secteur du pont de l'île d'Orléans ont été identifiées et le nombre d'œufs par espèce, comptabilisé. Comme les méthodes étaient optimisées pour récolter les œufs d'esturgeon jaune, d'éperlan arc-en-ciel ou de baret, la récolte d'œufs d'autres espèces était accidentelle. Par conséquent, le nombre d'espèces répertoriées sous-estime probablement la diversité des espèces utilisant le secteur du pont de l'île d'Orléans pour la fraie.

Délimitation et description des zones de fraie

Zones de fraie multispécifiques

En plus de l'esturgeon jaune, de l'éperlan arc-en-ciel et du baret, les œufs de plusieurs autres espèces ont été récoltés dans le secteur du pont de l'île d'Orléans. Le déploiement spatio-temporel des capteurs

d'œufs et le type d'engins utilisés ne visaient pas à documenter avec précision la reproduction de ces espèces. Il n'est donc pas avisé de tenter de définir des frayères ou des zones de nidification précise pour chacune de ces espèces répertoriées, à l'exception des raseux-de-terre pour lesquels les données étaient suffisantes. Les données de récolte des œufs ont néanmoins permis de délimiter deux zones de frai multispécifique, l'une dans la rivière Montmorency et l'autre dans le chenal de l'île d'Orléans. Ces zones ont été définies en utilisant toutes les stations avec au moins une occurrence d'œufs, peu importe le nombre et l'espèce.

Exceptionnellement, pour les raseux-de-terre noirs et gris, les données ont permis de délimiter une zone de nidification. Ces espèces ont la particularité de déposer leurs œufs dans des nids que les mâles protègent (Scott et Crossman 1974). Lors du déploiement des capteurs d'œufs, certains raseux-de-terre ont utilisé le dessous des capteurs pour installer leur nid, principalement des plaques de métal. De plus, la période de déploiement des capteurs d'œufs coïncidait avec la période de reproduction des raseux-de-terre. La zone de nidification des raseux-de-terre a été délimitée en utilisant toutes les stations avec nid.

Frayère d'éperlans arc-en-ciel

Compte tenu du faible nombre d'œufs d'éperlan récoltés dans le secteur du pont de l'île d'Orléans, il n'est pas possible de trouver et de délimiter une frayère pour cette espèce.

Frayère d'esturgeons jaunes

Pour délimiter la frayère d'esturgeons jaunes, l'occurrence des œufs pour les deux années groupées a été utilisée. La frayère a été délimitée en conservant les stations pour lesquelles des œufs avaient été récoltés à au moins deux reprises. Comme l'esturgeon jaune relâche ses œufs dans la zone démersale, généralement dans un courant rapide, les œufs peuvent dériver sur plusieurs mètres en aval du lieu de frai. LaHaye et al. (2003) estiment que la dérive des œufs peut atteindre environ 20 m vers l'aval. De ce fait, une zone tampon de 20 m en amont et en aval des stations où ont été collectés des œufs a été utilisée pour délimiter la frayère. Des zones d'utilisation intense ont aussi été déterminées en conservant seulement les stations où plus de 10 % des œufs (≥ 170 œufs) avaient été récoltés.

Frayère de barets

Pour délimiter la frayère de barets, les données de capture d'œufs des deux années d'échantillonnage ont été groupées. Dans un premier temps, la frayère a été délimitée en conservant les stations pour lesquelles des œufs avaient été récoltés à au moins deux reprises. Dans un deuxième temps, seules les stations où plus de 1 % des œufs (≥ 55 œufs) avaient été récoltés ont été utilisées pour tracer les limites du site de frai. Enfin, les préférences de profondeurs rapportées dans la littérature pour le baret (revues par Setzler-Hamilton 1991) ainsi que celles observées dans le secteur du pont de l'île d'Orléans (isobathes de 1 et 9 m) ont été utilisées pour préciser le contour de la frayère. Des zones d'utilisation intense ont par la suite été désignées en conservant seulement les stations où plus de 10 % des œufs (≥ 550 œufs) avaient été récoltés.

Séquence temporelle de la fraie

La chronologie de la reproduction a été documentée pour l'esturgeon jaune et le baret, alors que les données sont insuffisantes pour l'éperlan arc-en-ciel. Néanmoins, les données collectées pour l'éperlan arc-en-ciel dans le secteur du pont de l'île d'Orléans et dans le secteur témoin ont été mises en parallèle.

Pour chaque espèce, les dates d'occurrence de la première et de la dernière déposition d'œuf ont été notées. Le sommet des activités de frai a été déterminé en calculant le nombre d'œufs déposés à chaque levée et en notant les journées aux densités de dépôts d'œufs les plus élevées.

Présence des individus matures

Esturgeon jaune

Pour l'esturgeon jaune, le nombre d'individus capturés lors des activités de capture en vue du marquage avec des émetteurs acoustiques a été évalué par heure de filet, et ce, pour chaque journée d'échantillonnage. Une table de la présence quotidienne des individus marqués en 2012 et en 2013 dans le secteur du pont de l'île d'Orléans a été produite à l'aide des données de détection par télémétrie pour la période du 1^{er} mai au 30 juin. Cette période permet de couvrir le moment du marquage jusqu'à quelques semaines après la fin de la fraie. Enfin, les données du système de positionnement géographique obtenues en 2013 pour le secteur du pont de l'île d'Orléans ont été utilisées afin de déterminer les endroits fréquentés par les esturgeons jaunes. Deux groupes ont été évalués, soit un groupe de reproducteurs composé des individus marqués en 2013 et un groupe de non-reproducteurs composé des individus marqués en 2012 et donc considérés comme sexuellement inactifs pour 2013 compte tenu de la cyclicité de reproduction de l'espèce (Auer, 1999). Seules les positions géographiques présentant une précision de 100 m et moins ont été conservées (21 304 positions sur 22 845). Deux périodes ont été évaluées, soit la période du marquage en juin et la période de juillet à novembre.

Baret

Pour 2013, les positions géographiques des individus présents dans le secteur du pont de l'île d'Orléans, obtenues à l'aide du système de positionnement, ont été utilisées afin de définir les endroits fréquentés par les baret reproducteurs. Seules les positions avec une précision de 100 m et moins ont été conservées (15 329 positions sur 18 466). Deux périodes ont été évaluées, soit la période de fraie (du marquage à juillet) et la période postfraie (d'août à novembre).

Bar rayé

Le nombre d'individus matures capturés lors des inventaires ichtyologiques ayant eu lieu du 1^{er} mai au 15 juillet a été évalué. Cette période permet de couvrir l'ensemble de la période de fraie du bar rayé (Legault, en prép.). Les données de télémétrie pour la période du 1^{er} mai au 15 juillet ont aussi été utilisées pour produire une table de la présence quotidienne des individus marqués dans le secteur du pont de l'île d'Orléans. Pour 2013, les positions géographiques des individus présents dans le secteur du pont de l'île d'Orléans, obtenues à l'aide du système de positionnement, ont été utilisées afin de déterminer les endroits fréquentés par les bars rayés en période de fraie. Seules les positions avec une précision de 100 m et moins ont été conservées (221 positions sur 247). Deux périodes ont été évaluées, soit la période de frai (1^{er} mai au 15 juillet) et la période post-fraie (16 juillet à novembre).

Alose savoureuse

Le nombre d'individus matures capturés lors des inventaires ichthyologiques ayant eu lieu du 1^{er} mai au 30 juin a été évalué. Comme pour le bar rayé, cette période permet de couvrir l'ensemble de la période de frai, de l'arrivée des adultes à la fin de la fraie (Bilodeau et Massé, 2005).

Résultats et discussion

Efficacité des méthodes employées

Les plaques de métal installées au ruisseau de l'Église en 2012 et en 2013 ont permis de récolter efficacement les œufs d'éperlan arc-en-ciel, ce qui signifie que la technique utilisée était adéquate pour échantillonner les œufs de cette espèce. En 2012, 9 œufs ont été récoltés au ruisseau de l'Église, alors qu'en 2013 2 969 œufs y ont été récoltés. Le nombre d'œufs récoltés entre les deux années est très différent et s'explique probablement par le moment du déploiement des capteurs d'œufs. En 2012, les plaques de métal ont été installées le 16 avril, alors que la température seuil de l'eau pour le déclenchement de la fraie de l'éperlan arc-en-ciel (6 °C) avait été atteinte depuis deux jours. Il n'est pas à exclure que le sommet de la fraie était déjà été terminé lors du déploiement des capteurs d'œufs. En 2013, les capteurs d'œufs ont été installés le 23 avril, quatre jours avant l'atteinte de la température du déclenchement de la fraie et le maximum de fraie a été observé de deux à cinq jours après l'atteinte de la température seuil du déclenchement de la fraie. Le déploiement des capteurs d'œufs semble donc avoir été plus optimal en 2013 qu'en 2012.

Quant aux différents engins utilisés au cours de la saison 2012, ils ont affiché des degrés d'efficacité variables, les filtres pour chaudière et les plaques de métal s'avérant les plus efficaces pour échantillonner les œufs des espèces ciblées par cette étude (

Tableau 11). Les filtres pour chaudière se sont avérés efficaces pour les œufs d'esturgeon jaune, mais aussi pour ceux de six autres espèces. Les chapelets de plaques de métal se sont avérés efficaces pour l'éperlan arc-en-ciel, le baret ainsi que pour sept autres espèces. Aucun œuf n'a été récolté sur les blocs creux et le filet troubleau s'est avéré peu approprié pour les conditions de terrain rencontrées. Par conséquent, seuls les plaques de métal et les filtres pour chaudière ont été utilisés durant la saison 2013. La fréquence de levée des capteurs d'œufs a été suffisante pour permettre de documenter la chronologie des activités de reproduction pour l'esturgeon jaune et le baret.

Tableau 11 : Nombre total d'espèces répertoriées, nombre d'espèces trouvées exclusivement pour chaque type de capteur d'œufs et nombre d'œufs total récoltés avec les quatre types de capteurs en 2012.

Type de capteur d'œufs	N ^{bre} d'espèces répertoriées	N ^{bre} d'espèces exclusives	N ^{bre} d'œufs
Filtre pour chaudière	7	4	1 291
Plaque de métal	9	7	10 820
Bloc de ciment	0	0	0
Filet troubleau	ND*	0	6

* Espèce(s) non déterminée(s), il s'agissait d'œufs de catostomidés.

Diversité des espèces présentes

Pour les 2 saisons d'échantillonnage, un peu plus de 7 350 capteurs d'œufs ont été levés et examinés. Les différents types de capteurs d'œufs ont permis de récolter près de 22 000 œufs appartenant à 14 espèces différentes ayant des stratégies de reproduction variées (Tableau 12). De ces 14 espèces, 2 sont en situation précaire selon la Loi sur les espèces menacées et vulnérables du Québec, ou selon la Loi sur les espèces en péril au Canada : l'esturgeon jaune et probablement l'éperlan arc-en-ciel de la population de la rive sud du Saint-Laurent. Pour l'éperlan arc-en-ciel, il a en effet été impossible de déterminer à quelle population appartenaient les œufs récoltés dans le secteur du pont de l'île d'Orléans. De plus, lors d'échantillonnages à la seine de rivage en 2013, quelques œufs de fondule barré ont été récoltés lors des inventaires à la seine de rivage, ce qui porte à 15 le nombre total d'espèces pour lesquelles des activités de reproduction ont été observées dans le secteur du pont de l'île d'Orléans.

La rivière Montmorency, du bassin à l'embouchure, présente une diversité d'espèces beaucoup plus élevée que le chenal de l'île d'Orléans. En effet, les œufs de 11 espèces sur 15 y ont été récoltés contre 4 espèces sur 15 dans le chenal de l'île d'Orléans. Cela s'explique possiblement par l'hétérogénéité des habitats disponibles et échantillonnés dans la rivière Montmorency, comparativement au chenal de l'île d'Orléans. Il faut toutefois noter que, dans le chenal de l'île d'Orléans, l'ensemble des habitats de frai potentiels n'ont pas tous été échantillonnés, notamment les habitats lenticques, tels les herbiers, où un grand nombre d'espèces comme la carpe, les épinoches, le grand brochet et plusieurs cyprinidés pourraient se reproduire (Scott et Crossman 1974, Bouchard 1976). Les espèces ciblées par les inventaires avec les capteurs d'œufs ne fréquentent pas ces types d'habitats pour leur reproduction, ce qui explique l'absence de couverture dans ces secteurs. Les travaux de Bouchard (1976) faisaient toutefois état de frayères potentielles pour la carpe, le grand brochet et la perchaude dans les herbiers situés sur la rive sud du chenal de l'île d'Orléans, dans le secteur du pont de l'île d'Orléans. Compte tenu de la présence de la carpe et de la récolte anecdotique d'œufs de perchaude dans le chenal de l'île d'Orléans, il est fort probable que ces espèces s'y reproduisent. Par contre, le grand brochet étant absent de nos inventaires ichtyologiques, il semble que la présence de l'espèce sur ce territoire ait fortement décliné par rapport aux observations des années 1970 (Bouchard 1976, Paquet 1977). Le grand brochet était aussi absent du secteur du pont de l'île d'Orléans lors d'inventaires menés par le ministère de l'Environnement et de la Faune en 1991. Par conséquent, actuellement, la présence d'une frayère pour cette espèce semble peu probable dans ce secteur.

Description des zones de fraie répertoriées

Zones de fraie multispécifique

En 2012, des œufs ont été trouvés à 26 des 85 stations échantillonnées, alors qu'en 2013 les capteurs de 32 des 58 stations en contenaient (Figure 41 et Figure 42). La répartition spatiale des stations avec et sans œufs permet de définir une zone de fraie multispécifique dans la rivière Montmorency, du bassin à l'embouchure, et une autre dans le chenal de l'île d'Orléans (Figure 43).

Tableau 12 : Nombre d'œufs récoltés en 2012 et 2013 par espèce et par lieu de récolte dans le secteur du pont de l'île d'Orléans et de la rivière Montmorency

Nom français	Nom latin	N ^{bre} d'œufs 2012	N ^{bre} d'œufs 2013	Lieu de récolte
Achigan à petite bouche	<i>Micropterus dolomieu</i>	1	0	Rivière Montmorency
Baret	<i>Morone americana</i>	1 249	5 521	Chenal de l'île d'Orléans et Rivière Montmorency
Catostomidés	<i>Catostomidae</i> sp.	21	29	Rivière Montmorency
Chabot tacheté	<i>Cottus bairdi</i>	7	0	Rivière Montmorency
Doré jaune	<i>Sander vitreus</i>	2	0	Rivière Montmorency
Éperlan arc-en-ciel	<i>Osmerus mordax</i>	2	0	Rivière Montmorency
Esturgeon jaune	<i>Acipenser fulvescens</i>	663	1 005	Rivière Montmorency
Fondule barré	<i>Fundulus diaphanus</i>	0	11	Chenal de l'île d'Orléans
Gobie à tache noire	<i>Neogobius melanostomus</i>	2 013	2 303	Chenal de l'île d'Orléans
Meunier noir	<i>Catostomus commersonii</i>	5	0	Rivière Montmorency
Meunier rouge	<i>Catostomus catostomus</i>	12	0	Rivière Montmorency
Naseux des rapides	<i>Rhinichthys cataractae</i>	4	0	Rivière Montmorency
Perchaude	<i>Perca flavescens</i>	1 050	0	Chenal de l'île d'Orléans
Raseux-de-terre gris	<i>Etheostoma olmstedi</i>	15	8	Rivière Montmorency
Raseux-de-terre noir	<i>Etheostoma nigrum</i>	16	0	Rivière Montmorency
Raseux-de-terre sp.	<i>Etheostoma</i> spp.	7 051	737	Rivière Montmorency
Inconnu		128	70	Chenal de l'île d'Orléans et Rivière Montmorency

Au moins 11 espèces se reproduisent dans la frayère multispécifique de la rivière Montmorency. Cette zone de superficie plutôt restreinte est riche sur le plan de l'hétérogénéité de l'environnement (Tableau 12). En se basant sur les caractéristiques physiques observées dans la rivière Montmorency, on peut diviser cette frayère mutlispécifique en trois zones distinctes : la partie amont (le bassin), les rapides et la partie aval (l'embouchure; Figure 44).

La partie amont est constituée du pied de la chute Montmorency, d'un bassin plus profond tout juste au pied de la chute, de quelques hauts-fonds, de seuils et de chenaux. Les substrats y sont exempts d'algues et de végétation, variés, mais majoritairement constitués de roc, de blocs, de galets, de cailloux, de gravier et de sable. Les espèces pour lesquelles des œufs ont été récoltés dans cette partie de la rivière sont l'achigan à petite bouche, le baret, le doré jaune, l'esturgeon jaune, les meuniers noirs et rouges et le naseux-des-rapides.

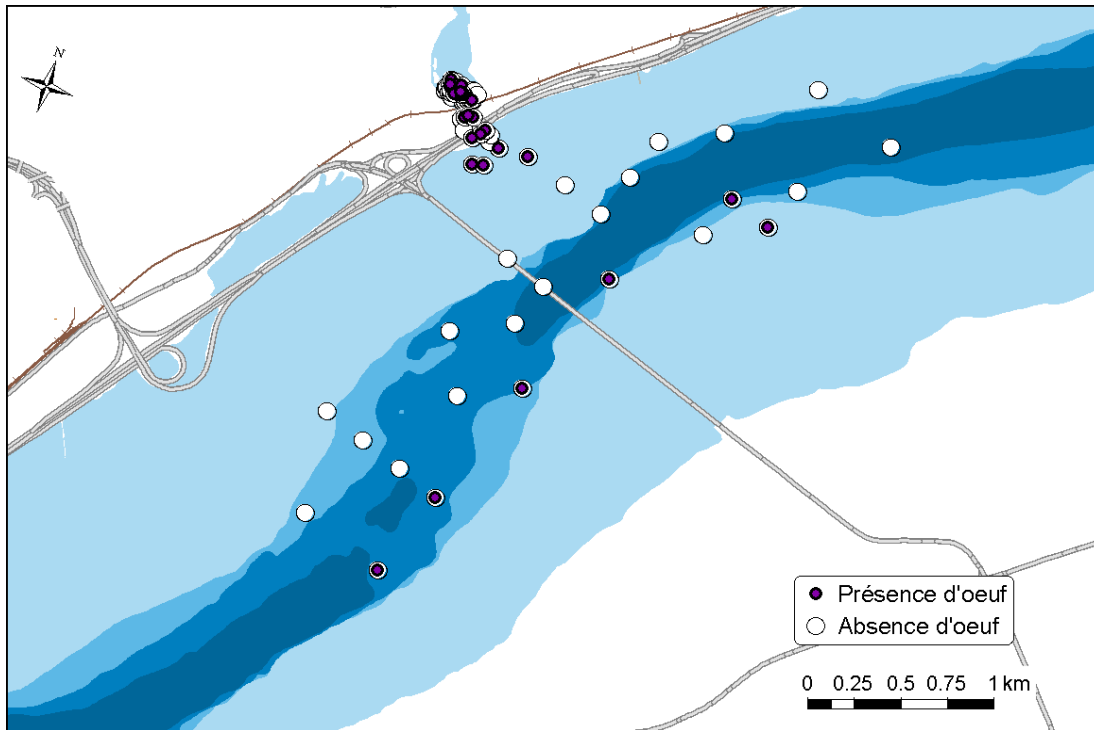


Figure 41 : Localisation des stations échantillonnées par des capteurs d'œufs en 2012 et stations pour lesquelles des œufs ont été récoltés.

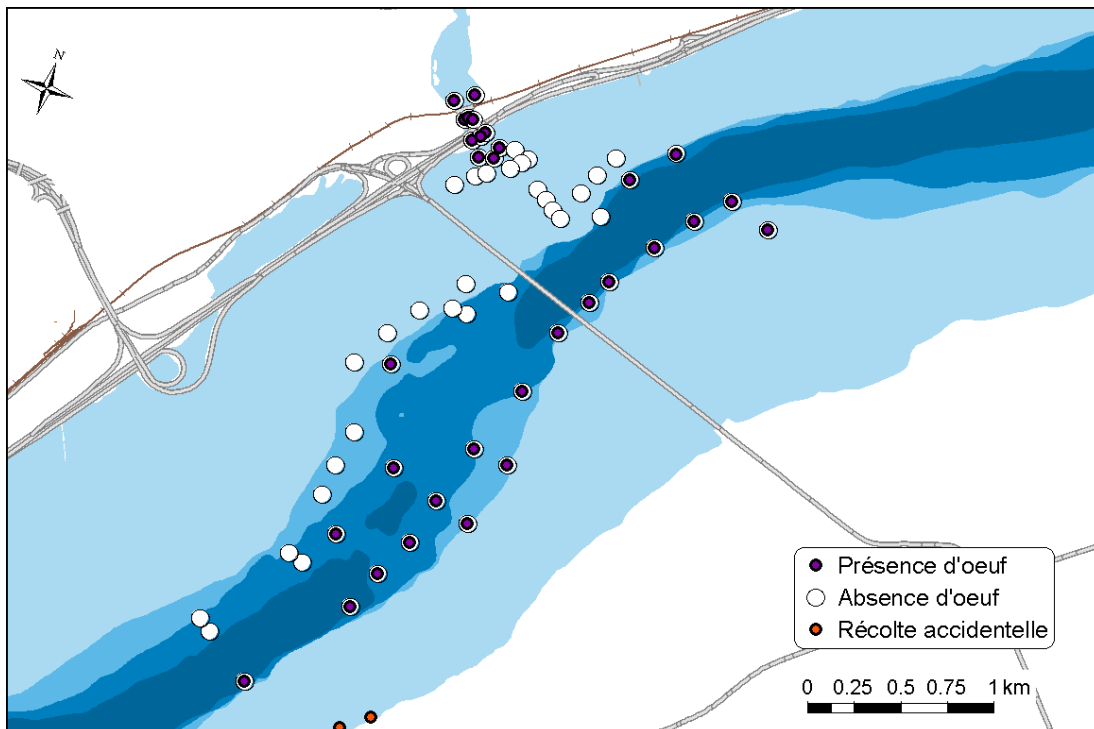


Figure 42 : Localisation des stations échantillonnées par des capteurs d'œufs en 2013 et stations pour lesquelles des œufs ont été récoltés.

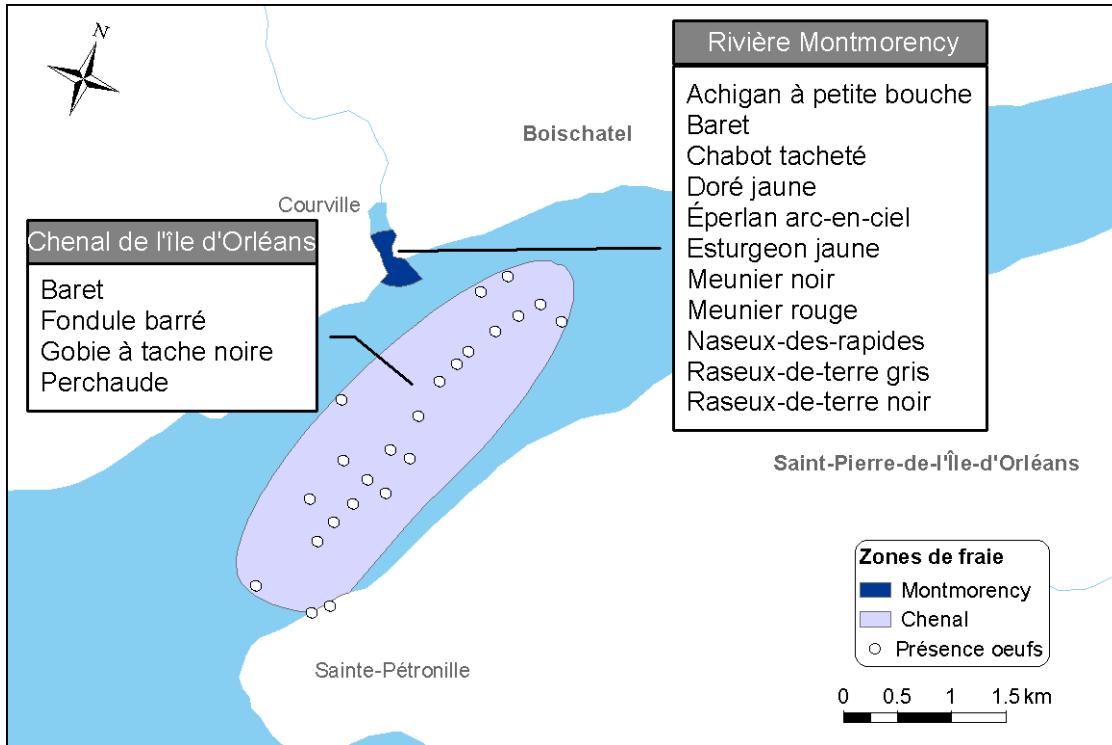


Figure 43 : Localisation et liste des espèces trouvées dans les deux zones de fraie répertoriées dans le chenal de l'île d'Orléans et de la rivière Montmorency.

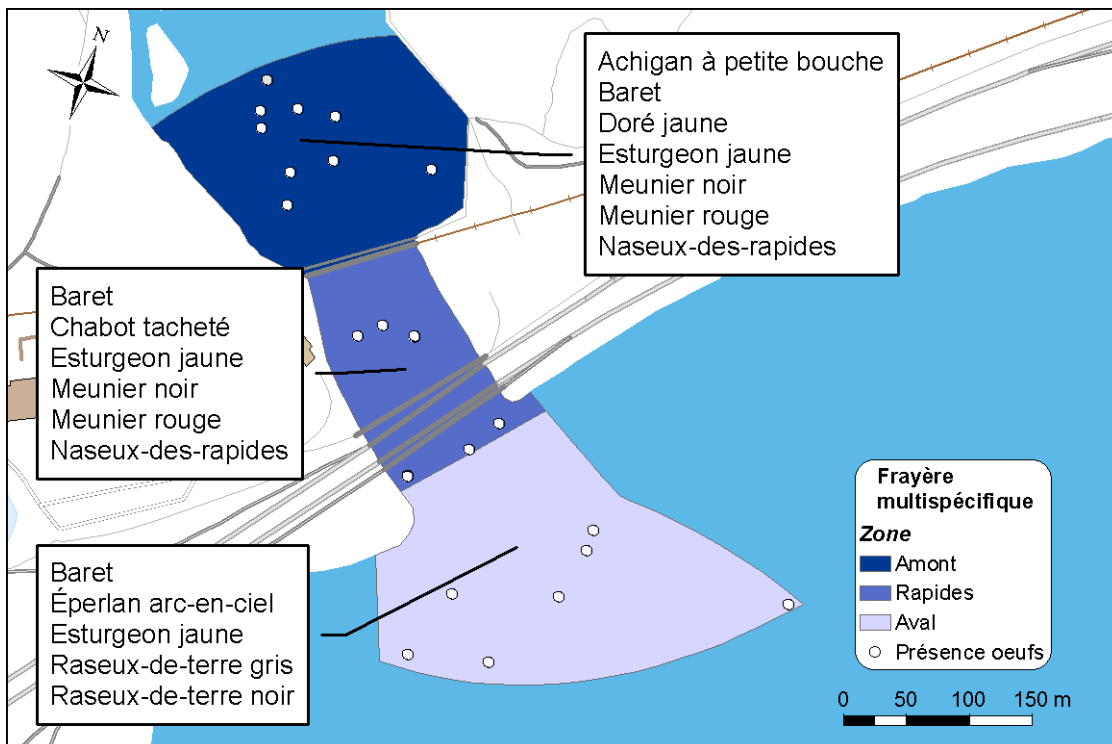


Figure 44 : Désignation des sous-zones de fraie dans le secteur de la rivière Montmorency, des espèces répertoriées pour y fraier et des stations pour lesquelles des œufs ont été récoltés.

La partie des rapides est formée de seuils interrompus par quelques brèches. Le substrat y est grossier et principalement constitué de roc, de blocs, de galets et de cailloux. Plusieurs espèces pour lesquelles des œufs ont été récoltés dans cette partie de la rivière sont typiques de ce type d'habitat : chabot tacheté, esturgeon jaune, meuniers noirs et rouges, naseux-des-rapides. Quelques œufs de baret ont également été récoltés à une station située dans les rapides.

Enfin, la partie située en aval du pont de l'autoroute Dufferin-Montmorency, où se situe l'embouchure de la rivière, se trouve en zone de marnage et se caractérise par un étalement de l'eau de la rivière. À marée basse, plusieurs zones sont complètement exondées et l'eau se concentre dans quelques chenaux. Une fois de plus, les substrats y sont variés passant du roc à des sédiments fins comme le sable. Les œufs de plusieurs espèces y ont aussi été récoltés, notamment de baret, d'éperlan arc-en-ciel, d'esturgeon jaune et de raseux-de-terre gris et noirs.

Dans le chenal de l'île d'Orléans, en plus des œufs de baret, des œufs de gobie à tache noire, de perchaude et de fondule barré ont aussi été récoltés. Ces trois dernières espèces fraient typiquement en eau peu profonde, préférentiellement en herbier pour la perchaude et le fondule barré (Scott et Crossman 1974), alors que le gobie à tache noire recherche des cavités à même le substrat (Charlebois et al. 1997). Ainsi, les œufs de ces espèces trouvés sur les capteurs déployés dans le chenal semblent peu représentatifs de leur habitat de reproduction typique. Des inventaires effectués dans les herbiers auraient probablement permis de documenter un plus grand nombre d'occurrences de frai pour ces espèces, en plus de recenser un plus grand nombre d'espèces se reproduisant dans le chenal de l'île d'Orléans (Bouchard 1976).

Frayère d'éperlans arc-en-ciel

Une seule activité de reproduction pour l'éperlan arc-en-ciel a été observée près de l'embouchure de la rivière Montmorency en 2012, alors que deux œufs ont été récoltés à une seule station (Figure 45). En 2013, malgré un effort d'échantillonnage intensif et une augmentation de la couverture du territoire près de la station où les œufs d'éperlan arc-en-ciel ont été récoltés en 2012, aucun œuf de cette espèce n'a été récolté. Cela suggère que le site de frai répertorié en 2012 est utilisé marginalement et sporadiquement. L'abondance élevée de jeunes larves d'éperlan dans la région de Québec, notamment autour de l'île d'Orléans (Pigeon et al. 1998, inventaires MFFP, données non publiées), indique toutefois que des lieux de fraie majeurs pour l'éperlan arc-en-ciel se trouvent entre le pont de Québec et les alentours de la pointe ouest de l'île d'Orléans.

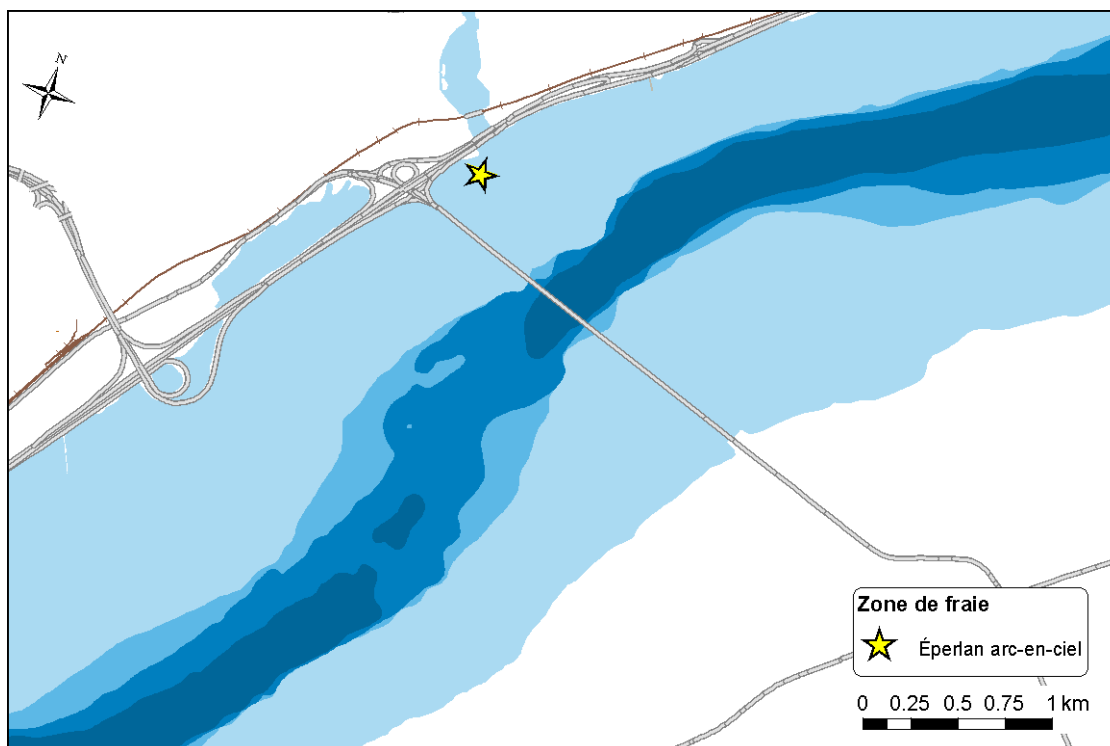


Figure 45 : Localisation de la station où des œufs d'éperlan arc-en-ciel ont été récoltés en 2012.

Frayère d'esturgeons jaunes

Les données recueillies en 2012 et 2013 confirment hors de tout doute la présence d'une frayère d'esturgeons jaunes dans les rapides de la rivière Montmorency (Figure 46). En effet, pour les deux années d'échantillonnage, des œufs d'esturgeon jaune ont été récoltés dans ce secteur à de fortes densités et à une fréquence élevée (Figure 47).

En tenant compte d'une zone tampon de 20 m en amont et en aval des stations où des œufs d'esturgeon jaune ont été récoltés, les limites de la frayère ont été établies à environ 80 m en amont, jusqu'à environ 100 m en aval des rapides (Figure 48). La superficie totale de la frayère est estimée à environ 5,5 ha, mais la majorité des œufs ont été récoltés dans une zone plus restreinte d'environ 1,2 ha. Cette zone a été définie comme une zone d'utilisation intense et elle se situe directement dans les rapides de la rivière Montmorency (Figure 48).



Crédit photo: Vincent Blouin Demers

Figure 46 : Rapides de la rivière Montmorency situés entre le bassin et la confluence de la rivière avec le fleuve Saint-Laurent.

Les caractéristiques physiques de la frayère de la rivière Montmorency correspondent aux préférences d'habitat rapportées pour l'espèce dans la littérature. Les frayères typiques d'esturgeons jaunes se situent généralement au pied d'obstacles infranchissables, dans des rapides avec une vitesse de courant d'environ 1 m/s (revu par Peterson et al. 2007). Les substrats des sites de frai sont généralement hétérogènes et composés de gravier, de cailloux, de galets et de blocs et sont exempts d'algues et de végétation (revu par Kerr et al. 2010). Toutes ces conditions sont remplies dans la rivière Montmorency.

Il peut être difficile de déterminer exactement les limites des frayères d'esturgeons jaunes, puisqu'elles sont dynamiques, étant influencées par les conditions hydriques (Fortin et al. 1992, LaHaye et al. 2004, Dumont et al. 2011). Néanmoins, la présence récurrente d'individus matures et la récolte de nombreux œufs sur deux années consécutives indiquent sans équivoque la présence d'une frayère dans la rivière Montmorency. Nous sommes confiants que les limites établies sont représentatives de l'habitat utilisé pour le frai par l'esturgeon jaune dans les rapides de la rivière Montmorency.

À ce jour, la frayère de la rivière Montmorency est la 13^e frayère d'esturgeons jaunes à être répertoriée et à être actuellement utilisée dans le système du fleuve Saint-Laurent et de ses tributaires (données non publiées du MFFP, Figure 49). Il s'agit de la frayère située le plus à l'est sur la rive nord du Saint-Laurent, alors que la frayère de la rivière du Sud à Montmagny est celle située le plus à l'est sur la rive sud. Bien que plus modeste que les frayères de la rivière des Prairies et de la rivière Chaudière, il pourrait s'agir d'une frayère d'importance compte tenu de sa superficie et de la densité élevée du dépôt des œufs. De plus, plusieurs études suggèrent que l'esturgeon jaune est hautement fidèle à sa rivière d'origine (Bemis et Kynard 1997, Auer 1999, DeHaan et al. 2006, Welsh et al. 2008). Considérant la biologie de l'espèce ainsi que son niveau de précarité, toute frayère d'esturgeons jaunes devrait être considérée comme un habitat essentiel à conserver.

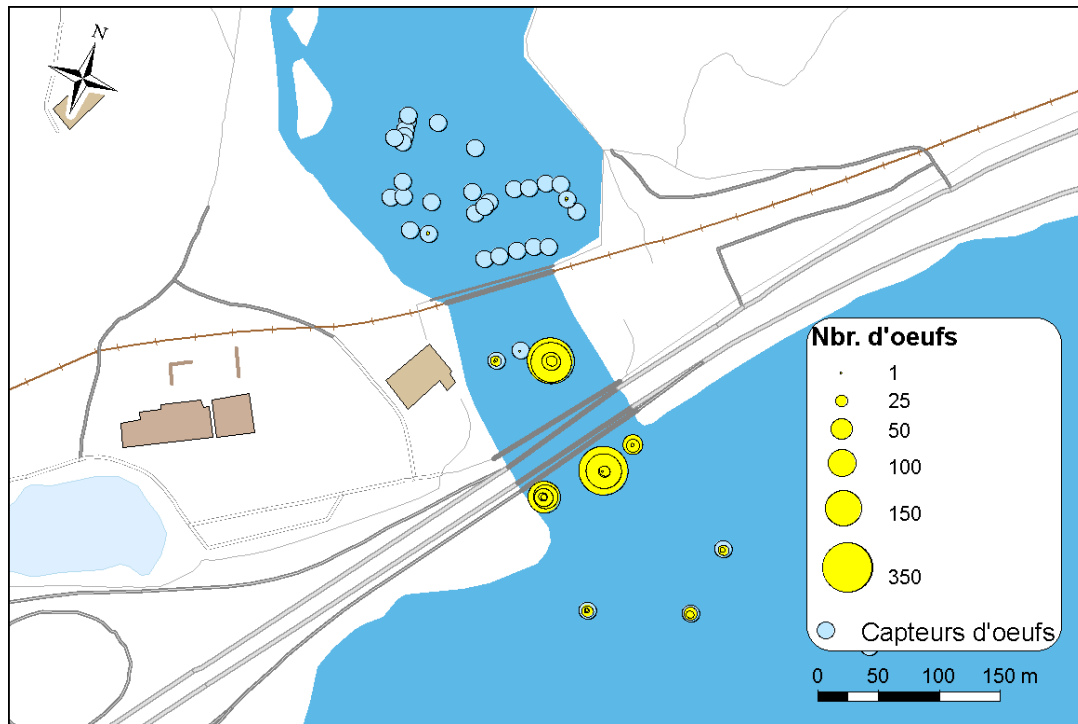


Figure 47 : Localisation des stations et nombre d'œufs d'esturgeon jaune récoltés en 2012 et en 2013. La taille des cercles jaunes est proportionnelle au nombre d'œufs récoltés lors de la levée des capteurs d'œufs.

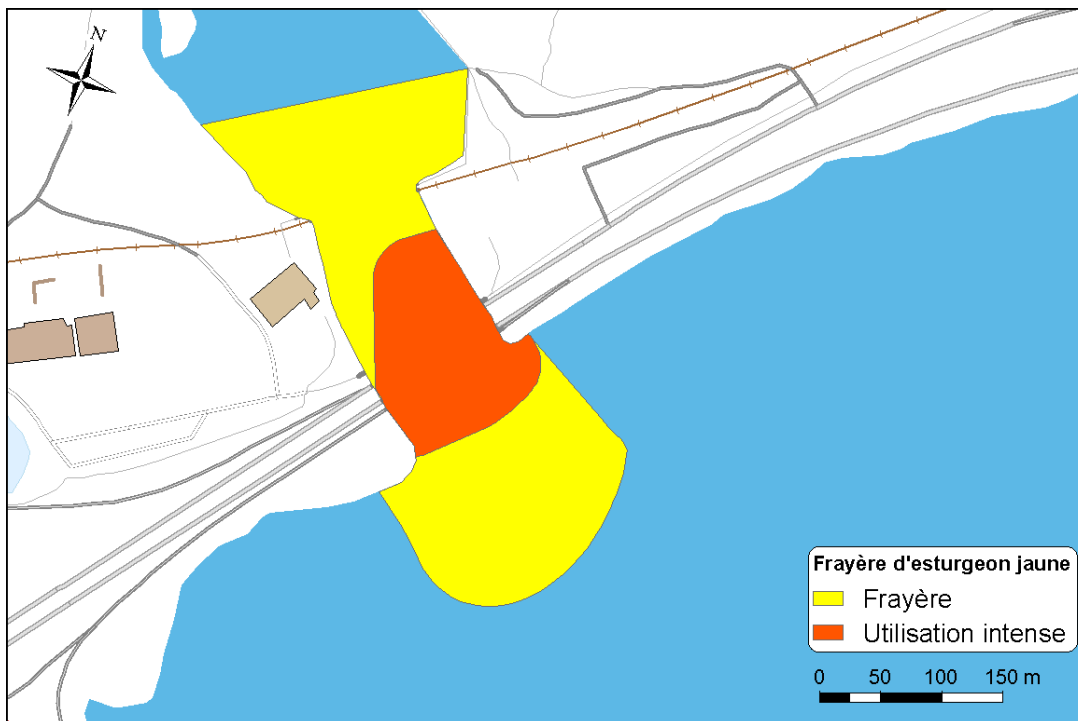


Figure 48 : Délimitation de la frayère d'esturgeons jaunes et de la zone d'utilisation intense dans la rivière Montmorency selon les données collectées en 2012 et 2013.

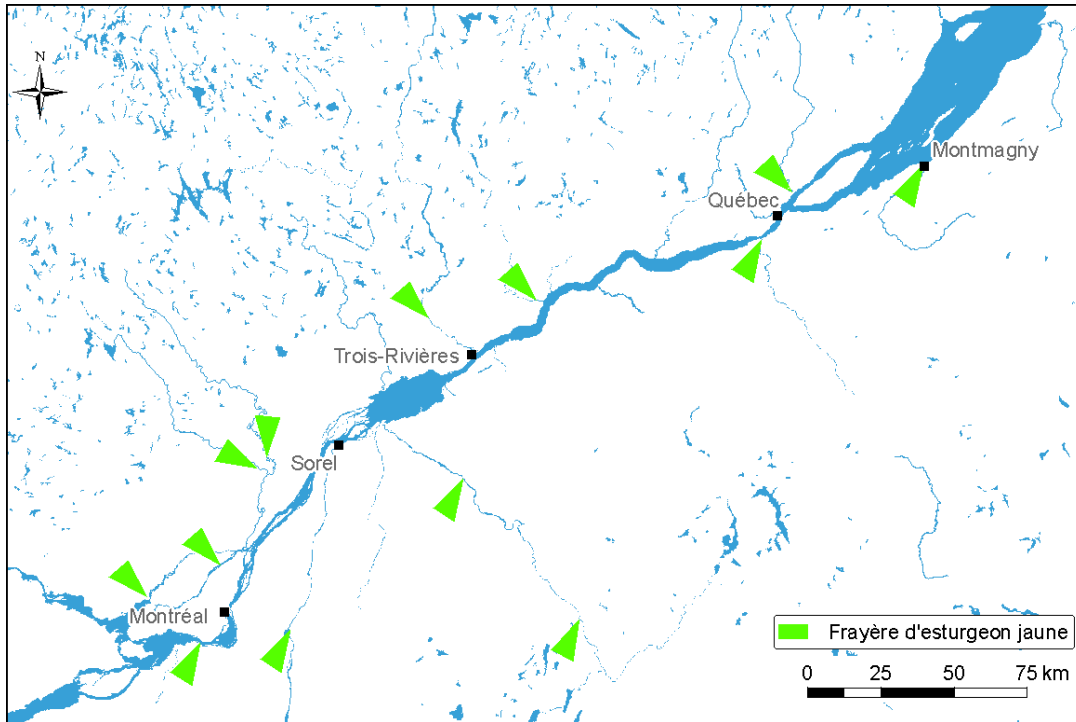


Figure 49 : Localisation des 13 principales frayères d'esturgeons jaunes répertoriées dans le fleuve Saint-Laurent et ses tributaires.

Frayère de barets

Avant les travaux d'échantillonnage de 2012, aucune connaissance n'était disponible sur la reproduction du baret dans le fleuve Saint-Laurent. Cela a donc été une surprise de trouver des œufs de baret en abondance dans le secteur du pont de l'île d'Orléans. Quelques études relatent la présence de juvéniles de cette espèce dans la région de Québec, particulièrement autour de l'île d'Orléans (Paquet 1975, Fournier et Deschamps 1997). Les données recueillies en 2012 et 2013 confirment maintenant la présence d'une frayère de barets d'importance dans le secteur du pont de l'île d'Orléans. Lors des deux années d'échantillonnage, de nombreux œufs y ont été récoltés à répétition sur une longue période de temps (Figure 50). La frayère se situe sur la rive sud du chenal de l'île d'Orléans, à environ 1 750 m en amont jusqu'à 280 m en aval du pont de l'île d'Orléans (Figure 51). La superficie totale de la frayère est de 54 ha, mais trois zones d'utilisation intense où la majorité des œufs ont été récoltés et totalisant 10 ha ont été répertoriées. Deux de ces zones d'utilisation intense se situent aux extrémités de la frayère et une se situe à environ 500 m en amont du pont de l'île d'Orléans.

Le chenal de l'île d'Orléans abriterait l'essentiel des habitats de reproduction du baret, exception faite de deux frayères probables : l'une sur la rive sud du chenal des Grands Voiliers, dans le secteur de Lévis, et l'autre à proximité de la rivière Jacques-Cartier, près de Donnacona (Figure 52; Bouchard 1976). Des travaux récents sur le terrain dans le secteur de Gentilly ont aussi mis en évidence des activités de reproduction du baret, mais aucune frayère n'y a encore été trouvée (communication personnelle, Philippe Brodeur, août 2014). La frayère de barets confirmée dans le secteur du pont de l'île d'Orléans est donc actuellement la seule frayère officiellement répertoriée sur l'ensemble du fleuve Saint-Laurent. Elle pourrait être d'une grande importance pour le recrutement du baret au Québec, notamment dans la région de Québec, et mérite une protection particulière.

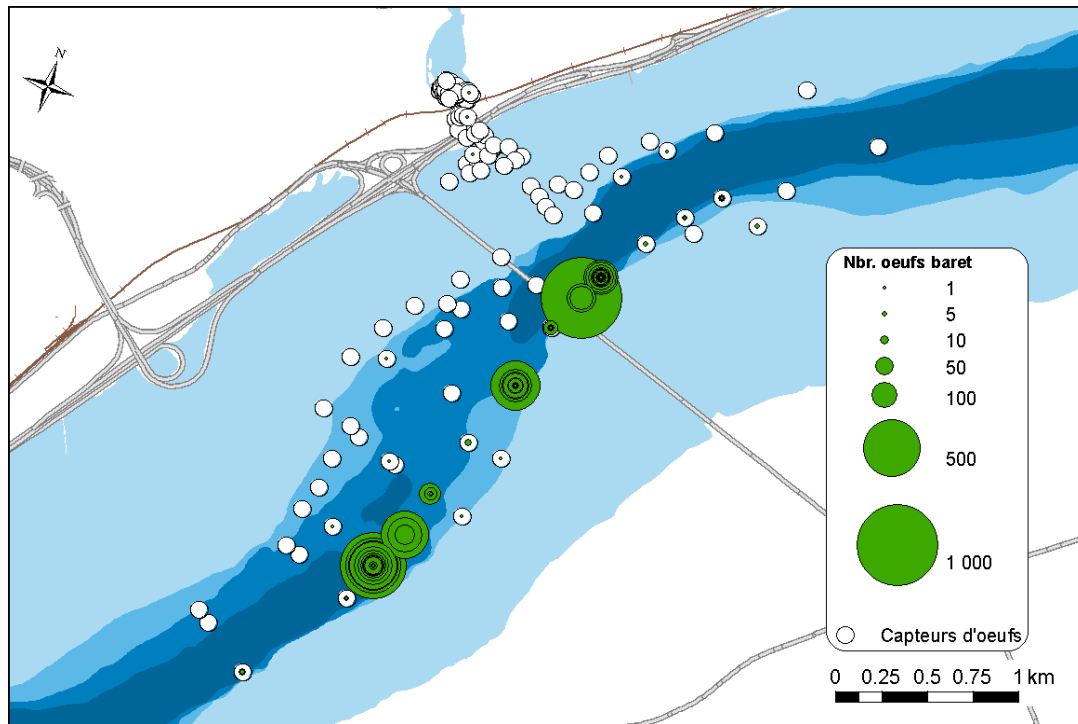


Figure 50 : Localisation des stations et nombre d'œufs de baret récoltés en 2012 et en 2013. La taille des cercles verts est proportionnelle au nombre d'œufs récoltés lors de la levée des capteurs d'œufs.

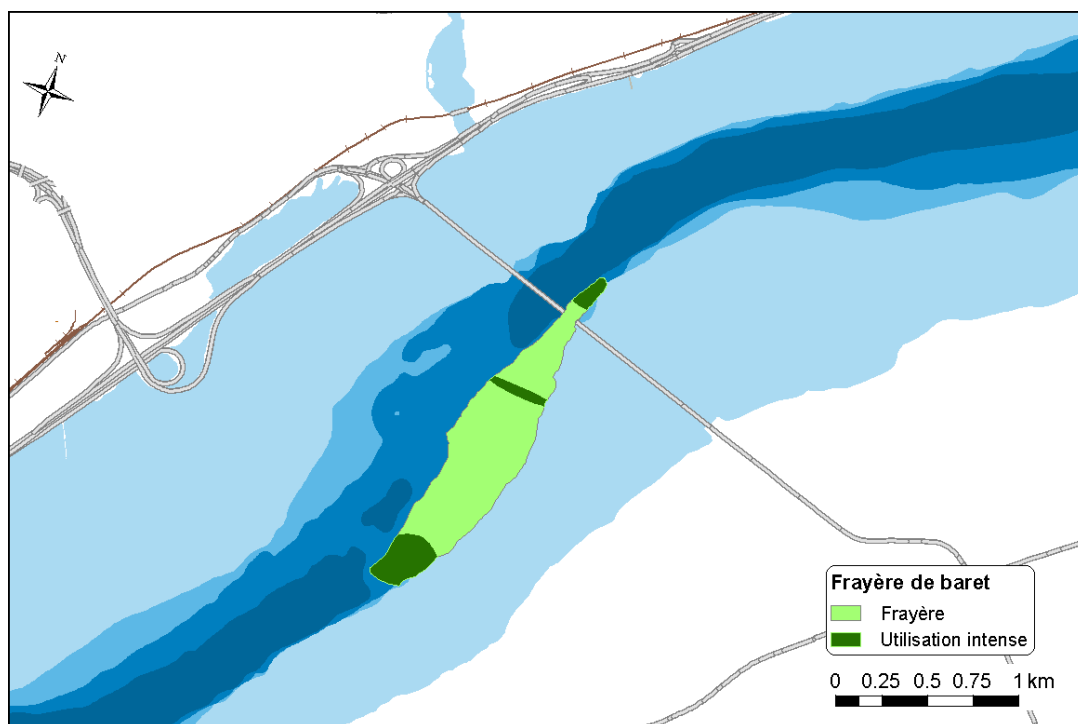


Figure 51 : Délimitation de la frayère de baret et des zones d'utilisation intense dans le secteur du pont de l'île d'Orléans.

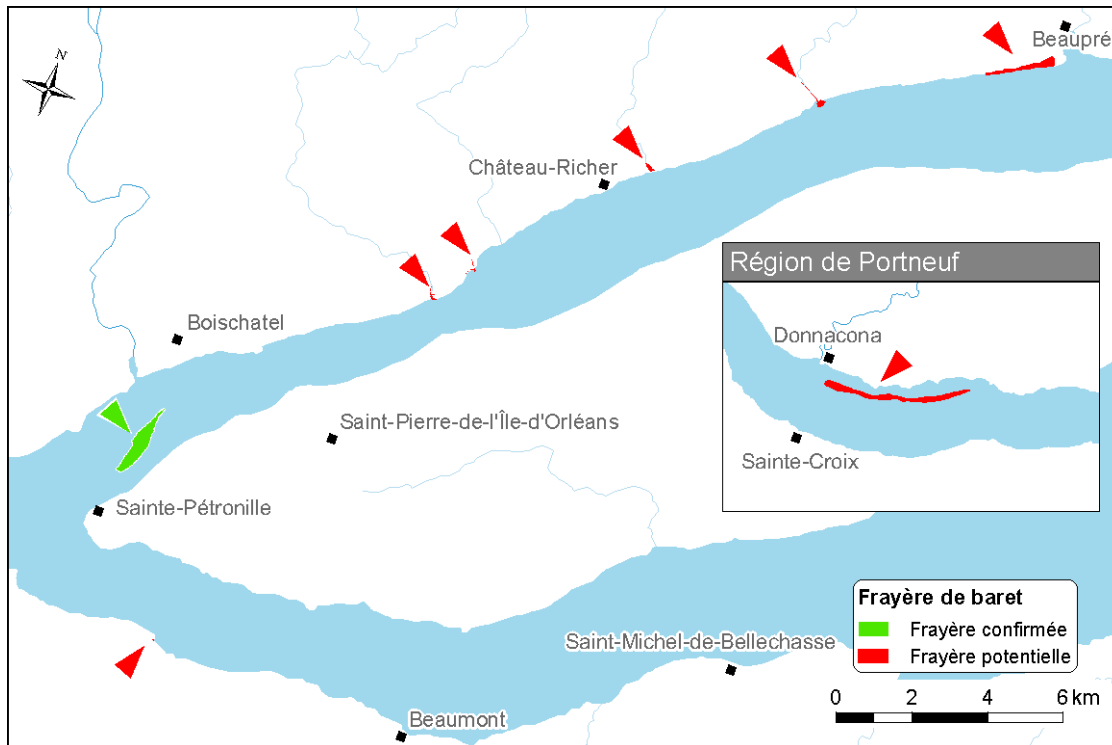


Figure 52 : Localisation de la frayère de baret répertoriée lors de la présente étude (flèche verte) et frayères potentielles (flèches rouges) répertoriées par Bouchard (1976).

Zone de fraie des raseux-de-terre noirs et gris

Aucun critère morphologique n'existe pour différencier les œufs des raseux-de-terre gris de ceux des raseux-de-terre noirs. Les deux espèces pouvant se trouver dans la région de Québec, un sous-échantillon des œufs trouvés à chaque station a été envoyé au laboratoire pour être identifié à l'aide du code-barre génétique (annexe 3). Néanmoins, les deux espèces peuvent s'hybrider, notamment dans la région de Québec, ce qui ne peut se déceler par la méthode du code-barre génétique (Hubert et al. 2008, April et al. 2013). Pour ces raisons, bien que certains œufs aient été identifiés comme appartenant au raseux-de-terre gris et certains au raseux-de-terre noir, nous avons traité les données au niveau du complexe d'espèce des raseux-de-terre gris et noirs.

Lors des deux années d'échantillonnage, un peu plus de 7 800 œufs de raseux-de-terre gris et noirs ont été récoltés dans la zone de nidification. En 2012, les œufs ont été récoltés à 5 stations de lignes de plaques de métal, sur un total de 46 plaques de métal (total de 46 nids). En 2013, aucune ligne de plaques de métal n'était déployée dans l'embouchure de la rivière Montmorency pendant la période de reproduction des raseux-de-terre gris et noirs. Des œufs, appartenant à un seul nid, ont tout de même été récoltés à une occasion sur une des lignes de filtres. À notre connaissance, aucune étude ne traite de la reproduction des raseux-de-terre gris ou noirs dans le fleuve Saint-Laurent. Ainsi, la zone de nidification observée à l'embouchure de la rivière Montmorency serait vraisemblablement la première à être décrite. Cette zone de nidification se situe à environ 100 m en aval du pont de l'autoroute Dufferin-Montmorency et couvre environ 3 ha (Figure 53). La zone de nidification est probablement plus étendue, mais le déploiement des capteurs d'œufs ne visait pas à définir les zones de reproduction de ces espèces.

Chez le raseux-de-terre noir, il a été démontré qu'un seul nid pouvait recevoir les œufs de 6 à 27 femelles différentes (Stiver et al. 2012). Considérant les 46 nids trouvés en 2012, la zone de nidification découverte à l'embouchure de la rivière Montmorency pourrait être importante en matière de reproducteurs. Néanmoins, devant l'absence de documentation adéquate sur la reproduction des raseux-de-terre gris et noirs dans le fleuve Saint-Laurent, il est difficile d'évaluer l'importance de la zone de nidification répertoriée à l'embouchure de la rivière Montmorency. Compte tenu de la distribution des deux espèces dans le fleuve et de leur comportement sédentaire (Mundalh et Ingersoll 1983, Ingersoll et al. 1984, McLain et Ross 2005), les raseux-de-terre gris et noirs se reproduisent probablement à d'autres endroits qui ne sont pas connus dans le fleuve Saint-Laurent. C'est notamment le cas pour l'embouchure de la rivière Chaudière où des œufs de raseux-de-terre ont été collectés en 2012 lors d'un inventaire similaire à celui mené dans le secteur du pont de l'île d'Orléans. À cette occasion, trois nids de raseux-de-terre y avaient été découverts.

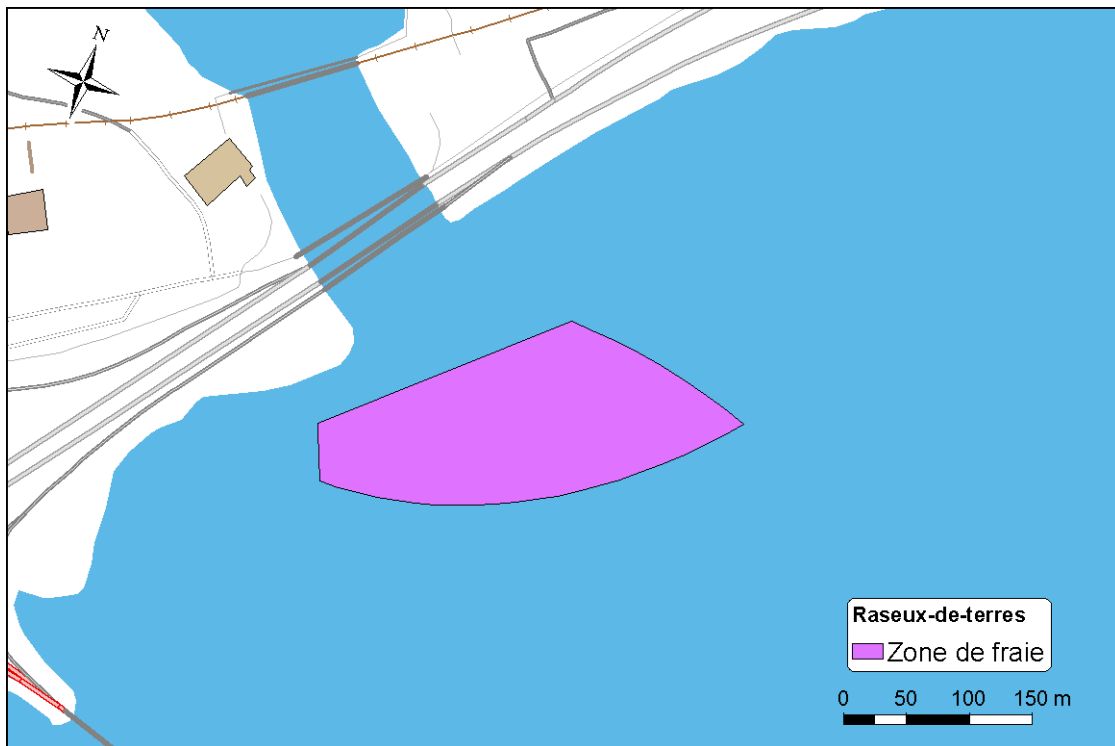


Figure 53 : Localisation de la zone de nidification répertoriée pour les raseux-de-terre gris et noirs à l'embouchure de la rivière Montmorency.

Séquence temporelle de la fraie

Esturgeon jaune

Chronologie de la fraie

Pour les deux années, l'étendue des périodes de frai a été similaire, débutant à la mi-mai pour se terminer au début de juin (Tableau 13). En 2012, le déclenchement et le sommet de la fraie sont survenus lorsque la température de l'eau de la rivière Montmorency se situait entre 8,3 °C et 15,0 °C. Entre le moment de l'installation des filtres pour chaudière et leur retrait quatre jours plus tard, la température de l'eau a fortement augmenté et il est impossible de déterminer précisément la température de déclenchement et du sommet de la fraie (Figure 54, haut). En 2013, la fraie a débuté lorsque la température de l'eau de la rivière Montmorency se situait entre 7,2 °C et 10,8 °C et le sommet est survenu à une température variant de 8,7 à 13,6 °C (Figure 54, bas). Ces valeurs se situent néanmoins dans la gamme de températures de déclenchement de la fraie rapportée par plusieurs études, soit de 9 à 13 °C et un sommet à une température supérieure à 12 °C (revu par Bruch et Binkowski 2002, et par OMNR 2009). Des valeurs de déclenchement de la fraie de 10 à 13 °C sont par ailleurs fréquemment rapportées pour le fleuve Saint-Laurent et ses tributaires (LaHaye et Fortin 1990, Lamontagne et Gilbert 1990, LaHaye et al. 1992, GDG Conseil Inc. 2001, Garceau et al. 2007, Thiem et al. 2013) et des valeurs de 11 à 16 °C lors du sommet de la fraie ont le plus souvent été observées (LaHaye et Fortin 1990, Verdon et Gendron 1991, Garceau et al. 2007, Dumont et al. 2011).

Tableau 13 : Caractéristiques des périodes de reproduction de l'esturgeon jaune observées en 2012 et 2013 dans la rivière Montmorency.

Année	Période de reproduction	Sommet de reproduction	Température moyenne (°C)	Température de déclenchement (°C)
2012	18 mai au 7 juin	18 mai au 30 mai	13,28	Entre 8,3 et 15,0
2013	16 mai au 10 juin	31 mai au 7 juin	10,60	Entre 7,2 et 10,8

Alors que les dates des périodes de frai ont été similaires d'une année à l'autre, le moment du sommet de la fraie s'est trouvé fortement décalé, ayant lieu 13 jours plus tard en 2013 qu'en 2012 (Tableau 13; Figure 54). Cela s'explique fort probablement par l'évolution des températures de l'eau très différente entre les deux années. En 2012, l'atteinte des températures de déclenchement de la fraie et des températures optimales de fraie a été rapprochée dans le temps. De plus, à partir du déclenchement jusqu'à la fin de la fraie, la température de l'eau s'est maintenue au-delà de 10 °C. Par contre, en 2013, l'atteinte des températures de déclenchement de la fraie a rapidement été suivie d'un refroidissement jusqu'à des températures avoisinant les 7 °C (Figure 54). Cette baisse de la température qui s'est poursuivie jusqu'à la fin du mois de mai semble avoir freiné la reproduction. Lorsque la température a de nouveau dépassé les 10 °C au début du mois de juin, la fraie a redémarré, comme en témoigne la forte déposition d'œufs enregistrée à ce moment. Le sommet de la fraie a alors rapidement été atteint, mais a été de courte durée comparativement à 2012. Ce phénomène d'interruption de fraie a déjà été noté dans la rivière Wolf dans le Wisconsin. Il a été observé dans cette rivière que la fraie des esturgeons jaunes était normalement continu dans le temps, mais qu'il pouvait être interrompu durant les années où survenait une baisse des températures de l'eau (Bruch et Binkowski, 2002). Dans ce système, lorsque les températures souhaitables étaient de nouveau atteintes, la fraie redémarrait.

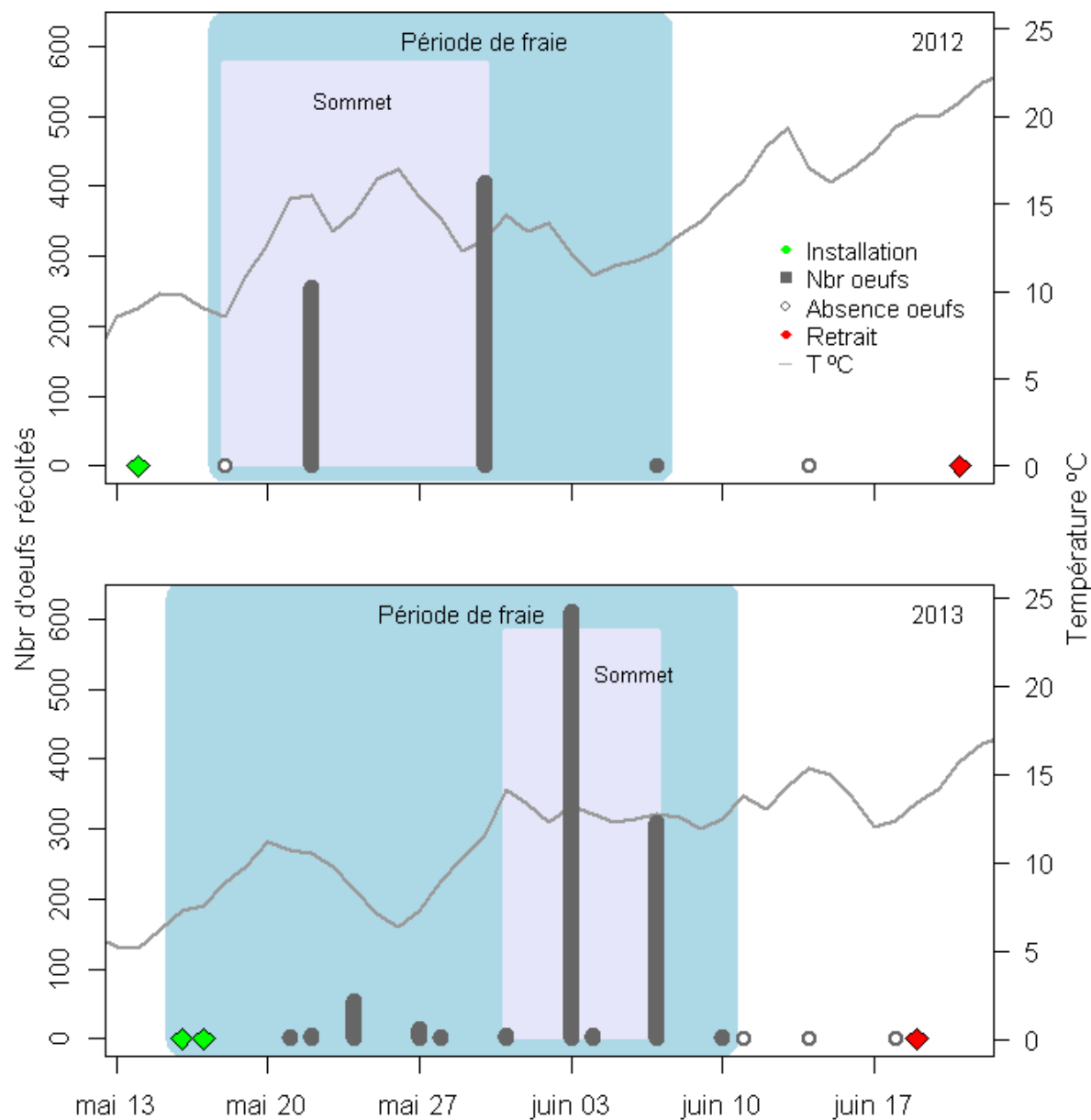


Figure 54 : Suivi de la reproduction pour l'esturgeon jaune et variations de la température (°C) à la rivière Montmorency pour 2012 (haut) et 2013 (bas).

Incubation des œufs et dérive larvaire

Chez l'esturgeon jaune, la durée du développement des œufs jusqu'à leur éclosion varie d'une saison à l'autre et est fortement liée aux températures de l'eau ainsi qu'au cumul des températures journalières (Wang et al. 1985, Kempinger 1988, Garceau et al. 2007). Par ailleurs, après l'éclosion, les alevins s'enfouissent dans le substrat pour achever leur développement, après quoi ils quittent leurs abris et dérivent dans le courant pour atteindre les aires d'alimentation (revu par Peterson et al. 2007 et Auer 2013). Les inventaires réalisés dans le secteur du pont de l'île d'Orléans durant les saisons 2012 et 2013 ne permettent pas d'estimer le temps d'incubation des œufs d'esturgeon jaune ni le temps requis pour que l'ensemble des larves quitte la frayère. Néanmoins, quelques travaux menés sur le développement des jeunes stades de vie de l'esturgeon jaune, notamment dans la rivière des Prairies, reflètent probablement assez bien la situation qui prévaut à la frayère de la rivière Montmorency. Les quelques études relatives à ce sujet notent des temps d'incubation de 4 à 18 jours, à des températures variant de 10 à 20 °C (Czeskleba et al. 1985, Wang et al. 1985, Kempinger 1988). À la suite de l'éclosion des larves, 10 à 20 jours sont requis pour que les juvéniles émergent du substrat (Garceau et al. 2007, revu par Peterson et al. 2007). Fort d'un suivi exhaustif de 10 ans sur la reproduction de l'esturgeon jaune dans la rivière des Prairies, Garceau et ses collaborateurs (2007) ont élaboré un modèle de développement des œufs et des larves, principalement basé sur la température de l'eau et le cumul des températures journalières. Ce modèle, validé par des données *in situ*, permet de prédire avec une précision de plus ou moins quatre jours le moment où 95 % des larves ont quitté la frayère. D'après leurs observations, environ 20 jours sont généralement nécessaires pour passer de la fertilisation de l'œuf à la dérive larvaire, selon les températures de l'eau (Garceau et al. 2007). Ce modèle simple, issu des données obtenues en milieu naturel, pourrait probablement être adapté à la frayère de la rivière Montmorency.

Présence des individus matures

En 2012 et en 2013, bien que les méthodes employées pour capturer les esturgeons jaunes matures en vue du marquage n'aient pas été standardisées, les données recueillies à cette occasion ont permis de mettre en évidence que l'arrivée des premiers individus matures à l'embouchure de la rivière Montmorency a lieu à la mi-mai, tout juste avant le début de la fraie (Figure 55 et Figure 56). Ces premiers individus sont rejoints environ sept jours plus tard par un grand nombre de reproducteurs, puis une diminution rapide de leur abondance à proximité de la rivière Montmorency est observée à la suite du sommet de la fraie (Figure 56).

L'analyse des données de télémétrie confirme aussi ces observations. En effet, la majorité des individus marqués sont présents pendant la période de fraie et pendant le sommet de la fraie, mais ils quittent le secteur du pont de l'île d'Orléans une fois la fraie terminée (Figure 57). Ce schéma est particulièrement évident en 2012 où les individus quittent graduellement le secteur du pont de l'île d'Orléans. Ce phénomène s'observe aussi en 2013 de façon plus discontinue. En effet, une cohorte d'individus avaient déjà quitté la frayère avant même le sommet de la fraie (Figure 57). Cela s'explique probablement par la baisse de la température de l'eau observée tout juste après le déclenchement de la fraie. Il est donc possible que ces individus aient déjà frayé avant la chute de température et aient quitté la frayère.



Crédit photo: MFFP

Figure 55 : Capture d'individus matures à l'embouchure de la rivière Montmorency en mai 2012.

Les données de télémétrie obtenues en 2013 révèlent aussi que, pendant la période de fraie, la très grande majorité des individus marqués sont principalement détectés à proximité de l'embouchure de la rivière Montmorency et dans le chenal principal menant aux rapides de la rivière Montmorency (voir p. 129). Après la période de frai, aucune détection n'a été faite à proximité de la frayère et la majorité des détections proviennent du secteur le plus en aval et du chenal de l'île d'Orléans. Ces résultats concordent avec la littérature où l'on rapporte que les esturgeons jaunes se rassemblent près des frayères en attendant l'atteinte des températures optimales pour frayer, puis une fois la fraie terminée, ils les quittent rapidement (revu par Bruch et Binkowski 2002, et par Peterson et al. 2007). Par ailleurs, les données de télémétrie indiquent que les quelques individus qui demeurent dans le secteur du pont de l'île d'Orléans après la fraie ne fréquentent plus les environs de la frayère et se dispersent de manière semblable aux individus non reproducteurs (voir p. 129). En effet, certains individus matures marqués en 2012 dans le secteur du pont de l'île d'Orléans, mais ne se reproduisant pas en 2013 (cyclicité d'au moins deux ans pour les mâles et de trois ans pour les femelles; Auer 1999), ont été observés dans le secteur du pont de l'île d'Orléans en 2013. Contrairement aux individus reproducteurs de 2013, les individus marqués en 2012 n'étaient pas détectés à proximité de la rivière Montmorency, et ce, même en période de fraie (voir p. 129). Ces résultats suggèrent que, lorsque les individus ne se reproduisent pas, ils ne fréquentent pas les environs immédiats de la rivière Montmorency.

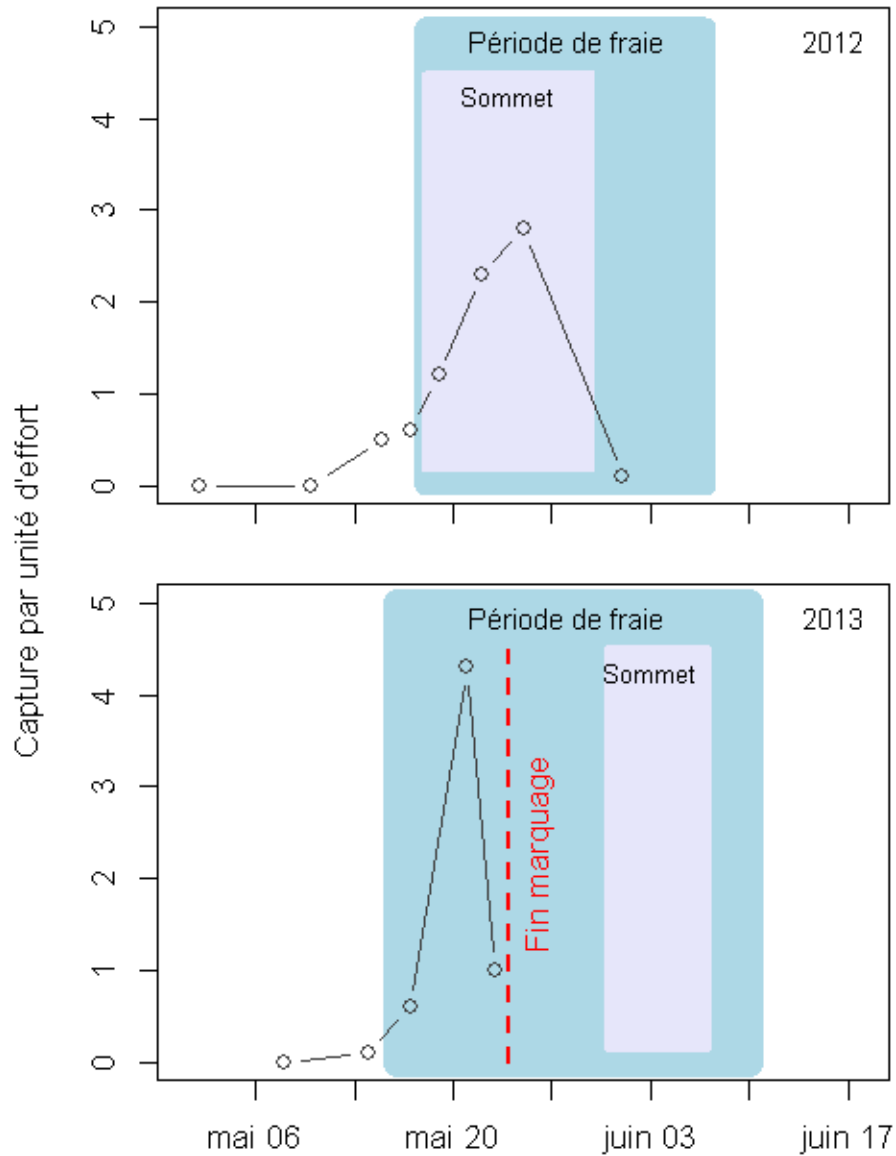


Figure 56 : Suivi du nombre d'esturgeons capturés par unité d'effort (esturgeon par heure filet) selon la date lors des activités de capture en vue du marquage avec des émetteurs acoustiques. En 2012 (haut), la pose de filet s'est poursuivie jusqu'à ce qu'aucun individu ne soit plus capturé, alors qu'en 2013 (bas) l'arrêt des captures est survenu dès que tous les émetteurs ont été posés.

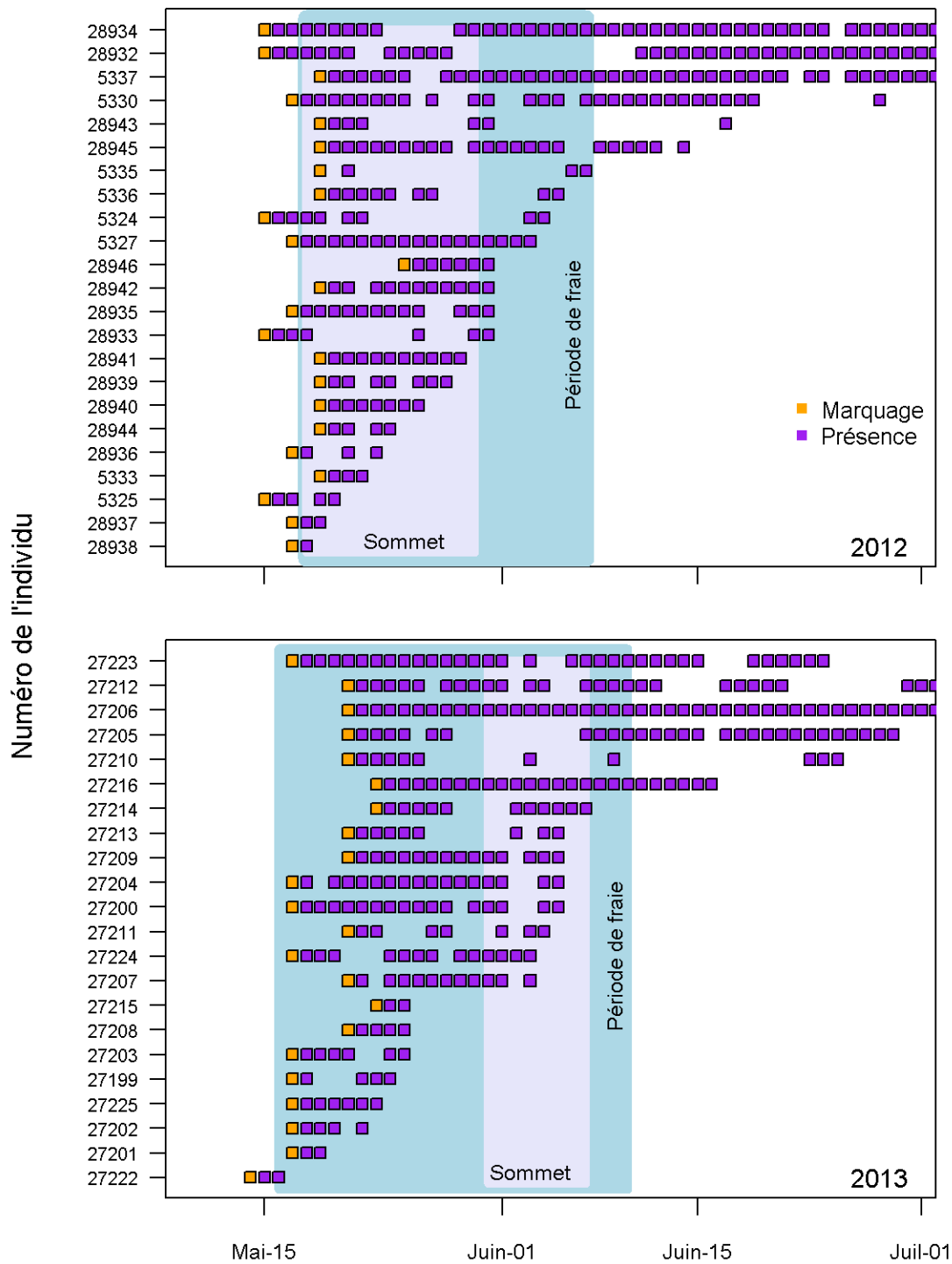


Figure 57 : Suivi d'esturgeons jaunes marqués à la frayère de la rivière Montmorency en 2012 (haut) et en 2013 (bas) pendant la période de frai. Chaque ligne horizontale représente un individu. Les carrés orangés représentent la journée où les individus ont été marqués et les carrés mauves représentent les journées pour lesquelles les individus ont été détectés dans le secteur du pont de l'île d'Orléans.

Baret

En 2012, le déploiement des capteurs d'œufs ne visait pas spécialement à décrire la reproduction du baret, mais visait à évaluer la fraie de l'éperlan arc-en-ciel et de l'esturgeon jaune. Néanmoins, les données de déposition d'œufs de baret ont permis de documenter la fraie de cette espèce sur un mois, comprenant le début et le sommet de la fraie. La date de fin de la fraie ne peut cependant pas être déterminée, puisqu'elle a probablement eu lieu à une date ultérieure au retrait définitif des capteurs d'œufs. Pour 2013, le déploiement des capteurs d'œufs visait à décrire la reproduction du baret et à délimiter plus précisément la frayère découverte en 2012. Les dates de début du sommet et de la fin de la fraie ont pu être établies en plus d'évaluer l'utilisation du secteur à l'étude par plusieurs reproducteurs à l'aide des outils de télémétrie hydroacoustique.

Chronologie de la fraie

En 2012, le déclenchement de la fraie a eu lieu du 8 au 14 mai alors que la température de l'eau du chenal de l'île d'Orléans à la hauteur du pont se situait entre 9,6 et 11,4 °C. La fraie n'était pas terminée au moment du retrait des capteurs d'œufs les 7 et 8 juin à une température d'eau de 16,3 °C. En 2013, la fraie a commencé du 2 au 7 mai à une température d'eau se situant entre 8,9 et 11,3 °C et s'est terminée le 5 juillet à une température de 20,0 °C (Tableau 14; Figure 58).

Tableau 14 : Caractéristiques des périodes de reproduction du baret observées en 2012 et 2013 dans le chenal de l'île d'Orléans.

Année	Période de reproduction	Sommet de reproduction	Température moyenne (°C)	Température de déclenchement (°C)
2012	8 mai au 7 juin*	8 mai au 22 mai	14,55	Entre 9,6 et 11,4
2013	2 mai au 5 juillet	7 mai au 17 juin	14,93	Entre 8,9 et 11,3

* Période partielle en 2012, la date de fin correspondant au retrait total des capteurs d'œufs.

Les valeurs de température enregistrées lors du déclenchement de la fraie sont comparables aux valeurs rapportées dans la littérature, soit de 8,9 à 12 °C (Mansueti 1961, Klauda et al. 1988). Par ailleurs, l'intervalle de deux mois entre le début et la fin de la fraie observé en 2013 est habituel pour l'espèce (Zuerlein 1981, Klauda et al. 1988). À la frayère du chenal de l'île d'Orléans, le sommet de la fraie a eu lieu alors que la température de l'eau se situait entre 9,6 et 14,4 °C en 2012 et entre 11,3 et 17,1 °C en 2013 (Figure 58). Ces températures concordent également avec plusieurs études rapportant des températures de 10 à 15 °C, mais pouvant atteindre 20 °C pendant le sommet de la fraie du baret (Mansueti 1961, Sheri et Power 1968, Klauda et al. 1988, revu par Setzler-Hamilton et al. 1991).

Il est intéressant de constater que le sommet de la fraie de 2012 a été de très courte durée (deux semaines) par rapport à celui de 2013 (presque six semaines; Figure 58). Ce résultat s'explique probablement par les variations de températures enregistrées d'une année à l'autre. En effet, lorsque la température monte rapidement comme en 2012, le baret a tendance à restreindre la période du sommet de la fraie de deux à trois semaines, alors que, lorsque la température monte plus graduellement comme en 2013, il a tendance à étaler le sommet de la fraie jusqu'à six semaines (Klauda et al. 1988).

Incubation des œufs et éclosion des larves

Les inventaires réalisés durant les saisons de 2012 et 2013 ne permettent pas d'estimer le temps d'incubation des œufs de baret jusqu'à l'éclosion des larves. Les quelques études relatives à ce sujet notent néanmoins des temps d'incubation relativement courts. À des températures d'environ 11 °C, l'éclosion aurait lieu environ 6 jours après la fraie, à 14 °C environ 4 à 4,5 jours après la fraie, alors qu'à 20 °C les œufs éclosaient après seulement 24 à 30 heures (revu par Setzler-Hamilton 1991). En 2013, la levée des capteurs d'œufs était effectuée tous les deux à quatre jours. Cela signifie que, lorsque la température de l'eau avait dépassé 14 °C (vers le 3 juin), le dépôt des œufs observé sur les capteurs était probablement sous-estimé par rapport au dépôt réel.

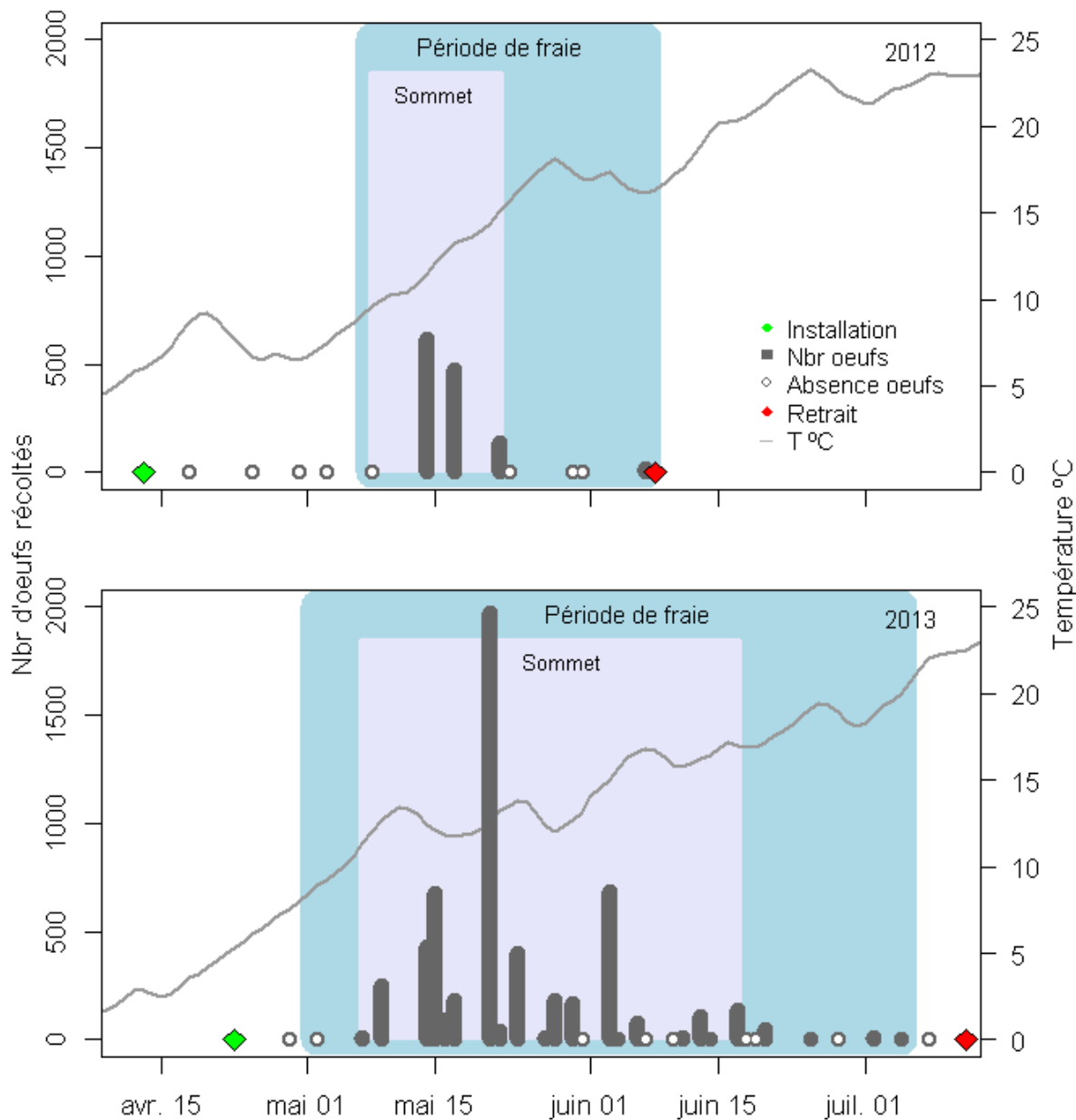


Figure 58 : Suivi de la reproduction pour le baret à la frayère du chenal de l'île d'Orléans et variations de la température (°C) du fleuve Saint-Laurent enregistrées aux stations marégraphiques du Vieux-Port de Québec en 2012 (haut) et en 2013 (bas).

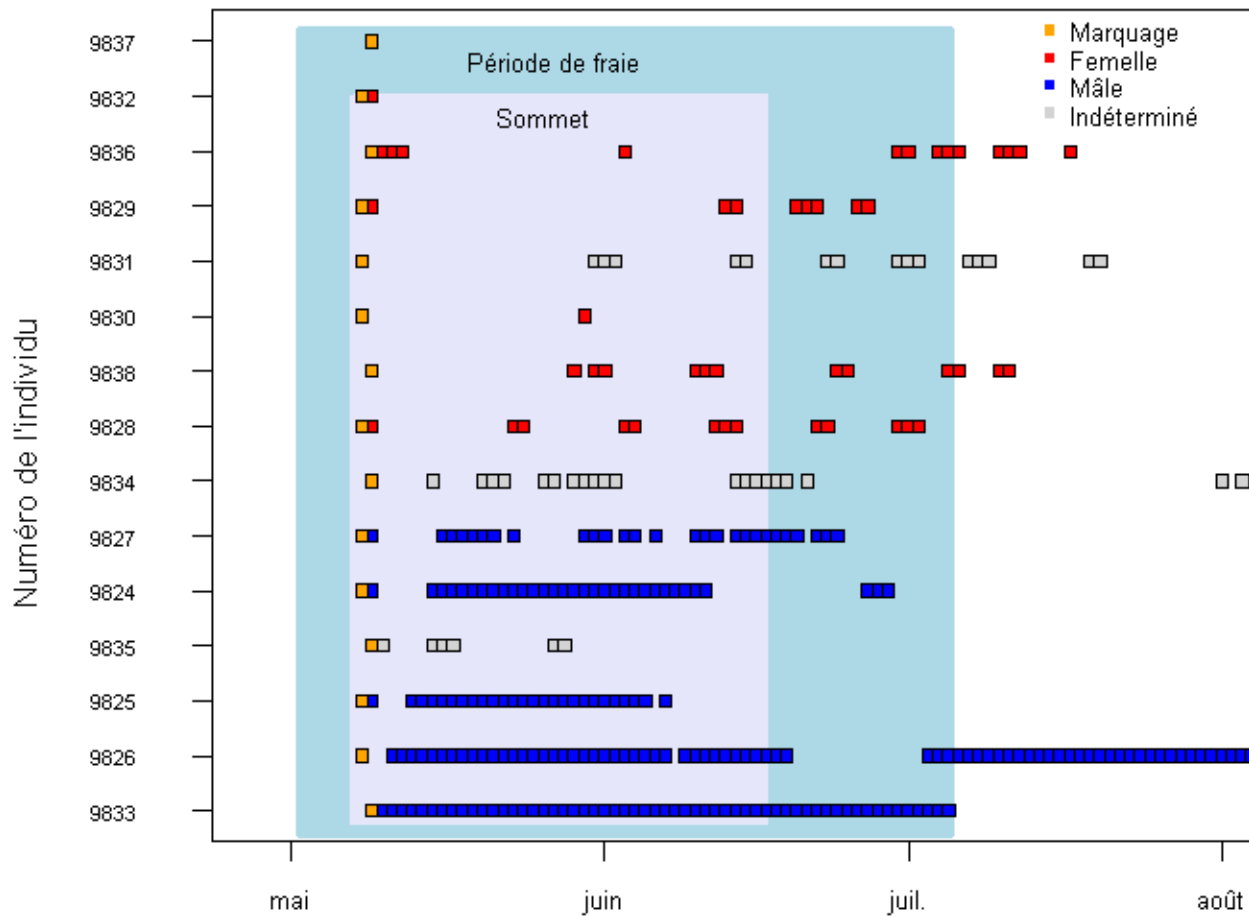


Figure 59 : Suivi quotidien des baretts marqués dans le secteur du pont de l'île d'Orléans en 2013. Chaque ligne horizontale représente un individu. Les carrés orangés représentent la journée où les individus ont été marqués. Les carrés rouges représentent les journées pour lesquelles les femelles ont été détectées dans le secteur du pont de l'île d'Orléans, les carrés bleus les mâles et les carrés gris, les individus pour lesquels le sexe n'a pu être déterminé.

Présence des individus matures

L'analyse des données de télémétrie de 2013 a révélé que, sur les 15 baretts marqués, 2 ont quitté définitivement le site du pont de l'île d'Orléans, probablement à cause du stress subi lors du marquage, alors que 13 individus sont demeurés ou sont revenus au site après le marquage (voir p. 150). Ces 13 individus étaient tous présents dans le secteur du pont de l'île d'Orléans à un moment ou à un autre de la période de fraie, ainsi que pendant le sommet de la fraie (Figure 59).

On remarque par ailleurs que les mâles sont revenus plus tôt que les femelles ou qu'ils sont carrément demeurés sur le site du pont à la suite du marquage et qu'ils étaient présents de façon plus constante que celles-ci (Figure 59). Cela est représentatif de ce qui est connu de la reproduction du baret, à savoir que les mâles sont les premiers arrivés sur les sites de frai et les occupent plus longtemps que les femelles (Mansueti 1961). Les données de télémétrie suggèrent également que les individus marqués ne sont pas présents de façon continue dans le secteur du pont de l'île d'Orléans, mais une certaine cyclicité est observée alors que les individus quittent le site et y reviennent pendant la période de fraie. Ce comportement est particulièrement évident chez les femelles (Figure 59). Chez le baret, la femelle ne

libère pas ses œufs tous au même moment, mais plutôt en différents dépôts successifs (Mansueti 1964). Il est possible que les allers et retours observés pendant la période de frai soient liés à ce comportement.

Pendant la fraie, les détections des individus marqués se concentraient à l'intérieur des limites de la frayère, telles qu'elles ont été définies par les données de déposition des œufs (voir p. 150). Cela suggère une forte utilisation de la frayère par les individus marqués pendant la période de fraie. Par ailleurs, après la période de frai et dans les jours qui ont suivi, la plupart des individus ont quitté le secteur du pont de l'île d'Orléans (Figure 59). Cela se reflète aussi dans le faible nombre de détections dans le secteur du pont de l'île d'Orléans après la fraie et par une faible utilisation de l'espace de la frayère (voir p. 150). Ce comportement est typique des populations de baretts de l'est des États-Unis où il a été observé qu'à la suite de la reproduction les reproducteurs retournent généralement en aval, vers des eaux saumâtres pour s'alimenter (revu par Setzler-Hamilton, 1991).

Bar rayé

Un seul bar rayé mature a été capturé dans le secteur du pont de l'île d'Orléans en période de reproduction lors des inventaires ichtyologiques de 2012, alors qu'un seul bar rayé immature a été capturé durant cette même période en 2013. De plus, l'analyse des données de télémétrie a révélé qu'il y avait peu d'individus matures en période de reproduction dans le secteur du pont de l'île d'Orléans, autant en 2012 qu'en 2013 (Figure 60). En effet, en 2012, seulement 7 des 60 individus portant des émetteurs dans le fleuve Saint-Laurent pendant la période de reproduction étaient présents dans le secteur du pont de l'île d'Orléans à un moment ou à un autre de cette période. La même situation est observée en 2013 où seulement 12 des 63 individus ont été détectés en période de reproduction. Ces résultats indiquent que le secteur du pont de l'île d'Orléans n'est pas un lieu de rassemblement pour les individus matures et ne semble pas être un lieu de reproduction.

Les données de télémétrie suggèrent tout de même qu'il y a une plus grande activité en période de reproduction dans le secteur du pont de l'île d'Orléans, comparativement à la période suivant la reproduction (voir p. 124). Cette observation est probablement liée aux rassemblements confirmés de bars rayés matures en période de reproduction dans quelques secteurs en amont du pont de l'île d'Orléans. En effet, le 6 juin 2013, 17 bars rayés adultes, dont 16 matures selon la classification de Pelletier (2009), ont été capturés dans le secteur du port de Québec, lors de l'inventaire ichtyologique mené par la firme Environnement Illimité. De plus, lors des inventaires de 2014 visant à localiser les frayères de bars rayés dans le fleuve Saint-Laurent, le MFFP a désigné le port de Québec, qui est situé à environ 6,5 km en amont du pont de l'île d'Orléans, comme un lieu de rassemblement d'individus matures. Du 4 au 13 juin 2014, 75 individus matures y ont été capturés. Ces résultats suggèrent que le secteur du pont de l'île d'Orléans est un lieu de transit utilisé par certains individus matures en période de reproduction, qui se déplaceraient vers des lieux de rassemblement localisés en amont.

Synthèse et limitations

En plus de confirmer la présence d'une frayère d'esturgeons jaunes dans la rivière Montmorency et de découvrir une frayère de baret dans le chenal de l'île d'Orléans, les efforts déployés en 2012 et en 2013 ont permis de documenter la reproduction de 13 autres espèces dans le secteur du pont de l'île d'Orléans. Pour l'esturgeon jaune et le baret, une variabilité interannuelle importante a été observée durant les périodes de fraie, ce qui s'explique principalement par l'évolution de la température de l'eau très différente entre les deux années. Compte tenu de l'ampleur des frayères d'esturgeons jaunes et de baret et de leur apparente rareté dans le système du fleuve Saint-Laurent et de ses tributaires, ces sites de fraie pourraient contribuer de façon notable au recrutement de ces espèces. Par ailleurs, sur les 15 espèces pour lesquelles des œufs ont été récoltés dans le secteur du pont de l'île d'Orléans, 13 se reproduisent dans la rivière Montmorency où une frayère multispécifique a été répertoriée. Dans le cas du bar rayé et de l'alose savoureuse, aucune frayère n'a été trouvée.

Les méthodes employées pour documenter la reproduction de l'éperlan arc-en-ciel, de l'esturgeon jaune et du baret se sont avérées efficaces. Elles ont permis d'obtenir des données précises sur les frayères et la chronologie de la reproduction pour l'esturgeon jaune et le baret. Néanmoins, il est possible que la densité de la déposition des œufs ait parfois été sous-estimée. Cela s'explique par deux raisons principales. Premièrement, entre le dépôt des œufs et la levée des capteurs d'œufs, des prédateurs peuvent consommer les œufs et réduire significativement leur nombre (Caroffino et al. 2010). Deuxièmement, lorsque la température de l'eau est élevée, le développement embryonnaire est plus rapide, et certains œufs peuvent éclore avant la levée des capteurs d'œufs. Cela est particulièrement vrai pour les œufs de baret qui peuvent prendre moins de 30 heures à éclore à des températures avoisinant les 20 °C (revu par Setzler-Hamilton 1991). Pour limiter ces deux problèmes, les capteurs d'œufs ont été levés à intervalles plus courts en 2013 qu'en 2012.

Le nombre d'espèces frayant dans le secteur du pont de l'île d'Orléans est élevé. Les techniques employées, le territoire couvert et les périodes d'échantillonnage n'étaient cependant pas adaptés à l'ensemble des espèces pouvant se reproduire dans le secteur de l'île d'Orléans et la diversité est probablement sous-estimée. Par exemple, bien que la barbie de rivière, le grand corégone et la lotte se reproduisent probablement dans le territoire couvert par les inventaires, elles le font respectivement à l'été, à l'automne ou à l'hiver, des périodes non couvertes par l'échantillonnage. Les habitats lenticules, tels les herbiers, n'ont pas non plus été particulièrement échantillonnés pour les activités de reproduction. Les œufs d'autres espèces auraient pu y être découverts. Ainsi, si une problématique particulière était soulevée concernant la reproduction d'une espèce autre que celles spécialement visées par les présents travaux, il serait inapproprié d'utiliser les données pour porter un diagnostic précis. Elles pourraient toutefois être très utiles à titre exploratoire.

Malgré les limitations soulevées, les efforts importants déployés dans le secteur du pont de l'île d'Orléans ont permis d'acquérir des connaissances complètes et solides sur l'utilisation spatio-temporelle du secteur de l'île d'Orléans pour la reproduction des espèces visées.

Déplacements et utilisation de l'habitat

Dans le cas du bar rayé, de l'esturgeon jaune, du saumon atlantique et du baret, les besoins en acquisition de connaissances nécessitaient de caractériser leur utilisation du secteur du pont de l'île d'Orléans à fine échelle spatiale et temporelle. Afin de répondre aux besoins propres à chacune de ces espèces, un vaste système de télémétrie hydroacoustique a été déployé au cours des saisons 2012 et 2013 et de nombreux poissons ont été marqués avec des émetteurs hydroacoustiques.

Matériel et méthodes

Espèces visées

Bar rayé

La population de bars rayés du fleuve Saint-Laurent, qui fait l'objet d'un programme de réintroduction depuis 2002, fraie à l'embouchure de la rivière du Sud (Legault, en prép.), mais elle pourrait aussi frayer ailleurs, directement dans le fleuve ou dans ses tributaires. La capture d'un individu en état de frayer en 2010 dans le secteur du pont de l'île d'Orléans pourrait indiquer l'existence d'une frayère non répertoriée dans ce secteur ou dans ses environs (Vallières 2010, rapport non publié). Le suivi par télémétrie hydroacoustique des déplacements de bars rayés matures a donc été utilisé pour vérifier si des individus matures se concentrent dans le secteur du pont de l'île d'Orléans pendant la période de reproduction. Les observations faites sur l'espèce suggèrent aussi que les bars fréquentent le secteur durant toute l'année. Les données de télémétrie ont donc aussi été utilisées pour évaluer l'utilisation du secteur durant toute l'année.

Esturgeon jaune

Plusieurs populations d'esturgeons jaunes sont connues pour afficher un comportement de migration partielle, c'est-à-dire que certains individus résident dans un secteur en particulier, alors que d'autres migrent (revu par Peterson et al. 2007, Déry 2012). Les raisons qui poussent les esturgeons jaunes à migrer sont variées, mais la littérature rapporte principalement des migrations saisonnières entre les frayères, les aires d'alimentation et les aires d'hivernage (revu par Kerr et al. 2010). Chez la population d'esturgeons jaunes du fleuve Saint-Laurent, la migration partielle n'a pas été documentée. Il est rapporté que, à l'exception des migrations entreprises pour se rendre aux aires de fraie, les individus sont majoritairement sédentaires et se déplacent peu (revu par Dumont et Mailhot 2013). Des travaux préliminaires menés en 2010 faisaient état de rassemblements d'esturgeons jaunes adultes et matures à l'embouchure de la rivière Montmorency ainsi que de la présence probable d'une frayère dans ce secteur (Vallières 2010, rapport non publié). Ces observations ont été confirmées par les présents travaux (voir p. 69). Compte tenu de la capacité de l'espèce à présenter un comportement de migration partielle, certains des individus fréquentant la frayère de la rivière Montmorency pourraient résider dans le

secteur du pont de l'île d'Orléans, alors que d'autres pourraient migrer, occupant le secteur du pont de l'île d'Orléans ponctuellement pour frayer, mais aussi pour s'alimenter.

La télémétrie hydroacoustique a été utilisée pour déterminer si les esturgeons jaunes matures présents dans la frayère de la rivière Montmorency résidaient dans le secteur du pont de l'île d'Orléans et, donc, fréquentaient de façon plus ou moins continue le secteur ou s'ils migraient. La télémétrie hydroacoustique a aussi été utilisée pour évaluer l'utilisation du secteur du pont de l'île d'Orléans par les esturgeons jaunes adultes pour différentes périodes d'eau libre (période de reproduction et trois saisons). Enfin, il a récemment été documenté que des centaines d'esturgeons jaunes utilisaient les rapides aval de la chute de la rivière Chaudière pour frayer (communication personnelle, Pierre-Yves Collins 2012). La fraie de l'esturgeon jaune dans cette rivière pourrait avoir lieu plus tôt que dans la rivière Montmorency, car l'eau s'y réchauffe plus rapidement. Par conséquent, il pourrait être possible que certains individus utilisent les deux frayères au cours d'une même saison. Les déplacements entre la rivière Chaudière et la rivière Montmorency d'individus frayant à la rivière Chaudière ont donc aussi été évalués.

Saumoneaux du saumon atlantique

La rivière Jacques-Cartier, qui se jette dans le fleuve Saint-Laurent à la hauteur de Donnacona, abrite la population de saumons atlantiques située la plus à l'ouest de l'aire de répartition de l'espèce au Québec (collectif d'auteurs et CBJC 2009). Comme d'autres, cette population a subi une importante baisse de son effectif depuis les années 1990 (collectif d'auteurs et CBJC 2009; Cauchon 2014). Afin d'achever leur cycle vital, les jeunes saumons migrent en mer au stade de saumoneau où ils terminent leur croissance et atteignent la maturité sexuelle (Scott et Crossman 1974). Dans le cas de la population de la rivière Jacques-Cartier, les saumoneaux en dévalaison (mouvement vers la mer) croisent l'île d'Orléans et doivent la contourner soit par le bras nord (chenal de l'île d'Orléans) ou le bras sud (chenal des Grands Voiliers). À ce jour, aucune information n'est disponible quant à la période à laquelle les saumoneaux de la rivière Jacques-Cartier arrivent à l'île d'Orléans ni sur les voies migratoires empruntées par ces derniers. L'utilisation de la télémétrie acoustique visait donc à vérifier dans quelle proportion les saumoneaux de la rivière Jacques-Cartier en dévalaison utilisent le chenal de l'île d'Orléans comme voie de migration et quelle est leur utilisation à fine échelle du secteur du pont de l'île d'Orléans.

Baret

Lors de la saison d'échantillonnage de 2012, il a été observé que le baret était une espèce dominante dans le secteur du pont de l'île d'Orléans et qu'une frayère d'importance s'y trouvait. Tout comme l'esturgeon jaune, le baret est une espèce affichant un comportement de migration partielle (Kraus et Secor 2004, Kerr et Secor 2009, 2012). Ainsi, les individus capturés dans le secteur du pont de l'île d'Orléans pourraient être des individus résidents ou migrants et utiliser ce secteur de façon plus ou moins continue au fil des saisons. Par ailleurs, l'absence totale de connaissances sur les déplacements de cette espèce dans le fleuve Saint-Laurent ne permettait pas d'évaluer l'importance du secteur du pont de l'île d'Orléans pour l'espèce par rapport au reste

du système. En 2013, des barets ont été marqués avec des émetteurs hydroacoustiques pour évaluer l'utilisation du secteur du pont de l'île d'Orléans pour différentes périodes de l'année (reproduction et trois saisons).

Méthodes de capture et de marquage

Méthode de marquage générale

Les individus ont été marqués avec un émetteur hydroacoustique (VEMCO Inc., Bedford, Nouvelle-Écosse) inséré par intervention chirurgicale dans la cavité abdominale ou avec un émetteur externe fixé sous la nageoire dorsale. Plusieurs modèles d'émetteurs ont été utilisés afin de tenir compte des caractéristiques morphométriques des individus marqués, de maximiser la puissance des signaux émis et de maximiser la durée de vie des émetteurs (Tableau 15). En effet, plus la puissance du signal est élevée, plus sa portée est grande. Toutefois, plus la puissance du signal est élevée, plus la demande en énergie l'est aussi. Comme la taille des émetteurs limite la taille des piles pouvant y être fixées, les plus petits modèles ont une durée de vie réduite par rapport aux plus gros modèles. Un compromis s'impose donc entre la taille du poisson et les caractéristiques des émetteurs choisis.

Tableau 15 : Caractéristiques des modèles d'émetteurs utilisés et espèces marquées avec ces derniers.

Modèle	Diamètre (mm)	Longueur (mm)	Masse (g)	Puissance du signal (dB)	Durée de vie (jours)	Espèces marquées
V7	7	18	0,7	136	52	Saumon atlantique
V8	8	20,5	0,9	144	47	Saumon atlantique
V9	9	21	1,6	145	396	Baret
V13	13	36	6	147	622	Bar rayé/esturgeon jaune
V16	16	54	8,1	150	3 650	Bar rayé/esturgeon jaune

Pour le marquage par intervention chirurgicale, la même procédure a été rigoureusement suivie pour tous les individus. Cette méthode a été élaborée en concertation avec un médecin vétérinaire du MFFP afin de s'assurer du bien-être et de la santé des poissons marqués. À la suite de la capture, le poisson était transporté et conservé dans un bassin de rétention. Avant le début de l'opération, le poisson était anesthésié dans une solution de clou de girofle dont la concentration était de 35 mg/L pour les bars rayés et les barets, de 40 mg/L pour les saumons et de 45 mg/L pour les esturgeons. Lorsque le poisson était endormi, la longueur totale du bout du museau au bout de la queue, ainsi que la masse étaient notées. Le poisson était ensuite déposé

sur une table pour l'opération. Le site de l'opération du poisson était d'abord stérilisé, puis une incision abdominale était pratiquée à l'aide d'instruments stériles et d'une lame de bistouri neuve. À l'exception des saumoneaux, le sexe de l'individu était déterminé à ce moment par observation directe des gonades. Un émetteur stérilisé était par la suite inséré dans la cavité abdominale, puis l'incision était refermée à l'aide de points de suture. Le poisson était ensuite déposé dans un bassin de rétention jusqu'à son réveil complet. Enfin, il était relâché sur ou près du lieu de capture (à l'exception des saumons, voir la section à ce sujet) lorsque sa condition générale était jugée satisfaisante.

Lors du marquage externe, le poisson était d'abord anesthésié en suivant la même procédure que pour le marquage par intervention chirurgicale. L'émetteur était prêt, déjà monté sur une pièce de plastique, elle-même fixée à une pièce de néoprène et à deux fils en acier inoxydable (Figure 61). Une fois le poisson anesthésié, deux aiguilles intramusculaires stériles montées en parallèle sur un support de plastique étaient utilisées pour traverser les tissus musculaires sous la nageoire dorsale (Figure 61). Le montage contenant l'émetteur était alors installé en insérant les fils en acier inoxydable dans le canal interne des aiguilles (Figure 62). Les aiguilles montées sur le support de plastique étaient par la suite retirées du poisson, y laissant les fils du montage de l'émetteur. Une pièce de néoprène et une pièce de plastique étaient ensuite installées du côté où les fils d'acier étaient apparents. Les pièces de néoprène limitent le contact direct entre le poisson et l'émetteur ou les fils d'acier. Cela permet d'éviter des blessures qui pourraient être occasionnées par les mouvements de l'animal. Enfin, les fils en acier étaient repliés sur la pièce de plastique (Figure 62). Avant d'être remis à l'eau, le poisson demeurait en bassin de rétention jusqu'à son réveil complet et jusqu'à ce que sa condition générale soit satisfaisante.

La durée des opérations liées à la pose des émetteurs, du début de l'intervention ou de l'installation de l'émetteur externe à la fin était en moyenne de cinq minutes, et ce, pour les espèces sur lesquelles ces manipulations ont été effectuées. Tous les poissons marqués, à l'exception des saumoneaux, ont été munis d'un émetteur respectant un ratio de masse de moins de 2 % (masse émetteur/masse poisson). Il est généralement accepté qu'un ratio de masse inférieur à 2 % minimise le taux de mortalité chez les poissons ainsi que les effets négatifs sur sa croissance et sur sa capacité de nage (Winter, 1983). Compte tenu de la petite taille des saumoneaux, il est généralement difficile de marquer les individus avec des émetteurs respectant le ratio des masses de 2 %. Cependant, plusieurs études ont rapporté que la survie et la capacité de nage étaient élevées chez les saumoneaux marqués avec des émetteurs dont le ratio des masses pouvait atteindre jusqu'à 5,5 % (Adams et al. 1998a, Brown et al. 2006, Hall et al. 2009).

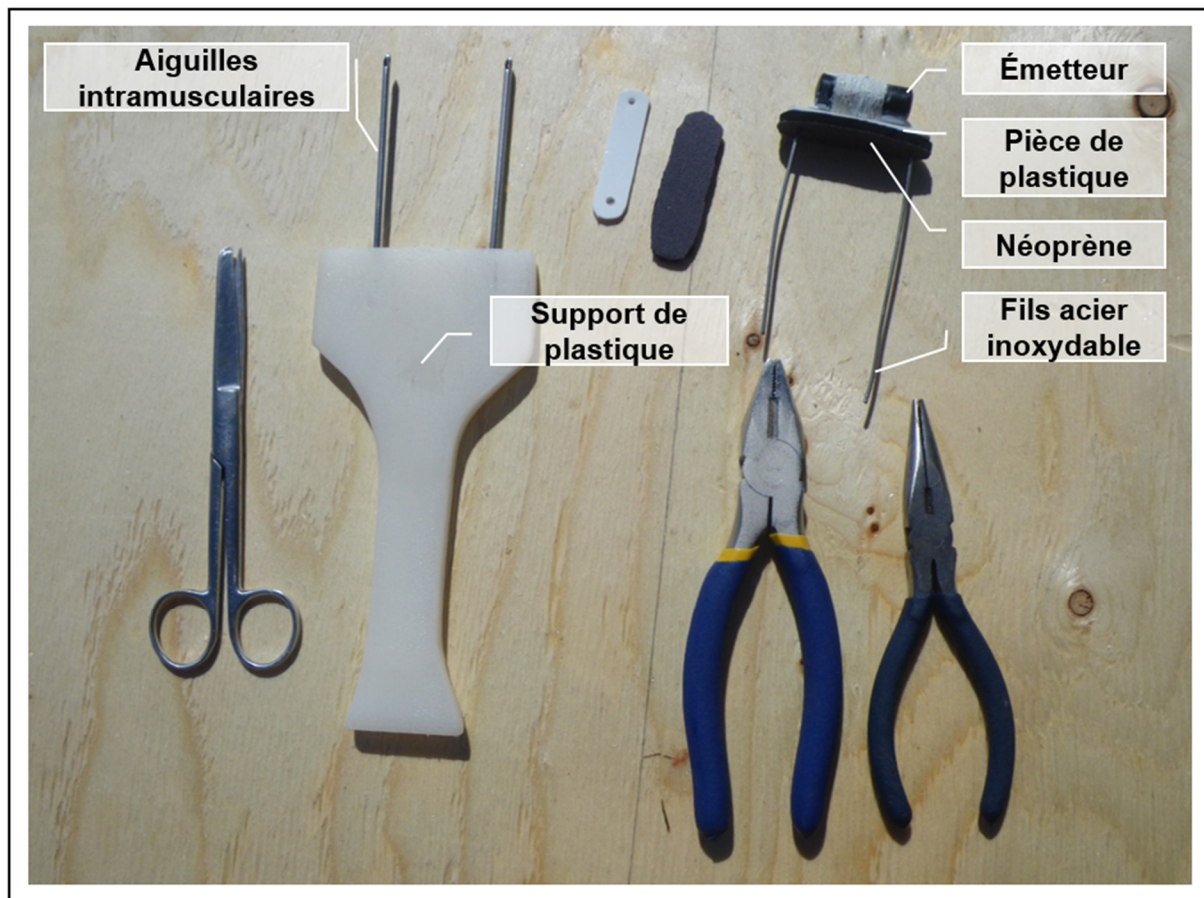


Figure 61 : Matériel utilisé pour poser les émetteurs externes sur les esturgeons jaunes.

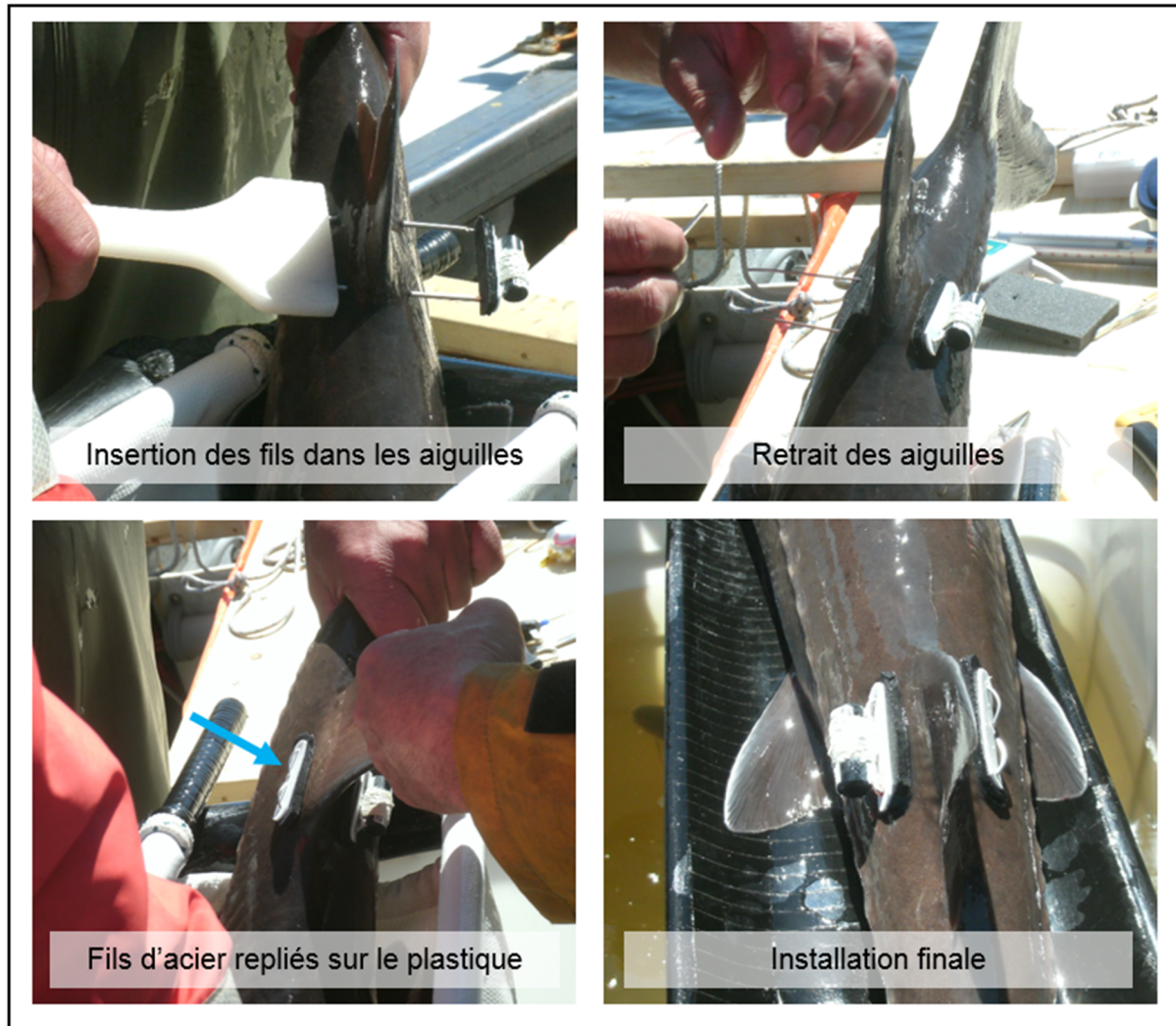
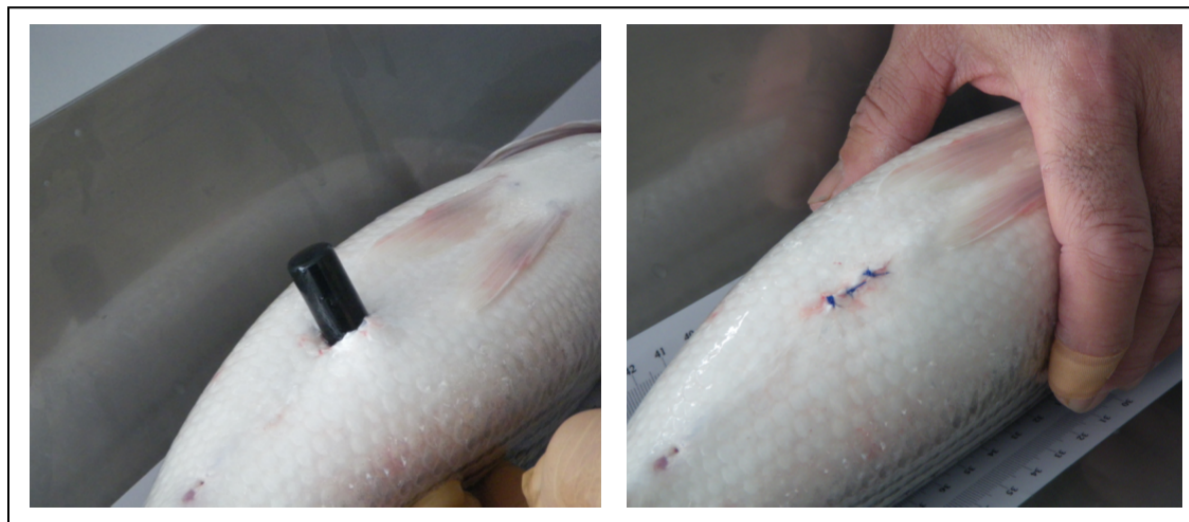


Figure 62 : Installation d'un émetteur externe sur un esturgeon jaune adulte.

Bar rayé

Un programme d'acquisition de connaissances sur le bar rayé en cours au MFFP a permis de marquer et de suivre de nombreux individus. De 2010 à 2013, 114 individus ont été capturés et marqués par intervention chirurgicale avec des émetteurs hydroacoustiques de type V13 ou V16 (VEMCO, Figure 63). La majorité des individus ont été capturés à l'embouchure de la rivière du Sud et de la rivière Ouelle et plusieurs autres individus ont été capturés dans le fleuve Saint-Laurent, à la hauteur de Gentilly et de Saint-Irénée.



Crédit photo: MFFP

Figure 63 : Marquage par intervention chirurgicale d'un bar rayé avec un émetteur hydroacoustique de type V13 (VEMCO).

Esturgeon jaune

En 2012, les esturgeons jaunes capturés dans le secteur du pont de l'île d'Orléans et à l'embouchure de la rivière Chaudière ont été marqués soit par intervention chirurgicale, soit avec un émetteur externe fixé sous la nageoire dorsale. Le marquage par intervention est connu pour être invasif (revu par Cooke et al. 2011) et il a été suggéré que le marquage externe l'était moins, pouvant limiter le stress causé aux esturgeons jaunes. Comme un des objectifs poursuivis pour l'esturgeon jaune était de décrire l'utilisation de l'habitat dans les heures et les jours suivants le marquage, il a été suggéré que les individus marqués avec des émetteurs externes auraient un comportement plus naturel après le marquage, par rapport aux individus ayant subi une opération. Par contre, le type d'émetteur pouvant être fixé sous la nageoire dorsale des esturgeons jaunes (V13) avait une durée de vie d'environ deux ans, soit cinq fois inférieure au type d'émetteur utilisé pour le marquage par intervention chirurgicale (V16). La durée de vie nettement plus faible des émetteurs V13 est contraignante pour le suivi à long terme des individus marqués. Les deux techniques de marquage ont donc été utilisées en 2012 afin de s'assurer d'avoir des données de qualité pendant la fraie, mais aussi pendant une longue période après la fraie. L'utilisation parallèle des deux techniques de marquage a aussi permis d'évaluer l'efficacité des deux méthodes pour le suivi des individus à court et à long terme.

Ainsi, en 2012, 30 esturgeons jaunes capturés à l'embouchure de la rivière Montmorency et 10 capturés à l'embouchure de la rivière Chaudière ont été marqués avec des émetteurs hydroacoustiques de type V16 ou V13 (VEMCO). Plus précisément, une moitié des individus a été marquée par intervention chirurgicale avec un émetteur V16 inséré dans la cavité abdominale et l'autre moitié l'a été avec un émetteur V13 fixé sous la nageoire dorsale (Figure 64). En 2013, 22 individus ont été capturés et marqués à l'embouchure de la rivière Montmorency et 5 ont été marqués à l'embouchure de la rivière Chaudière. Tous les individus capturés lors de cette

deuxième année de marquage l'ont été par intervention chirurgicale avec un émetteur hydroacoustique de type V16 inséré dans la cavité abdominale.



Crédit photo: MFFP

Figure 64 : Marquage d'esturgeons jaunes à l'aide d'un émetteur de type externe V13 (à gauche) et interne V16 (à droite).

Saumoneaux du saumon atlantique

En 2012 et en 2013, des saumoneaux de la rivière Jacques-Cartier ont été capturés devant les grilles inclinées de la prise d'eau de la station Bird-I pendant leur dévalaison (Figure 65). Ces grilles inclinées visent à prévenir le passage des saumoneaux dans les turbines du barrage hydroélectrique et les orientent vers un canal de contournement où ils peuvent poursuivre leur dévalaison en sécurité. Au moment de la dévalaison, les saumoneaux ont tendance à se rassembler devant les grilles inclinées en attendant la tombée de la nuit. Il est alors possible de les capturer à l'aide d'épuisettes.

Pour chacune des 2 années, 30 saumoneaux ont été capturés et marqués par intervention chirurgicale avec des émetteurs hydroacoustiques de type V7 ou V8 (VEMCO; Figure 66). Les émetteurs V7 ont l'avantage d'être plus petits et moins lourds que les émetteurs V8. Ils permettent donc de marquer des individus d'une gamme de longueurs plus étendue. Cependant, la portée du signal hydroacoustique des émetteurs V7 est plus faible que celle des émetteurs V8. Dans tous les cas, seuls les individus mesurant plus de 165 mm ont été marqués dans le but de minimiser l'inconfort du poisson pouvant être causé par l'émetteur. De plus, afin de respecter le

ratio maximum de la masse de l'émetteur sur la masse de poisson de 5,5 %, les saumoneaux recevant un émetteur V7 devaient peser au minimum 26 g, alors que ceux recevant un émetteur V8 devaient peser au minimum 37 g. Ainsi, en 2012, les 15 individus les plus petits ont été marqués avec les émetteurs V7, alors que les 15 plus gros ont été marqués avec les émetteurs V8. En 2013, tous les individus ont reçu un émetteur V7.

Tous les saumoneaux marqués ont été relâchés en aval du barrage de la centrale de Donnacona, à environ 13,4 km en aval du lieu de capture et à 1,6 km en amont de l'embouchure de la rivière Jacques-Cartier dans le fleuve Saint-Laurent. Le déplacement des individus marqués en aval du barrage de Donnacona avait pour but de maximiser les chances de survie des saumoneaux jusqu'à leur sortie de la rivière. En effet, plusieurs études ont mis en évidence un fort taux de mortalité des saumoneaux tout au long de leur dévalaison en rivière. Ce taux élevé serait principalement attribuable à une forte prédation (revu par Gauld, 2014). Le taux de mortalité des saumoneaux en rivière, tous facteurs confondus, serait de 0,3 à 5,0 % par kilomètre de rivière parcouru (revu par Gauld, 2014). Sur une distance de 13,4 km, cela représente un taux potentiel de 4,0 à 67,0 % des individus.

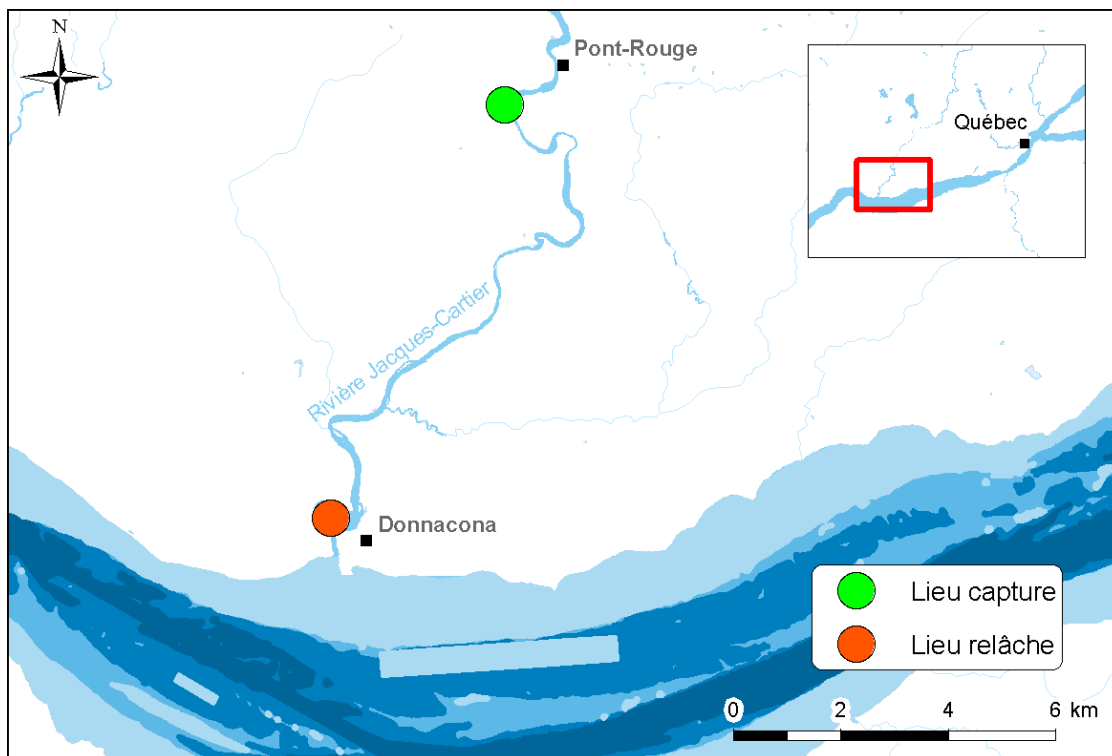


Figure 65 : Localisation des lieux de capture et de relâche des saumoneaux de la rivière Jacques-Cartier.



Crédit photo: MFFP

Figure 66 : Marquage d'un saumoneau à l'aide d'un émetteur interne V7.

Localisation des individus marqués

Afin de suivre les individus marqués dans le secteur du pont de l'île d'Orléans, une grille fine de récepteurs hydroacoustiques de type VR2W (VEMCO, Figure 67) a été installée. Un récepteur a aussi été installé dans le bassin de la rivière Montmorency et un autre dans l'embouchure de la rivière Chaudière. Les récepteurs VR2W sont des hydrophones multidirectionnels qui permettent de capter les signaux émis par les individus portant des émetteurs hydroacoustiques. Ces hydrophones sont installés sous l'eau et ancrés au fond du cours d'eau. Lorsqu'un signal est capté, l'hydrophone enregistre le numéro de l'individu de même que la date et l'heure auxquelles celui-ci a été détecté. À la fin de la période d'étude, les récepteurs sont récupérés et les données enregistrées sont téléchargées sur un ordinateur. Les données brutes ainsi obtenues fournissent de l'information sur la présence ou l'absence des individus pour un moment donné dans un secteur donné, mais ne permettent pas de connaître sa position géographique précise. Lorsque les récepteurs sont placés selon un plan quadrillé, il peut toutefois être possible de calculer la position géographique des individus en analysant les données de détection brutes par une méthode d'interpolation statistique. Cette méthode a été retenue pour le présent projet.

En 2012, 17 récepteurs VR2W ont été installés dans le chenal de l'île d'Orléans du 13 avril au 7 novembre. Les récepteurs ont été déployés selon un plan quadrillé où chaque station était équidistante de 500 m des autres stations (Figure 68). Cette façon de disposer les récepteurs avait pour but de créer un chevauchement entre les zones de détection des récepteurs et ainsi de maximiser les chances de détection des individus. En plus des récepteurs installés dans le

chenal de l'île d'Orléans, un récepteur a été installé dans le bassin de la rivière Montmorency du 19 avril au 12 juillet. Un autre a été installé dans l'embouchure de la rivière Chaudière du 19 avril au 19 novembre (Figure 68). Néanmoins, au cours de l'analyse des données, il est apparu que la méthode statistique d'interpolation des positions géographiques ne pouvait être utilisée comme il avait été prévu. En effet, les tracés tests ont montré que les conditions environnementales prévalant dans le secteur du pont de l'île d'Orléans ne sont pas propices à ce type de méthode (voir p. 119).

En 2013, la grille de récepteurs a été fortement modifiée en collaboration avec la compagnie VEMCO pour mettre en place un autre type de système de positionnement (VPS [VEMCO Positioning System]). Le déploiement de ce système avait pour but de maximiser la couverture de l'aire d'étude par les récepteurs et d'augmenter la précision des estimations faites sur la position des individus détectés. La grille de récepteurs a donc été préparée en tenant compte de la superficie de l'aire d'étude, de sa topographie et des piliers du pont. Ainsi, 24 récepteurs hydroacoustiques, chacun équipé d'un émetteur de synchronisation, et 3 stations portant seulement des émetteurs de synchronisation ont été installés dans le chenal de l'île d'Orléans, du 30 avril au 21 novembre (Figure 69). Les émetteurs de synchronisation permettent de calibrer l'horloge de l'ensemble des récepteurs, de calculer la position des récepteurs si ces derniers étaient accidentellement déplacés et d'estimer l'erreur sur les positions calculées par le système (Smith, 2013).

En plus du VPS situé dans le chenal de l'île d'Orléans, un récepteur a été installé dans le bassin de la rivière Montmorency du 1^{er} mai au 18 juin. Un récepteur a aussi été installé à l'embouchure de la rivière Chaudière du 22 avril au 14 novembre. Pour la période hivernale 2013-2014, cinq récepteurs ont été installés au centre du chenal de l'île d'Orléans, du 21 novembre 2013 au 30 avril 2014 (Figure 70).



Crédit photo: MFFP

Figure 67 : Montage d'un récepteur hydroacoustique de type VR2W (VEMCO) avec bouée et poids.

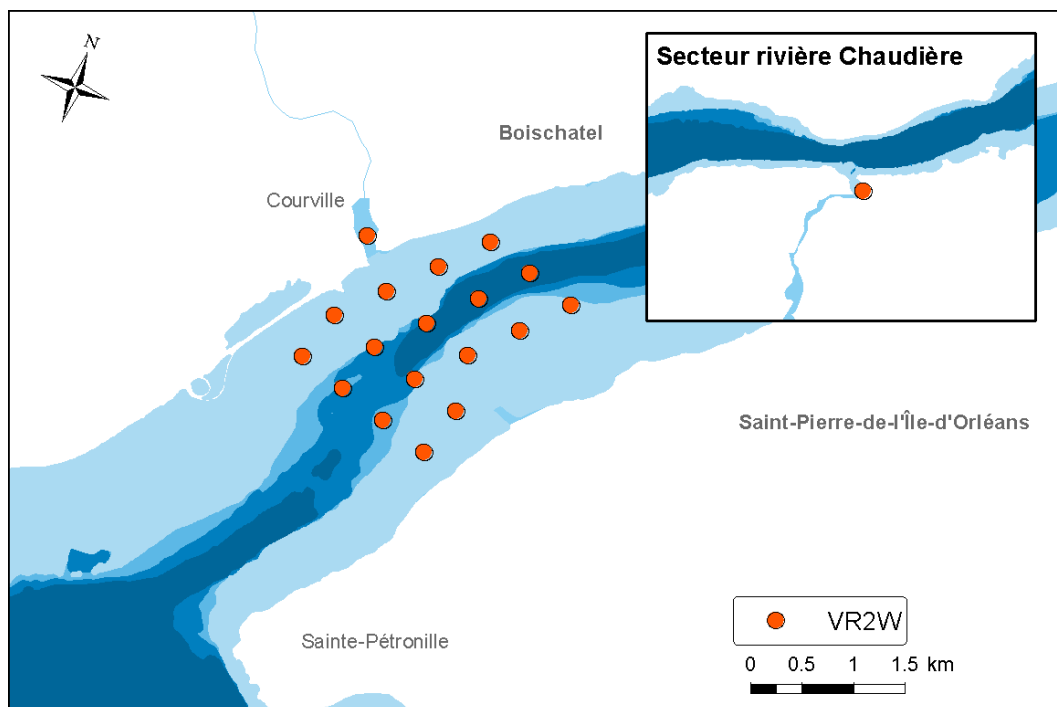


Figure 68 : Localisation des récepteurs VR2W dans le secteur du pont de l'île d'Orléans et à l'embouchure de la rivière Chaudière en 2012.

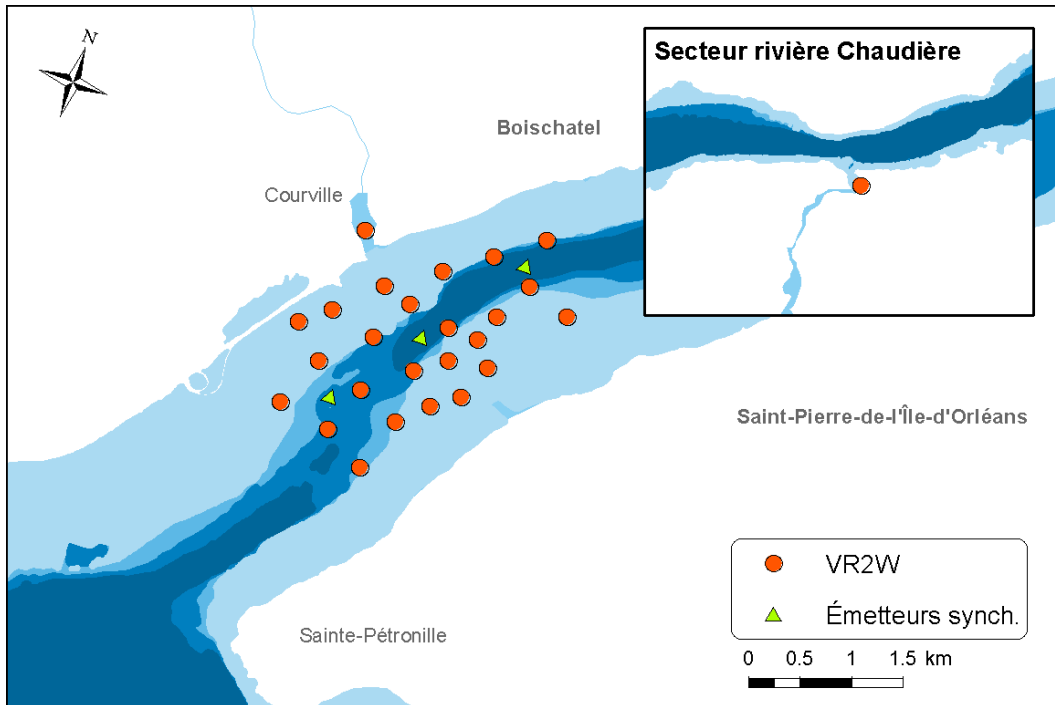


Figure 69 : Localisation des récepteurs VR2W et des émetteurs de synchronisation dans le secteur du pont de l'île d'Orléans et à l'embouchure de la rivière Chaudière en 2013.

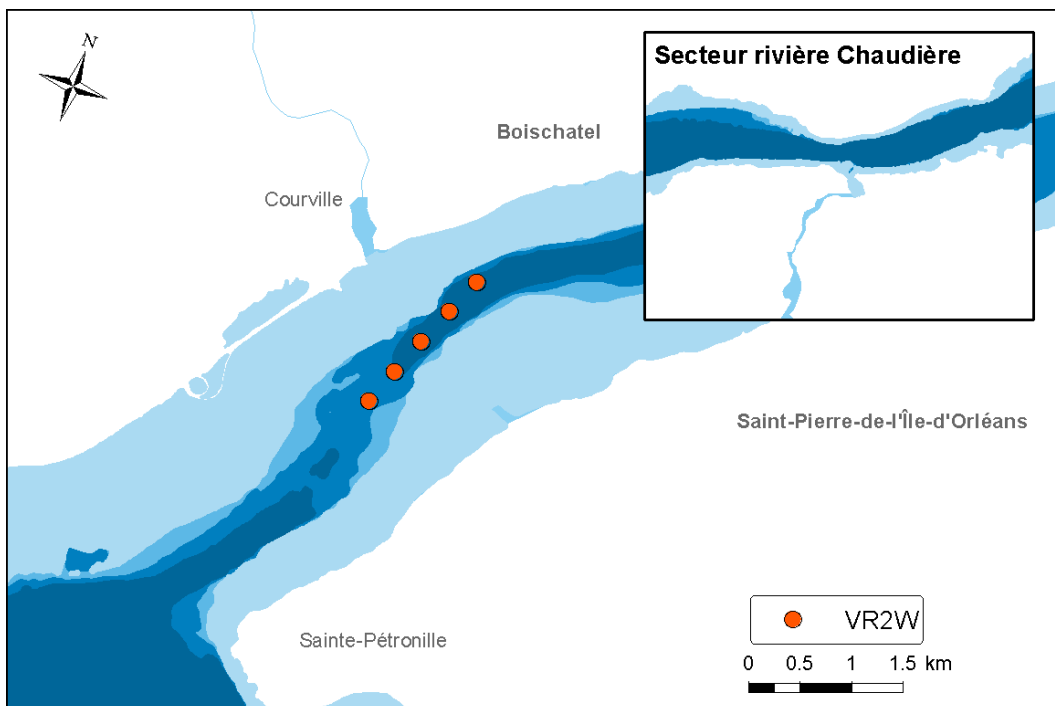


Figure 70 : Localisation des récepteurs VR2W dans le secteur du pont de l'île d'Orléans à l'hiver 2013-2014 (21 novembre 2013 au 30 avril 2014).

Efficacité des grilles de récepteurs

En 2012, des tracés tests ont été effectués en bateau afin d'estimer l'efficacité de la grille de récepteurs dans le chenal de l'île d'Orléans et d'évaluer la précision de la méthode d'interpolation des positions. Ces tracés visaient à simuler le déplacement d'un poisson et à vérifier que ce dernier était détecté à l'intérieur de la grille de récepteurs pour différentes conditions de marées. Les types d'émetteurs tests utilisés durant cette validation reflétaient la gamme d'émetteurs réellement utilisés sur les poissons (V7, V8, V13 et V16). Tous les émetteurs tests utilisés émettaient toutes les 15 secondes. Lors des tracés tests, le bateau se déplaçait à 6 km/h ou moins. La position géographique de celui-ci était enregistrée par un appareil GPS (Marque Garmin, modèle GPSMAP 3010C, précision de 3 à 5 m), simultanément à l'émission du signal par l'émetteur test utilisé.

Pour 2013, les émetteurs de synchronisation installés dans la grille de récepteurs permettaient d'évaluer à chacune des stations, en tout temps et dans toutes les conditions, l'efficacité de la grille de récepteurs, mais aussi l'efficacité de chacun des récepteurs à percevoir les signaux. Il n'était donc pas nécessaire de répéter l'exercice des tracés tests tel qu'ils avaient été menés en 2012.

Projets et études connexes

Depuis 2010, sur l'ensemble du fleuve Saint-Laurent, un vaste réseau de récepteurs hydroacoustiques est déployé. En 2012, en plus des récepteurs installés dans le secteur du pont de l'île d'Orléans, 90 récepteurs ont été installés par le MFFP dans le fleuve Saint-Laurent, entre le lac Saint-Louis (région de Montréal) et l'embouchure de la rivière Malbaie (Figure 71). En 2013, en plus des récepteurs du secteur du pont de l'île d'Orléans et de la rivière Chaudière, 116 récepteurs ont été installés par le MFFP (105) et Environnement Illimité (11) dans le fleuve Saint-Laurent entre le lac Saint-Louis et Rivière-du-Loup (Figure 72). Les données recueillies par ces récepteurs à l'extérieur du secteur du pont de l'île d'Orléans ont permis de documenter les déplacements des poissons marqués à grande échelle.

En 2010 et 2011, le réseau de récepteurs déployés dans le fleuve Saint-Laurent a principalement permis de suivre les déplacements du bar rayé et de l'anguille d'Amérique. En 2012 et 2013, en plus des espèces suivies dans le cadre de la présente étude, des anguilles d'Amérique et des esturgeons noirs ont aussi été marqués et suivis lors de différents projets.

Au printemps 2012, 88 anguilles d'Amérique au stade jaune ont été marquées par le MFFP dans la région de Montréal. Ces anguilles devaient évoluer vers le stade argenté au cours de 2012 ou de 2013, après quoi elles devaient entreprendre leur migration vers la mer. En 2013, 75 anguilles au stade argenté ont été marquées et relâchées à Cap-Santé ou à Rivière-du-Loup au cours de l'automne par le MFFP (Figure 73). Trente esturgeons noirs adultes ont aussi été marqués dans l'estuaire moyen du fleuve Saint-Laurent par le MFFP à l'été 2013 (Figure 74). Au cours de cette même année, 18 esturgeons noirs juvéniles ont aussi été marqués par la firme de génie-conseil

Environnement illimité dans la région de Québec. Tous ces poissons pouvaient être détectés dans le secteur du pont de l'île d'Orléans et les responsables des projets ont accepté que les données recueillies dans le secteur du pont de l'île d'Orléans soient utilisées dans le cadre de la présente étude.

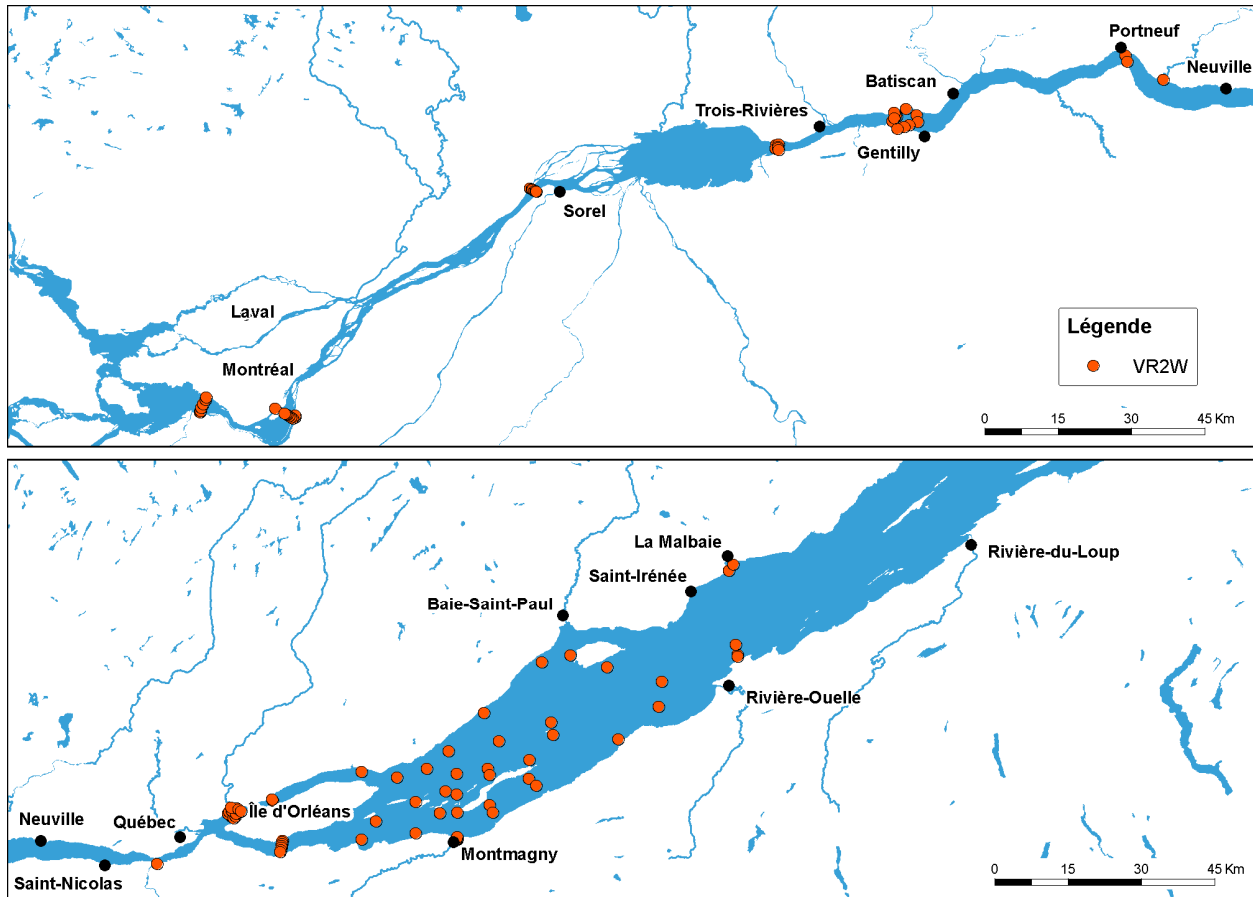


Figure 71 : Localisation des récepteurs VR2W installés en 2012 dans le fleuve Saint-Laurent.

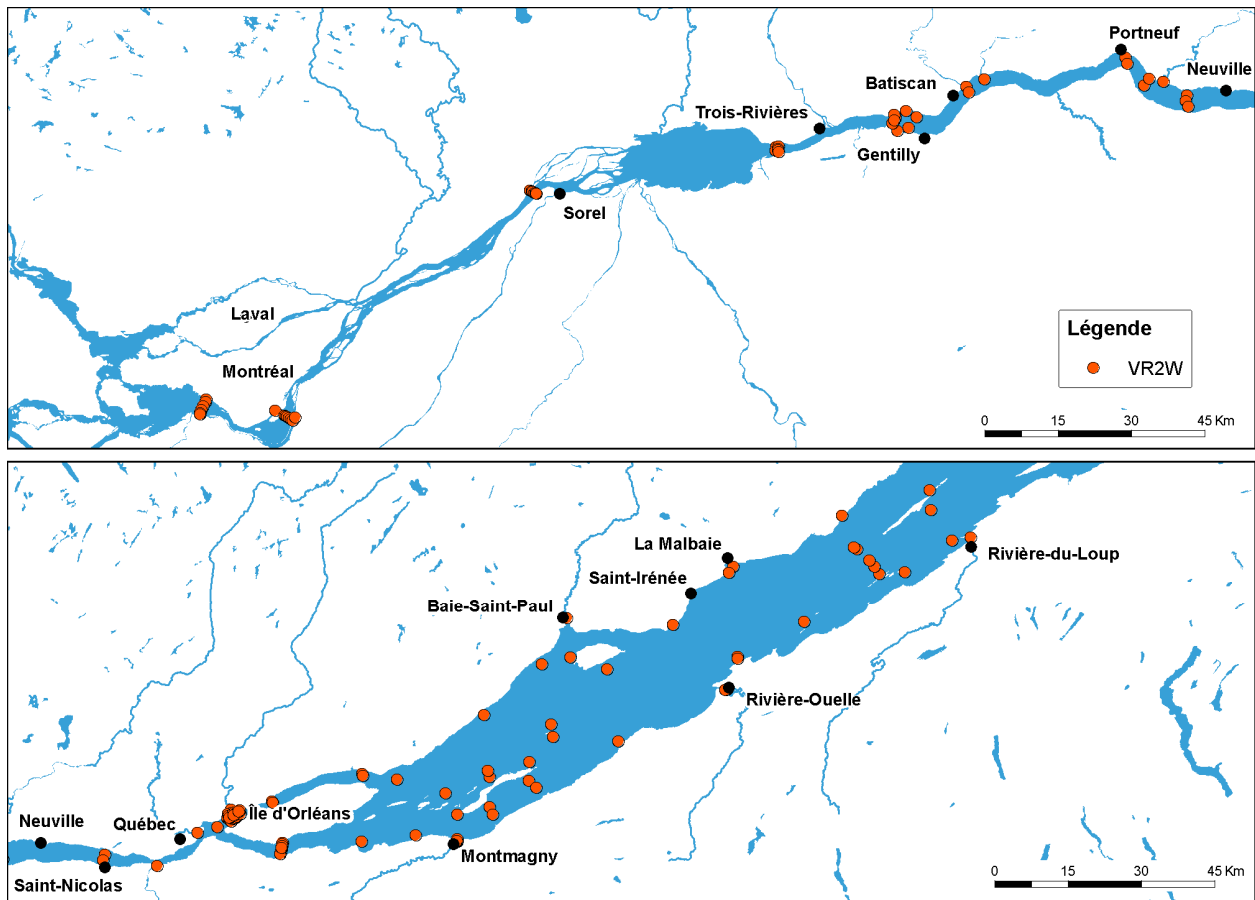


Figure 72 : Localisation des récepteurs VR2W installés en 2013 dans le fleuve Saint-Laurent.



Crédit photo: Bertrand Lavoie

Figure 73 : Marquage d'une anguille d'Amérique au stade argenté par le MFFP.



Crédit photo: Guy Dionne

Figure 74 : Capture par le MFFP d'un esturgeon noir adulte à l'été 2013 dans l'estuaire du Saint-Laurent, destiné au marquage.

Traitement des données

Caractéristiques des individus marqués

Le coefficient de condition de Fulton a été calculé pour chaque individu de chaque espèce selon la formule suivante :

$$K = \frac{M \times 10^5}{L^3}$$

où M est la masse en g et L la longueur en mm.

Ce coefficient permet d'évaluer l'état physiologique des poissons au sein d'une même espèce. Pour l'ensemble des individus marqués de chaque espèce, la longueur totale, la masse et le coefficient de condition moyen ont été calculés selon la moyenne arithmétique (\pm SE).

Estimation du comportement de fuite, de la survie et du taux de rétention des émetteurs

Stress induit par le marquage

La capture et le marquage avec les émetteurs hydroacoustiques sont des événements stressants pour les poissons et peuvent modifier pendant un certain temps leur comportement (revu par Cooke et al. 2011 et par Rose et al. 2014). Les individus marqués peuvent notamment fuir le lieu de marquage. Or, pour certaines espèces suivies dans cette étude, on s'intéressait aux déplacements et à l'utilisation de l'habitat sur les lieux mêmes de la capture et du marquage dans les jours et les semaines suivant le marquage (esturgeon jaune et baret).

Le comportement de fuite du bar rayé n'a pas été évalué dans les présentes analyses, puisque ce sujet a déjà été abordé dans le cadre du projet d'acquisition des connaissances sur les déplacements de l'espèce dans le fleuve Saint-Laurent (Bujold et al. en prép.).

Pour l'esturgeon jaune, nous avons vérifié si les individus marqués étaient présents sur le lieu de marquage (la frayère) dans les 96 heures suivant la relâche. Une analyse a aussi été menée sur les individus marqués en 2012 afin d'évaluer le comportement de fuite à la suite du marquage pour les deux types d'émetteurs installés. Dans un premier temps, un modèle de régression logistique avec effet aléatoire du secteur de marquage a été utilisé pour vérifier si une différence était observée dans le nombre total de présences et d'absences pour les deux types d'émetteurs sur trois périodes de temps suivant le marquage : 24 à 48 heures, 48 à 72 heures et 72 à 96 heures. Une présence était comptabilisée lorsqu'un individu était détecté à au moins une reprise durant la période visée. Lorsqu'un individu n'était pas détecté durant la période visée, une absence était comptabilisée. La période de 0 à 24 heures a été exclue des analyses, puisqu'une seule absence y a été observée, ce qui limite fortement l'utilisation du modèle de régression logistique. Dans un deuxième temps, une régression logistique avec effet aléatoire du secteur de marquage a aussi été utilisée pour évaluer la proportion de jours où l'on observe au moins une fois chaque individu marqué avec l'un ou l'autre des deux types d'émetteurs. Enfin, un modèle de

régression logistique à mesures répétées avec un effet aléatoire du lieu de marquage a été utilisé pour évaluer s'il existait une évolution temporelle de la présence et de l'absence des individus pour chaque type d'émetteur et pour déterminer s'il y avait une différence de cette évolution entre les deux types d'émetteurs.

Pour les saumoneaux, malgré le stress que peut induire le marquage par intervention chirurgicale (Jepsen et al. 2001, revu par Cooke et al. 2011), le design expérimental ne permettait pas d'évaluer dans quelle mesure ce stress pouvait influencer leur comportement migratoire.

Concernant le baret, nous avons aussi vérifié si les individus marqués étaient toujours présents sur le lieu de marquage (la frayère) pour une période de temps allant du moment de la relâche jusqu'à 96 heures après la relâche afin d'évaluer le comportement de fuite. Dans le cas où les individus afficheraient un comportement de fuite et quitteraient le site du marquage (la frayère), le nombre de jours nécessaires pour observer un retour au site a été calculé. Un test de Student a par la suite été fait afin d'évaluer si le temps écoulé avant le retour au site de marquage était différent entre les sexes.

Survie des individus et rétention des émetteurs

Il est difficile, voire impossible de déterminer pourquoi un individu cesse d'être détecté dans les jours et les mois qui suivent son marquage. Les causes les plus plausibles sont qu'un individu se trouve à l'extérieur des zones de détection, la perte de l'émetteur par l'individu, un défaut de l'émetteur qui cesse d'émettre avant la date présumée de fin de vie de la pile et, enfin, la mort de l'individu. Comme il est difficile de discriminer les raisons en cause, les individus qui ont cessé d'être détectés avant la date prévue de fin de vie de l'émetteur ont été désignés comme « disparus ». Pour qu'un individu soit considéré comme disparu, l'une ou l'autre des raisons invoquées ci-dessus devait avoir été formellement précisée. À défaut, les bars rayés, les esturgeons jaunes et les baretts qui n'avaient pas été détectés depuis une année sur l'ensemble des récepteurs déployés dans le fleuve Saint-Laurent ont été considérés comme disparus. Pour les saumoneaux, ce délai a été réduit à 50 jours, ce laps de temps correspondant à la durée de vie des émetteurs utilisés pour suivre l'espèce. Tous les individus émettant de façon continue depuis le même récepteur ont été considérés comme « morts » ou « ayant perdu leur émetteur » et ont aussi été considérés comme disparus. Il est nécessaire d'identifier les individus disparus afin d'en tenir compte dans les analyses et d'estimer le taux de survie des individus marqués.

Une analyse particulière a été menée pour les esturgeons jaunes marqués en 2012 pour déterminer si des différences étaient observées dans le taux de rétention des deux types d'émetteurs utilisés (V13 vs V16). Pour ce faire, le nombre de jours pendant lesquels les individus étaient détectés dans le fleuve Saint-Laurent en 2012, de la date de marquage à la dernière date de détection, a été utilisé. Le nombre de jours a été calculé pour chaque individu et il était indiqué s'il s'agissait de valeurs observées (p. ex., émetteur perdu par le poisson et retrouvé par l'équipe) ou censurées (p. ex., poisson toujours détecté dans le système le jour du retrait des récepteurs). Par la suite, le nombre de jours moyens et médians ainsi que le nombre minimal et maximal de

jours ont été calculés pour l'ensemble des individus portant chaque type d'émetteur. Enfin, un modèle de données censurées (modèle de Cox; Cox, 1972) a été utilisé afin d'évaluer si le risque de perdre l'émetteur était égal pour les deux types d'émetteurs.

Pour les saumoneaux, les taux de mortalité par kilomètre de rivière parcouru ont été évalués pour deux secteurs pour les deux années. Le premier secteur, long de 1,9 km, comprenait le tronçon de la rivière Jacques-Cartier, du site de relâche des saumoneaux jusqu'aux récepteurs situés près de l'embouchure de la rivière. Le deuxième secteur, long de 54,5 km, correspondait à la distance du site de relâche des saumoneaux à la pointe ouest de l'île d'Orléans.

Estimation de la position des individus

La technologie de télémétrie employée dans la présente étude ne permet pas d'obtenir directement la position géographique des individus détectés. Les récepteurs de type VR2W captent généralement les signaux émis par les émetteurs de types V8, V9, V13 et V16 dans un rayon de 500 m, plus dans des conditions optimales, mais moins dans des conditions sous-optimales. En ce qui a trait aux émetteurs de type V7, ils sont généralement captés dans un rayon de 300 m. Cela signifie que, lorsqu'un poisson est détecté par un récepteur, il peut se situer n'importe où dans un rayon de 300 ou de 500 m du récepteur qui le capte selon le type d'émetteur utilisé. Le taux de détection (nombre de signaux reçus sur nombre de signaux émis) diminue théoriquement au fur et à mesure que l'individu s'éloigne du récepteur. Pour estimer la position d'un individu, plusieurs récepteurs doivent avoir capté le signal émis par le poisson au même moment. Différentes méthodes peuvent alors être utilisées pour estimer la position géographique de l'individu à l'intérieur de la grille de récepteurs.

Estimation des positions en 2012

En 2012, les positions des individus dans le secteur du pont de l'île d'Orléans ont été estimées par une méthode d'interpolation utilisant la régression polynomiale locale (Hedger et al. 2008). Cette méthode assume que la probabilité de détection des signaux émis par le poisson diminue avec l'augmentation de la distance au récepteur et que le taux de détection de chacun des récepteurs est égal en tout temps. Ainsi, la position géographique du poisson au moment où il est détecté peut être estimée en faisant la moyenne des positions géographiques des récepteurs qui reçoivent les signaux et en la pondérant par le nombre de signaux reçus à chaque récepteur (Hedger et al. 2008).

Estimation des positions en 2013

En 2013, le système de positionnement VPS de la compagnie VEMCO a été utilisé pour estimer la position géographique des individus lorsque ceux-ci se trouvaient dans le secteur du pont de l'île d'Orléans. L'estimation des positions est basée sur la différence de temps que met le signal émis par un individu pour parvenir à au moins trois récepteurs différents qui sont synchronisés. La différence de temps observée est alors convertie en différence de distance en utilisant la vitesse de propagation du son et en assumant que l'intervalle de temps le plus court correspond

au récepteur le plus près du signal (Smith, 2013). À la suite du téléchargement, les données brutes ont été fournies à la compagnie VEMCO qui les a traitées selon cette méthode pour estimer les positions de tous les individus détectés dans la grille de récepteurs.

Estimation des positions à l'extérieur de la grille de récepteurs

Pour l'ensemble du fleuve Saint-Laurent, le déploiement des récepteurs est conçu pour détecter les individus à grande échelle dans des secteurs géographiquement éloignés et non pour estimer la position précise des individus dans ces secteurs. Ainsi, lorsqu'un individu est détecté dans l'un de ces secteurs, la position géographique du secteur est attribuée à l'individu. La position géographique du secteur est obtenue en effectuant la moyenne arithmétique de la position géographique de tous les récepteurs installés dans ce secteur. Afin d'évaluer les patrons de déplacements des individus à grande échelle dans le système du fleuve Saint-Laurent, la distance euclidienne (en kilomètres) de l'individu par rapport à un point de référence (p. ex., embouchure de la rivière Jacques-Cartier) est calculée.

Efficacité des grilles de récepteurs

Performance de la grille de 2012

La performance de la grille de récepteurs déployée dans le secteur du pont de l'île d'Orléans a été évaluée à l'aide de tracés tests menés en bateau. Afin d'évaluer l'efficacité de la grille à détecter un individu lorsque celui-ci se trouvait dans la grille de récepteurs, les signaux émis par les émetteurs tests et les signaux reçus par les récepteurs ont été comparés. La portée de détection des récepteurs a aussi été évaluée pour vérifier que la probabilité de détection des signaux était bien fonction de la distance séparant l'émetteur des récepteurs. Les tracés tests ont aussi été utilisés pour évaluer l'exactitude des positions estimées par la méthode d'interpolation des positions. Pour ce faire, la différence de distance entre la position réelle du bateau lors de l'émission du signal et la position estimée a été calculée.

Performance de la grille de 2013

La compagnie VEMCO, qui traitait les données de télémétrie de 2013, a évalué la performance de la grille de récepteurs déployée en 2013 à l'aide des signaux émis par les émetteurs de synchronisation. Le taux de signaux émis par les émetteurs et reçus par chaque récepteur a été calculé. Le pourcentage de signaux reçus par rapport au nombre de signaux attendus a aussi été calculé pour chaque paire de stations à intervalles de quatre heures afin d'évaluer la performance des stations pendant toute la durée du déploiement.

Lors du traitement des données par la compagnie VEMCO, les émetteurs de synchronisation ont été utilisés pour calculer un estimateur de l'exactitude des positions des poissons (le HPE) et des émetteurs de synchronisation eux-mêmes. Cet estimateur, sans unités, est propre à chaque design expérimental et doit être calibré pour estimer l'exactitude des positions calculées. Pour calibrer les valeurs de HPE et leur associer des unités de mesure (p. ex., mètres), les données des émetteurs de synchronisation sont utilisées. En effet, pour chaque position calculée

provenant d'un émetteur de synchronisation, le système VPS calcule aussi l'écart de distance réelle (en mètres) qui existe entre l'estimation et la position géographique connue de l'émetteur. Cette estimation se nomme le HPEm. Il est alors possible de vérifier si un lien statistique existe entre le HPE et le HPEm. Si tel est le cas, il devient possible de calibrer le HPE et de l'utiliser pour estimer l'exactitude des positions estimées pour les émetteurs des poissons.

Pour vérifier si un tel lien statistique existait pour la grille du pont de l'île d'Orléans, la méthode du 2DRMS (*twice the distance root mean square*) a été utilisée. Cette méthode permet de calculer le rayon du cercle à l'intérieur duquel se situent plus de 95 % des positions calculées. Pour chaque valeur du HPE se situant entre 1 et 150, la valeur de 2DRMS des HPEm a été calculée. Par la suite, on a vérifié si une corrélation existait entre le HPE et les valeurs de 2DRMS du HPEm. Si une telle corrélation existe, elle peut alors être utilisée pour déterminer à quelle valeur du HPE correspond un rayon maximal de 100 m autour de la position estimée. Cela permet de filtrer les données des positions estimées des poissons pour ne conserver que celles ayant une incertitude maximale de 100 m.

Déplacements et patrons d'activité

Une méthode d'analyse générale a été utilisée pour traiter les données de télémétrie des six espèces suivies dans le secteur du pont de l'île d'Orléans. Néanmoins, des analyses distinctives ont été menées pour certaines espèces afin de répondre à des objectifs précis.

Méthode générale

Pour les deux années, le nombre d'individus de chaque espèce ayant été détecté dans le secteur du pont de l'île d'Orléans a été recensé. Le nombre de jours où chaque individu était présent a aussi été compté. Par la suite, le nombre d'événements de résidence ainsi que leur durée ont été calculés pour chaque individu détecté dans le secteur du pont de l'île d'Orléans. Les événements de résidence débutaient lors de la première détection du poisson et se terminaient lorsque le poisson n'était plus détecté. Un délai maximal de 60 minutes était autorisé entre les détections successives, passé ce délai, le poisson était considéré comme ayant quitté la grille de récepteurs. L'ensemble des événements de résidence de chaque individu ont ensuite été utilisés pour calculer la durée de résidence totale par individu, la durée moyenne du temps de résidence total, la durée minimale et la durée maximale. Pour 2013, le système VPS de VEMCO a été utilisé pour évaluer l'utilisation du secteur du pont de l'île d'Orléans par les individus des espèces pour lesquelles des individus ont été détectés.

Bar rayé

En plus de la méthode d'analyse générale, une analyse des déplacements à grande échelle sur l'ensemble du fleuve Saint-Laurent a été menée pour chaque bar rayé détecté dans le secteur du pont de l'île d'Orléans. Cette analyse permet d'évaluer l'utilisation spatio-temporelle des différents secteurs du fleuve Saint-Laurent pour chaque individu ainsi que pour l'ensemble des individus. Une attention particulière a été portée à l'utilisation du chenal des Grands Voiliers et du chenal de l'île d'Orléans.

Esturgeon jaune

Toutes les analyses menées sur les esturgeons jaunes ont exclu les individus ayant perdu leur émetteur dans les 14 jours suivant le marquage. Pour les deux années, le nombre total d'esturgeons jaunes ayant été détectés dans le secteur du pont de l'île d'Orléans a été calculé. Ce nombre a ensuite été ventilé pour trois saisons en 2012 (printemps, été, automne) et quatre saisons en 2013 (printemps, été, automne, hiver). La méthode d'analyse générale a ensuite été appliquée. Dans toutes les analyses, une attention particulière a été portée aux individus en provenance de la rivière Chaudière afin d'estimer leur utilisation du secteur du pont de l'île d'Orléans.

Dans le but de vérifier si les esturgeons jaunes avaient tendance à se concentrer dans certaines zones du secteur du pont de l'île d'Orléans, une analyse de densité a été menée à l'aide du logiciel ArcGis version 10.1 en utilisant les positions géographiques estimées par le système VPS pour 2013. Pour cette analyse, la densité de positions géographiques par mètre carré a été estimée en tenant compte d'un voisinage d'un rayon de 10 m autour de chaque cellule. Par la suite, la matrice de densités par unité de surface (m²) a été projetée pour visualiser la distribution des zones de concentration. L'analyse de densité a été effectuée pour différents groupements : 1) l'ensemble des positions; 2) par saison (printemps, été, automne); et 3) pour le printemps, par statut reproducteur, certains individus participant à la fraie (individus marqués en 2013), d'autres ne frayant pas (individus marqués en 2012). Les données de positions de la saison d'échantillonnage 2012 n'ont pas été utilisées pour ces analyses, puisque la méthode d'interpolation des positions envisagée initialement ne s'est pas avérée fiable (voir p. 119).

Enfin, les données obtenues sur l'ensemble du fleuve Saint-Laurent ont été utilisées pour déterminer si les individus marqués dans le secteur du pont de l'île d'Orléans et à la rivière Chaudière appartenaient à différents contingents migratoires. Pour ce faire, une analyse de classification hiérarchique (par la méthode de Ward; Ward, 1963) a été utilisée. Cette analyse était basée sur la présence des individus dans trois grands secteurs du fleuve Saint-Laurent pour les trois saisons pendant lesquelles les récepteurs étaient déployés (printemps, été, automne). De l'amont vers l'aval, ces secteurs étaient le tronçon fluvial (du lac Saint-Louis au pont Laviolette), l'amont de l'estuaire fluvial (de Trois-Rivières au pont de Québec) et l'aval de l'estuaire fluvial jusqu'en amont de l'estuaire moyen (pont de Québec à Montmagny; Figure 76). Pour les deux années, tous les individus ayant disparu en cours d'années ont été exclus. La

statistique du pseudo-F a ensuite été utilisée pour quantifier la qualité des solutions proposées par l'analyse de classification et pour choisir la solution qui offrait l'indice de qualité le plus élevé.

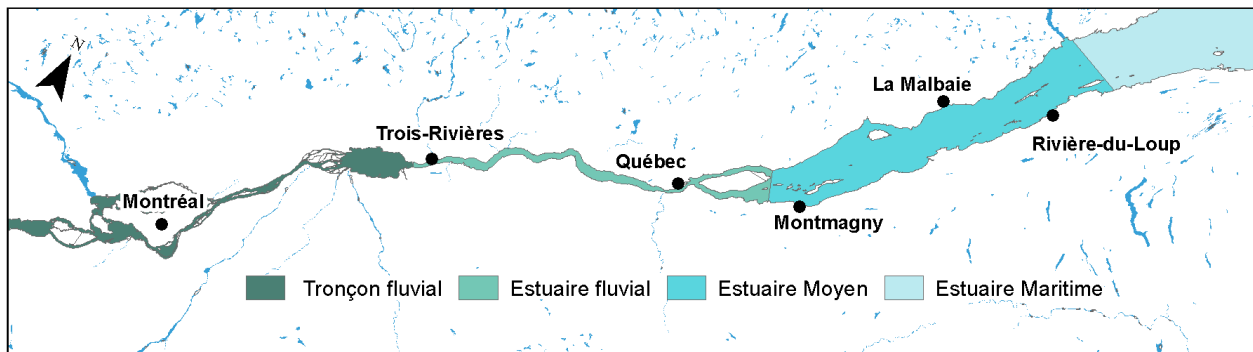


Figure 75 : Délimitations des régions hydrographiques du fleuve Saint-Laurent.

Saumoneaux du saumon atlantique

Pour les deux années, le nombre d'individus ayant été détectés dans différents secteurs de l'estuaire fluvial et de l'estuaire moyen a été calculé. Le temps de dévalaison moyen entre le moment de la relâche et l'arrivée des individus dans ces secteurs a par la suite été évalué. Le temps de dévalaison moyen a été comparé entre les deux années pour les secteurs de Donnacona (embouchure de la rivière Jacques-Cartier), du pont de l'île d'Orléans et de Beaumont (chenal des Grands Voiliers) à l'aide d'un test W de Wilcoxon. La méthode d'analyse générale a par la suite été suivie pour évaluer les événements de résidence et l'utilisation du secteur du pont de l'île d'Orléans.

Baret

Après avoir appliqué la méthode d'analyse générale, le nombre total de baretts ayant été détectés dans le secteur du pont de l'île d'Orléans a été ventilé pour trois saisons (printemps, été, automne).

Afin de vérifier si les baretts avaient tendance à se concentrer dans certaines zones du secteur du pont de l'île d'Orléans, une analyse de densité a été menée en utilisant les positions géographiques estimées par le système VPS. Pour cette analyse, la densité de positions géographiques par mètre carré a été estimée en tenant compte d'un voisinage d'un rayon de 10 m autour de chaque cellule. Par la suite, la matrice de densités par unité de surface (m²) a été projetée pour visualiser la distribution des zones de concentration. L'analyse de densité a été effectuée pour les trois saisons de suivi.

Enfin, les données obtenues sur l'ensemble du fleuve Saint-Laurent ont été utilisées pour évaluer les déplacements à grande échelle des baretts lorsque ceux-ci quittaient le secteur du pont de l'île d'Orléans. Le nombre d'individus marqués était insuffisant pour mener des analyses de contingents migratoires, mais on a vérifié qualitativement si les baretts marqués dans le secteur du pont de l'île d'Orléans affichaient un comportement de migration partielle.

Esturgeon noir

Compte tenu du moment du marquage des esturgeons noirs, la méthode générale a été modifiée. Plus précisément, le nombre total d'esturgeons noirs présents dans le secteur du pont de l'île d'Orléans a été calculé pour 2013 et ventilé pour l'été, l'automne et l'hiver, les individus ayant été marqués au début de l'été. Les événements de résidence ont été calculés tels que cela est décrit dans la méthode générale au début de la présente section.

Les données de télémétrie de l'ensemble du fleuve Saint-Laurent seront traitées ultérieurement en détail par l'équipe de Direction de la gestion de la faune du Bas-Saint-Laurent du MFFP. Cependant, afin d'évaluer la contribution du secteur du pont de l'île d'Orléans, une analyse préliminaire de l'utilisation spatio-temporelle des différents secteurs du fleuve Saint-Laurent a été menée pour chacun des individus.

Anguille d'Amérique

La méthode d'analyse générale a été appliquée aux anguilles d'Amérique marquées en 2012 et en 2013. Les déplacements à grande échelle des anguilles d'Amérique marquées en 2012 seront ultérieurement traités par l'équipe de la Direction de la gestion de la faune de l'Estrie, de Montréal, de la Montérégie et de Laval du MFFP, et ceux des anguilles marquées en 2013 le seront par l'équipe de la Direction de la gestion de la faune du Bas-Saint-Laurent.

Résultats et discussion

Efficacité des grilles de récepteurs

Grille de 2012

Tous les récepteurs de la grille déployée dans le secteur du pont de l'île d'Orléans en 2012 ont été retrouvés avec succès, à l'exception de la station PON12. Les données enregistrées à cette station n'ont donc pas pu être utilisées dans les analyses. Malgré la perte de ce récepteur, les tracés tests effectués en cours de saison ont montré que la grille de récepteurs était hautement efficace pour détecter les émetteurs présents à l'intérieur de celle-ci, et ce, dans différentes conditions de marée. Dans tous les cas, les émetteurs tests étaient détectés dans la grille de récepteurs à partir du moment où ils y pénétraient jusqu'à ce qu'ils la quittent. Cela signifie que la grille de récepteurs déployée dans le secteur du pont de l'île d'Orléans en 2012 était étanche et permettait de détecter l'ensemble des individus qui s'y trouvaient.

Dans des conditions optimales, la probabilité de détecter les signaux émis par un émetteur est fonction de la distance séparant l'émetteur du récepteur (Hedger et al. 2008). Cette prémisse est la base des méthodes d'interpolation permettant d'estimer la position d'un émetteur à l'intérieur d'une grille de récepteur. Or, les tracés tests ont révélé que cette prémisse était largement violée dans la grille de récepteurs du secteur du pont de l'île d'Orléans. De fait, la portée des récepteurs variait beaucoup d'une station à l'autre et d'une direction à l'autre. Alors que certains récepteurs captaient les signaux émis par les émetteurs dans un rayon de plus de 2 000 m, d'autres captaient

les signaux à une distance maximale d'environ 500 m seulement pour les signaux émis en aval de la station (p. ex., Figure 76, station PON02 vs station PON11). Ainsi, pour certains tronçons des tracés tests, certains récepteurs éloignés de l'émetteur avaient un taux de détection beaucoup plus élevé que les récepteurs situés près de l'émetteur, ce qui peut fortement biaiser les calculs d'estimation des positions (p. ex., Figure 76, station PON02 vs station PON09).

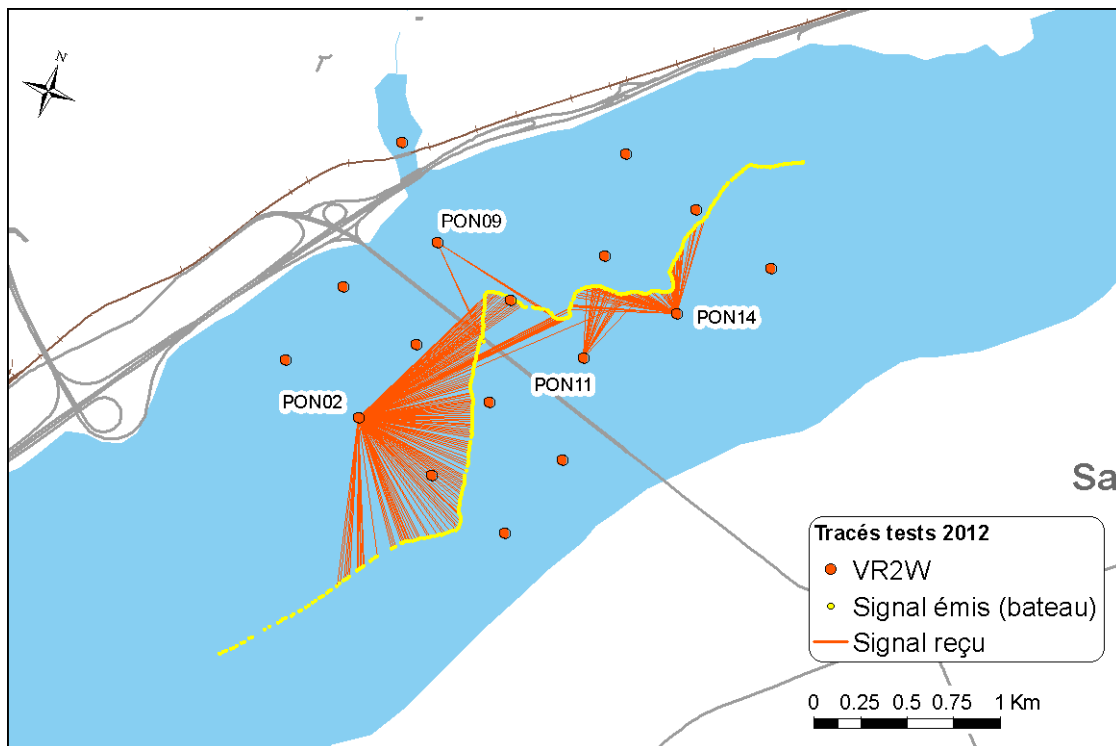


Figure 76 : Signaux émis par un émetteur test de type V13 (tracé jaune) dans le secteur du pont de l'île d'Orléans à l'étal bas et exemple du taux de réception pour 4 des 16 récepteurs (lignes orangées).

La capacité des récepteurs à capter les signaux des émetteurs était probablement influencée par des facteurs physiques tels que les courants de marée, la profondeur des récepteurs et la végétation. En effet, le secteur du pont de l'île d'Orléans est un secteur très dynamique où les marées de grandes amplitudes provoquent des inversions du courant. Ces conditions peuvent modifier la position du récepteur dans la colonne d'eau (oblique au lieu de vertical) et la capacité du son à voyager. De plus, les récepteurs installés près des rives du chenal de l'île d'Orléans se trouvaient à de plus faibles profondeurs et étaient entourés de végétation qui devenait de plus en plus dense au fur et à mesure que la saison avançait. Ces facteurs sont connus pour réduire l'efficacité de détection des récepteurs hydroacoustiques (revu par Gauld, 2014). Comme la capacité de détection des récepteurs variait beaucoup d'une station à l'autre, mais aussi d'un état de marée à un autre, cela violait la prémisse utilisée pour calculer la position géographique d'un émetteur dans la grille de récepteur du pont de l'île d'Orléans. Pour 2012, il apparaissait peu approprié de tenter d'utiliser les méthodes d'interpolation classiques, car les résultats auraient pu être hautement imprécis, l'imprécision variant énormément selon les conditions qui prévalaient. Il

a donc été décidé de ne pas procéder à l'interpolation des positions géographiques pour 2012 et d'utiliser une technologie permettant de contourner ce problème en 2013.

Grille de 2013

Tous les récepteurs de la grille déployée dans le secteur du pont de l'île d'Orléans en 2013 ont été récupérés avec succès, à l'exception de la station PON18. Néanmoins, un téléchargement des données pour cette station avait été effectué le 12 juin 2013, ce qui a permis de l'inclure dans les analyses jusqu'à cette date. En moyenne, les émetteurs de synchronisation ont été détectés à 68 884 reprises (de 13 825 à 127 496) et 67,9 % des signaux étaient reçus par au moins 3 récepteurs. Une variabilité saisonnière a été observée dans le nombre de signaux des émetteurs de synchronisation reçus par les récepteurs. En effet, le taux de détection était plus élevé au printemps, diminuait fortement à l'été et augmentait légèrement à l'automne (Figure 77).

La variabilité saisonnière des détections s'explique par les taux de détection variables pour les stations situées près des rives du chenal de l'île d'Orléans, puisque les taux de détection des stations situées au centre de la grille étaient stables d'une saison à l'autre (Figure 78). Les stations situées en périphérie sont sujettes à d'importantes fluctuations du niveau de l'eau et sont graduellement entourées de végétation au fur et à mesure que la saison progresse, ce qui explique probablement la variabilité de leur performance. Les stations PON29, PON32 et PON33 en particulier n'ont pas pu être utilisées pour les calculs permettant d'estimer la position géographique des émetteurs, car les signaux de leurs émetteurs de synchronisation étaient très mal reçus par les récepteurs environnants.

Les taux de détection pour les émetteurs installés sur des poissons étaient plus faibles que ceux des émetteurs de synchronisation. En effet, alors que 67,9 % des signaux émis par les émetteurs de synchronisation étaient détectés par au moins trois récepteurs, ce taux diminuait à 23,2 % pour les émetteurs installés sur des poissons. Cela peut probablement s'expliquer par une vitesse de nage rapide des individus marqués, la collision des signaux à certains récepteurs lorsqu'un grand nombre d'individus se trouvaient dans le secteur du pont de l'île d'Orléans et l'utilisation de la périphérie de la grille de récepteurs par les poissons. Malgré ce rendement plutôt faible, le nombre total de positions géographiques obtenu est élevé, étant de 52 466 pour la période d'avril à novembre. Au total, les positions géographiques ont pu être calculées pour 62 des 70 poissons présents dans le secteur du pont de l'île d'Orléans. Le nombre de positions géographiques variait de 1 à 5 722 positions par poisson.

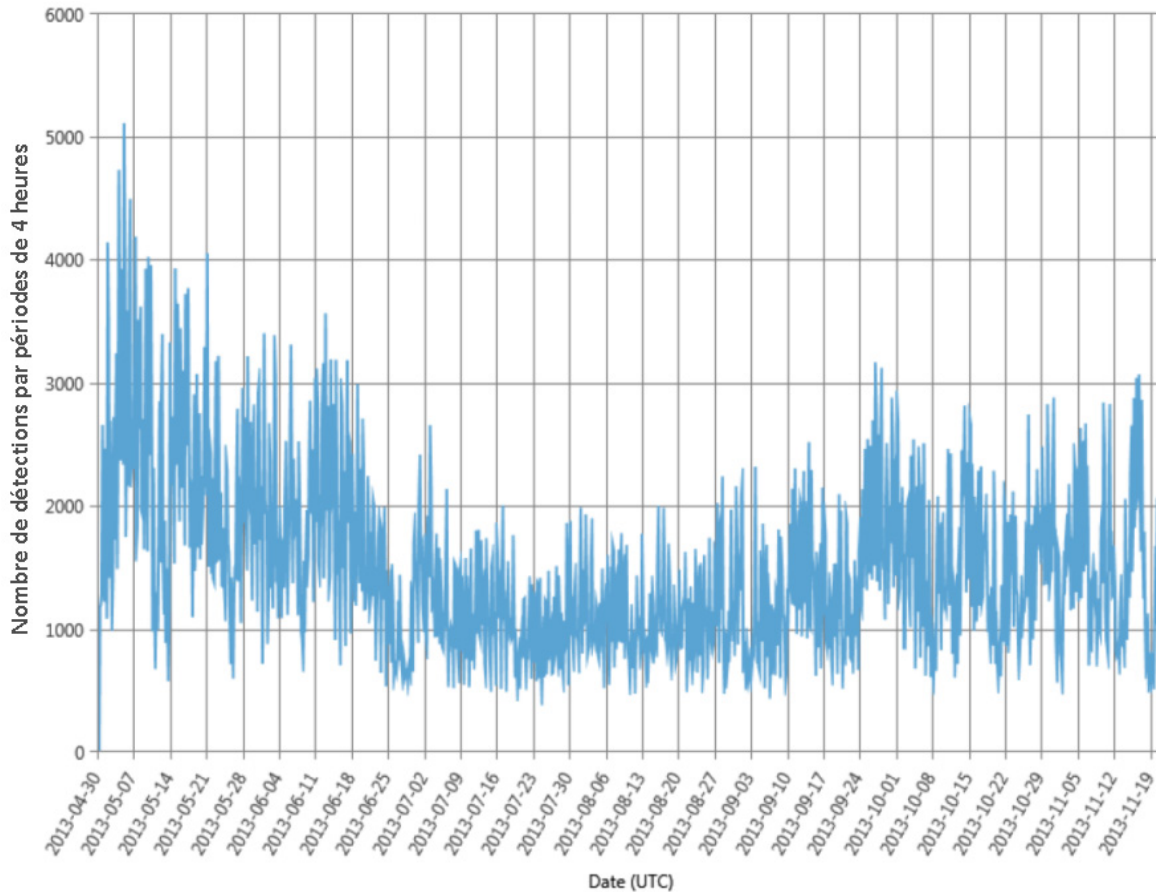


Figure 77 : Nombre de signaux émis par les émetteurs de synchronisation et reçu par les récepteurs en 2013 pendant toute la durée du déploiement de la grille. Les détections sont groupées par périodes de quatre heures.

Quant à la précision des estimations des positions géographiques, une corrélation significative a pu être établie entre le HPE et les valeurs de 2DRMS du HPEm ($R^2 = 0,53$; $P < 0,0001$). Cette corrélation a ensuite permis de prédire le rayon de précision de chacune des positions géographiques selon la formule suivante :

$$\text{Rayon (m)} = 0,9921 * \text{valeur HPE} + 5,1523$$

Les données des positions géographiques ont donc pu être filtrées avec les valeurs de HPE appropriées pour ne conserver que les positions se situant sous certains seuils d'incertitude maximale. En appliquant un seuil de $\text{HPE} \leq 100$ (environ 100 m de précision), 90 % des positions calculées sont conservées, alors qu'avec un seuil de $\text{HPE} \leq 30$ (environ 30 m), 50 % des positions sont conservées. Cela signifie que, sur l'ensemble des positions géographiques calculées, la précision est généralement élevée, 90 % des positions étant précises à moins de 100 m, ou très élevée, 50 % des données étant précises à moins de 30 m.

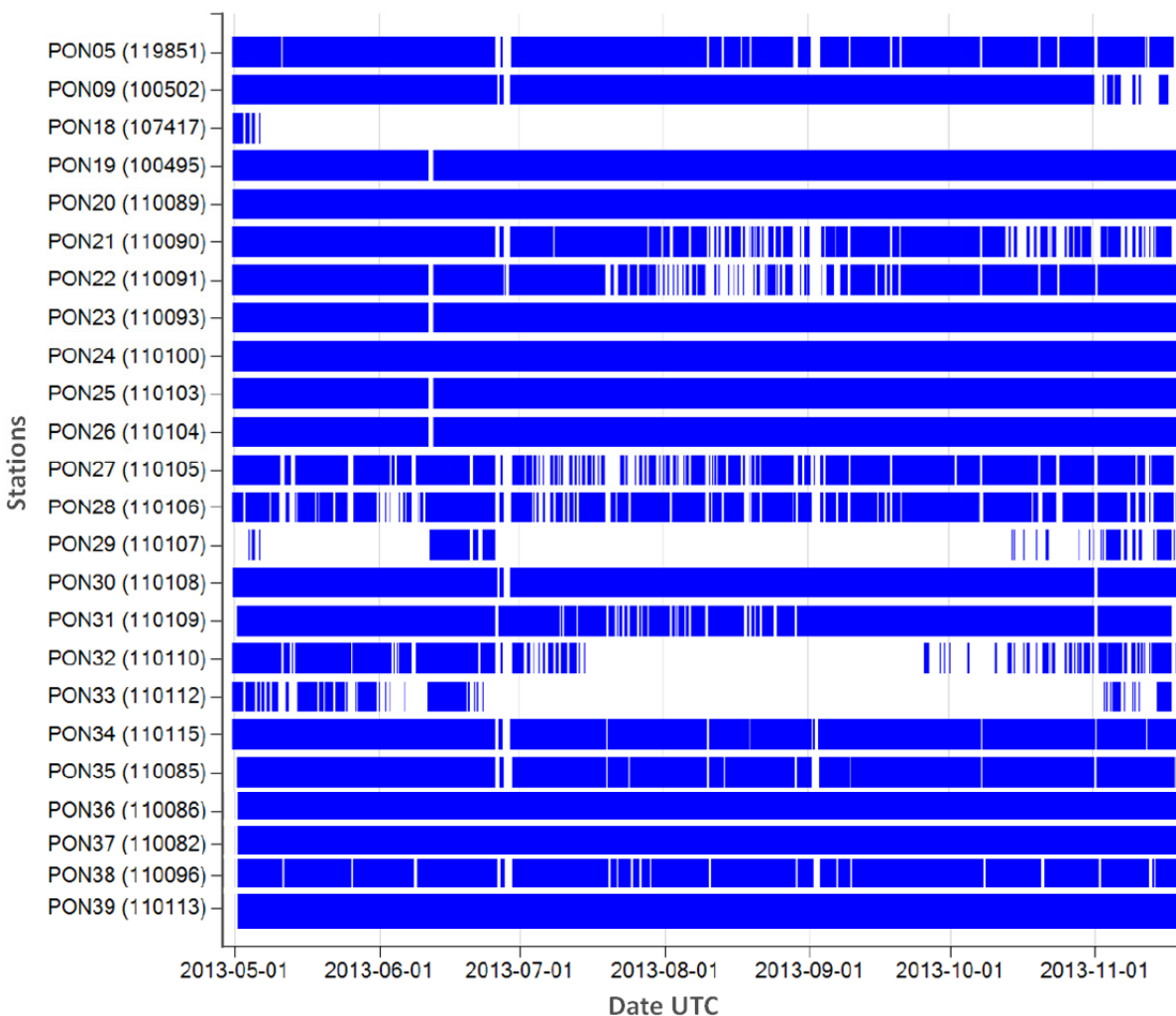


Figure 78 : Intervalles de temps pendant lesquels les émetteurs de synchronisation des différentes stations étaient détectés par au moins trois récepteurs environnants dans la grille de récepteurs déployée dans le secteur du pont de l'île d'Orléans en 2013.

De façon générale, les résultats du système de positionnement révèlent que la grille de récepteurs déployée dans le secteur du pont de l'île d'Orléans en 2013 est étanche et permet de détecter les émetteurs se situant à l'intérieur de la grille, à l'exception de ceux se situant en périphérie. De plus, le système VPS s'est aussi avéré efficace pour calculer les positions géographiques des individus avec un rayon de précision élevé. Toutefois, il apparaît que le secteur du pont de l'île d'Orléans est hautement dynamique et que la réception des signaux varie d'une station à l'autre. Cela est particulièrement vrai pour les stations situées en périphérie qui fonctionnent de façon sous-optimale. Il faut garder à l'esprit que le nombre de positions géographiques obtenues pour les zones périphériques du secteur du pont de l'île d'Orléans est probablement sous-estimé, particulièrement au cours de l'été. Malgré ces difficultés, le système de positionnement VPS de VEMCO s'avère la meilleure solution pour obtenir des données de positionnement géographique précises, puisqu'il permet de gérer plusieurs des facteurs environnementaux influençant la performance des récepteurs.

Bar rayé

Caractéristiques des individus marqués

De 2010 à 2013, 111 bars rayés matures ont été marqués avec des émetteurs de type V13 et 3 l'ont été avec des émetteurs de type V16. Seuls les individus d'une longueur totale maximale supérieure à 450 mm ont été marqués afin de s'assurer qu'il s'agissait bien d'individus matures. Selon Pelletier (2009), les individus de la population du fleuve Saint-Laurent mesurant plus de 450 mm sont matures, qu'il s'agisse de mâles ou de femelles. Les individus marqués avaient une longueur totale moyenne de 594 mm (min. : 450 mm, max. : 810 mm), alors que la masse moyenne était de 2 425 g (min. : 840 g, max. : 6 220 g; Tableau 14). Le sexe de la majorité des individus marqués était indéterminé.

Tableau 16 : Paramètres morphométriques des bars rayés, esturgeons jaunes, saumons atlantiques et barets marqués avec des émetteurs hydroacoustiques de 2010 à 2013.

Paramètre	Espèce			
	Bar rayé	Esturgeon	Saumon atlantique	Baret
Longueur totale (mm)				
Moyenne ±SE	594 ±8	1257 ±16	184 ±1	272 ±4
Minimum et maximum	450 - 810	999 - 1520	169 - 209	247 - 291
Masse (g)				
Moyenne ±SE	2425 ±113	11 673 ±641	46,5 ±1,1	403 ±20
Minimum et maximum	840 - 6220	5240 - 22 700	32,1 - 71,9	340 - 460
Facteur de condition (K)				
Moyenne ±SE	1,12 ±0,01	0,58 ±0,01	0,73 ±0,01	1,86 ±0,03
Minimum et maximum	0,87 - 1,57	0,49 - 0,78	0,62 - 0,84	1,73 - 1,94
Sexe:				
Mâle (n)	14	36	0	5
Femelle (n)	8	8	0	7
Indéterminé (n)	92	23	60	3
N^{bre} d'individus marqués				
Avant 2012 (n)	49	0	0	0
2012 (n)	25	40	30	0
2013 (n)	40	27	30	15
Total (n)	114	67	60	15

Stress induit par le marquage

À notre connaissance, aucune étude ne s'est penchée particulièrement sur l'effet du marquage chez le bar rayé, par intervention chirurgicale ou par une autre méthode. Cependant, dans le cadre du projet d'acquisition des connaissances sur les déplacements du bar rayé dans le fleuve Saint-Laurent, il a été observé que les individus marqués affichaient un comportement de fuite

vers l'aval du lieu de marquage à la suite de l'intervention (Bujold et al., en prép.). Ce comportement est probablement une conséquence du stress causé par la capture et le marquage des individus. Néanmoins, dans tous les cas, les individus reprenaient rapidement un comportement semblable à celui d'individus marqués depuis un an ou plus. Ainsi, bien que la capture et le marquage par intervention chirurgicale semblent initialement influencer le comportement des individus, cet état est temporaire (Bujold et al. 2014).

Survie

Autant pour 2012 que pour 2013, la survie des bars rayés marqués par intervention chirurgicale a été très élevée. En effet, pour la période 2012-2013, 92 % des bars rayés marqués en 2012 ont été détectés tout au long de la période de suivi, alors que le taux de détection était de 98 % pour les individus marqués en 2013. Par ailleurs, la nécropsie d'un bar rayé marqué en 2011, puis trouvé mort à la suite de sa recapture dans un filet maillant en 2012, a permis de constater que l'incision pratiquée pour l'installation de l'émetteur était bien refermée et que l'émetteur s'était correctement encapsulé dans la cavité abdominale du poisson (Figure 79). Ces résultats suggèrent que la méthode de marquage par intervention chirurgicale des bars rayés est appropriée pour suivre leurs déplacements à long terme.



Crédit photo: MFFP

Figure 79 : Nécropsie du bar rayé marqué en 2011 et capturé par filet maillant en 2012 : l'incision pratiquée pour insérer l'émetteur est refermée (gauche) et l'émetteur est encapsulé dans les tissus abdominaux (droite).

Déplacements et patrons d'activité

De façon générale, le secteur du pont de l'île d'Orléans est peu fréquenté par la population de bars rayés du fleuve Saint-Laurent qui semble essentiellement l'utiliser comme un lieu de passage entre l'estuaire moyen et l'estuaire fluvial du Saint-Laurent. En 2012, 8 individus sur 60 ont été détectés dans le secteur du pont de l'île d'Orléans, contre 14 sur 63 en 2013 (Tableau 17).

Tableau 17 : Pour 2012 et 2013, nombre de bars rayés répertoriés dans le secteur du pont de l'île d'Orléans, nombre de jours durant lesquels ils le fréquentent, nombre et durée des événements de résidence.

Année	N ^{bre} ind. présents	N ^{bre} jours présence	N ^{bre} év. résidence	N ^{bre} év. moy. résidence/ind.	Durée moyenne év. résidence (min)	Durée min.-max. év. résidence (min)
2012	8/60	15	18	2,25 ±SE 0,6	138 ±SE 19	6 - 480
2013	14/63	34	37	2,85 ±SE 0,5	140 ±SE 36	9 - 563

Les individus étaient majoritairement présents dans le secteur du pont de l'île d'Orléans au printemps, mais le fréquentaient aussi en plus petit nombre à l'automne. Ces résultats correspondent à ce qui est connu des déplacements du bar rayé dans le fleuve Saint-Laurent. En effet, chez cette population, la majorité des individus adultes demeure dans l'estuaire moyen ou se déplace vers l'estuaire maritime, alors qu'une faible proportion de l'effectif se déplace vers l'estuaire fluvial (Bujold et al. 2014). De plus, les individus qui utilisent l'estuaire fluvial s'y trouvent principalement au printemps, le désertant à l'été, puis le fréquentant quelque peu à l'automne (Bujold et al. 2014). D'ailleurs, tel que cela a été discuté dans la section sur la reproduction (voir p. 82), bien que présents dans le secteur du pont de l'île d'Orléans en période de reproduction, les bars rayés ne semblent pas s'y reproduire, mais y sont de passage vraisemblablement vers des lieux de rassemblements situés en amont.

L'analyse des données de télémétrie à fine échelle démontre clairement que les individus fréquentant le secteur du pont de l'île d'Orléans, que ce soit au printemps ou à l'automne, n'y restent que pour de courts séjours. Cela se reflète dans le faible nombre d'événements de résidence individuelle moyen qui était de 2,25 en 2012 et de 2,85 en 2013 (). De plus, le temps de résidence moyen des individus dans le secteur du pont a été estimé à 138 ±SE 19 minutes en 2012, et à 140 ±SE 36 minutes en 2013 (Tableau 17). Les tracés des parcours obtenus par le système de positionnement VPS permettent aussi d'évaluer les déplacements des individus lorsque ceux-ci se trouvaient dans les limites du secteur du pont de l'île d'Orléans en 2013. De façon générale, les parcours sont représentatifs d'individus en déplacement actif : ils sont courts, simples et linéaires (Figure 80). Certains individus ont toutefois effectué des boucles au bout desquelles ils ont repris le chemin par lequel ils étaient arrivés (Figure 80). Enfin, les bars rayés adultes ne semblent pas avoir privilégié d'habitats dans le secteur du pont de l'île d'Orléans. Ils transitent autant le long des rives nord et sud du chenal de l'île d'Orléans que par son centre. Aucune concentration de positions n'a d'ailleurs été observée (Figure 81).

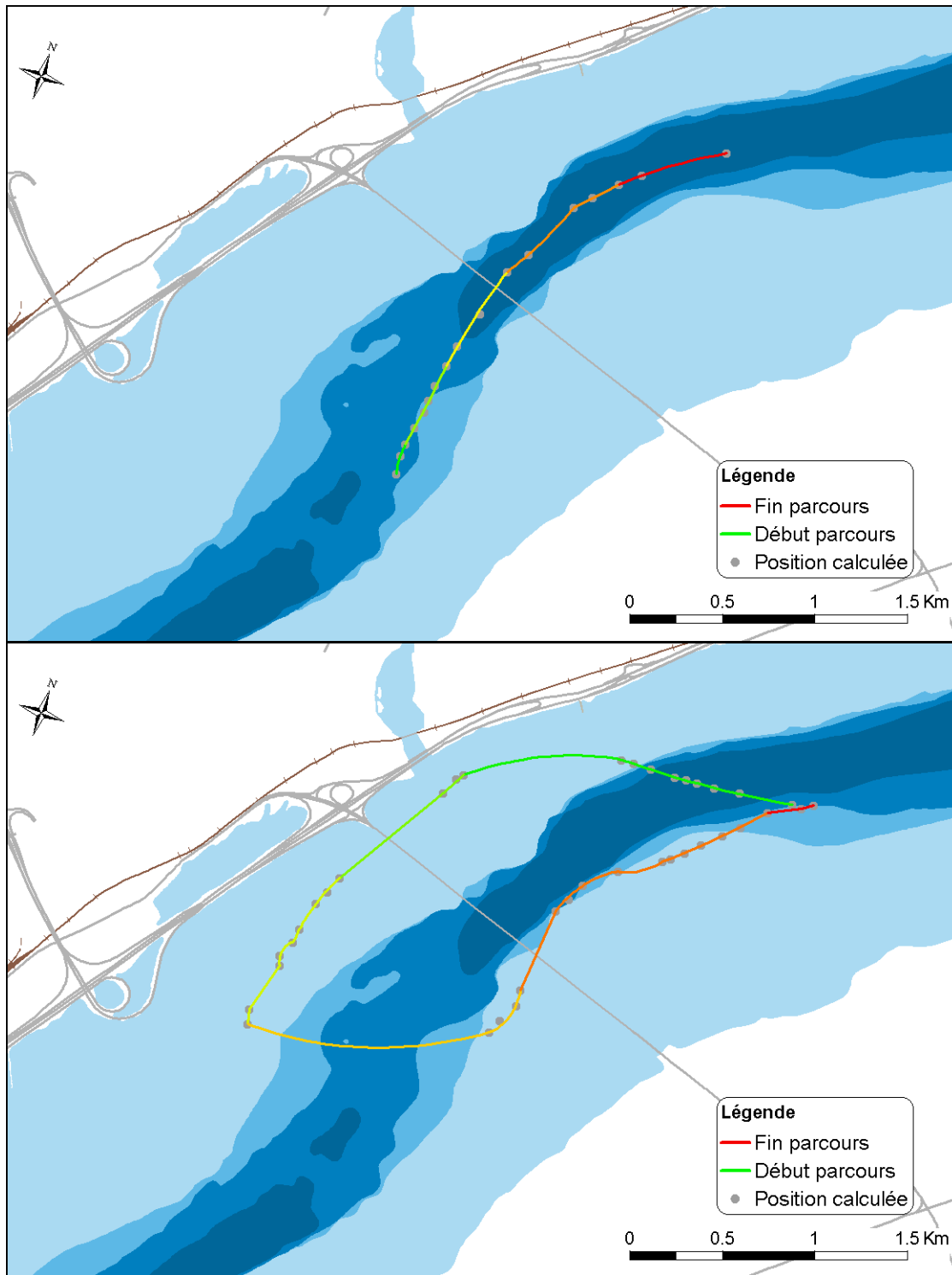


Figure 80 : Exemples d'itinéraires empruntés par les bars rayés dans le secteur du pont de l'île d'Orléans : un parcours linéaire (haut) et un parcours en boucle (bas). Le dégradé du vert au rouge représente les positions initiales (vert) vers les positions terminales (rouge).

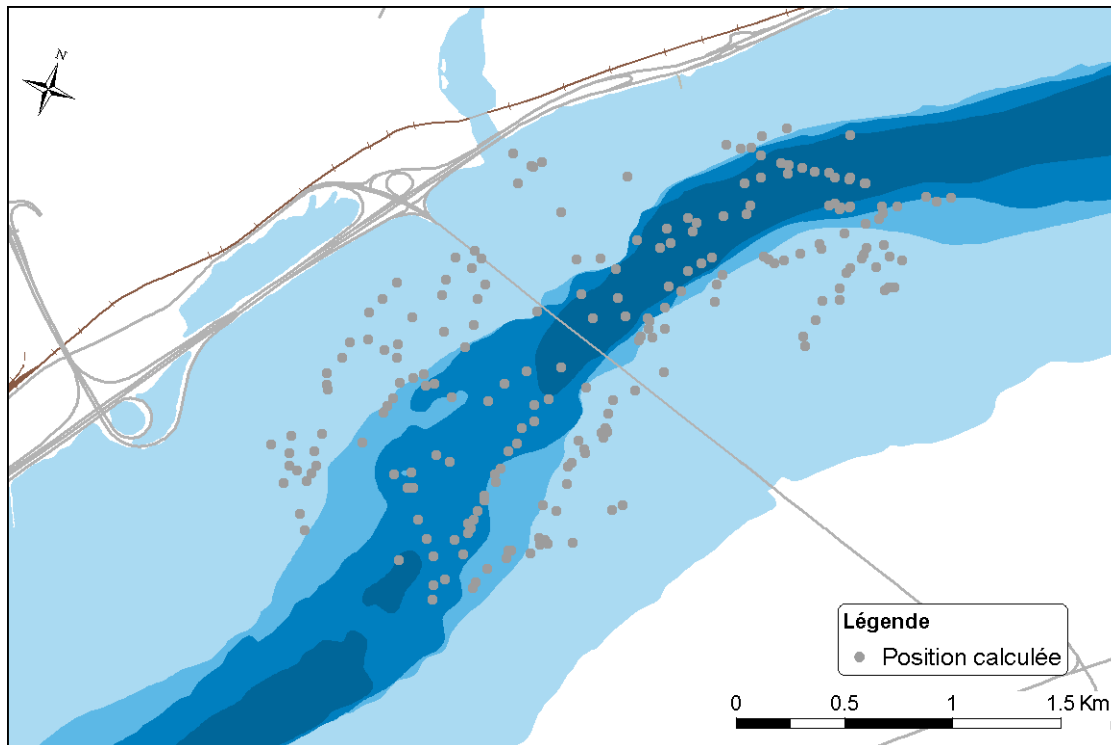


Figure 81 : Ensemble des positions géographiques calculées à l'aide du système VPS dans le secteur du pont de l'île d'Orléans.

Les données des déplacements des bars rayés à grande échelle ont permis de confirmer les observations faites à fine échelle, c'est-à-dire que les bars rayés adultes sont de passage dans le secteur du pont de l'île d'Orléans. En effet, après leur départ du secteur du pont de l'île d'Orléans, les individus sont généralement détectés rapidement aux stations situées en amont ou en aval (p. ex., Figure 82). Enfin, dans leur périple vers les secteurs amont et aval de l'île d'Orléans, les bars rayés semblent utiliser en parts égales le chenal des Grands Voiliers et le chenal de l'île d'Orléans pour leurs déplacements entre l'estuaire moyen et l'estuaire fluvial. De fait, en 2012, 25 % des individus présents dans le secteur du pont de l'île d'Orléans ont exclusivement utilisé le chenal de l'île d'Orléans, 25 % ont exclusivement utilisé le chenal des Grands Voiliers et 50 % des individus ont utilisé les deux chenaux. En 2013, les proportions sont un peu différentes avec 43 % des individus ayant exclusivement utilisé le chenal de l'île d'Orléans, 14 % ayant exclusivement utilisé le chenal des Grands Voiliers et 43 % ayant utilisé les deux chenaux. Le chenal de l'île d'Orléans semble donc un passage d'importance pour le bar rayé, puisque 75 % des individus en 2012 et 86 % des individus en 2013 l'ont utilisé pour transiter entre l'estuaire moyen et l'estuaire fluvial.

L'analyse des données de télémétrie à fine et à grande échelle met en lumière que le secteur du pont de l'île d'Orléans est avant tout un lieu de transit pour les bars rayés adultes. Bien que le temps de résidence y soit court, ce secteur pourrait représenter un lien connectif non négligeable entre les habitats de reproduction, les aires d'alimentation et les lieux d'hivernage d'un segment particulier de la population de bars rayés, soit les individus utilisant l'estuaire fluvial.

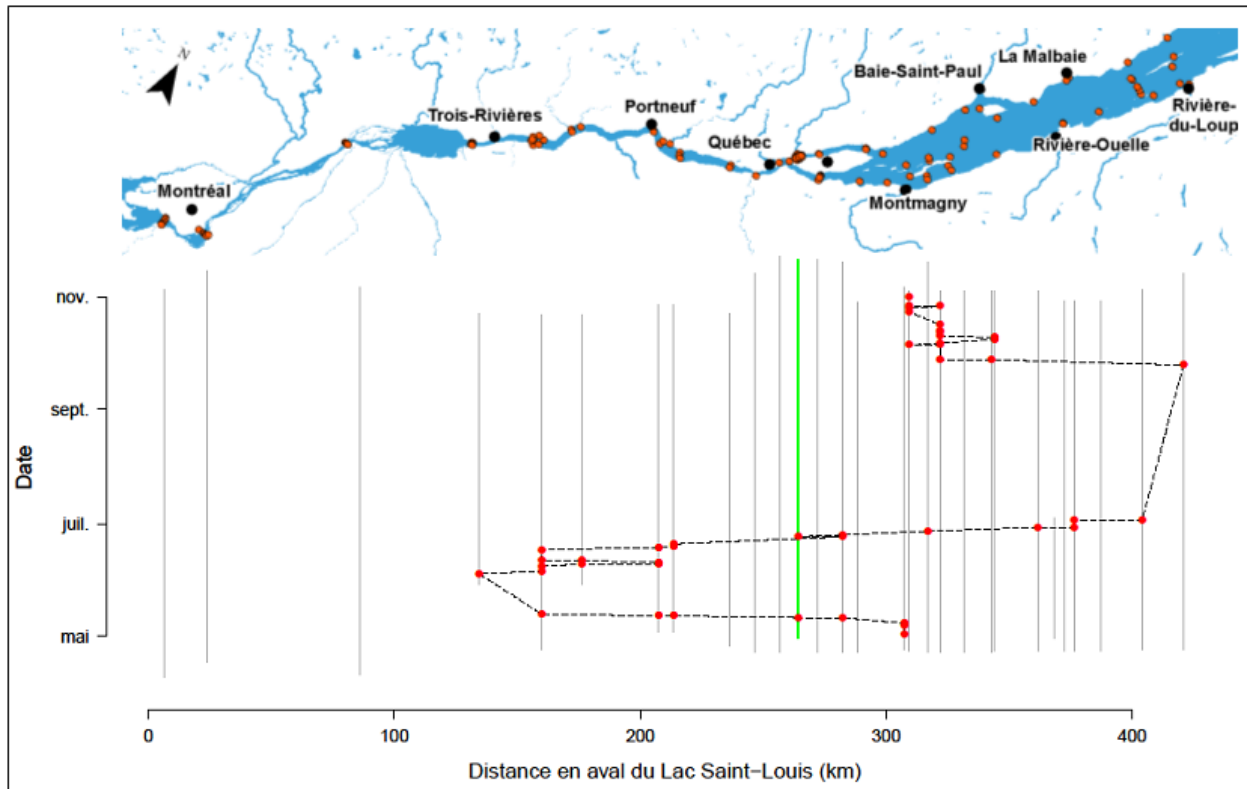


Figure 82 : Carte générale de la position des récepteurs dans le fleuve Saint-Laurent, chaque point orangé représentant un récepteur (haut) et graphique du parcours emprunté par un bar rayé ayant fréquenté le secteur du pont de l'île d'Orléans en 2013 (bas). L'axe des ordonnées représente le temps écoulé de mai à novembre, alors que l'axe des abscisses représente la distance euclidienne du fleuve Saint-Laurent à partir du lac Saint-Louis. Les lignes verticales grises représentent les récepteurs dans le temps pour les secteurs couverts. La ligne verticale verte représente précisément le secteur du pont de l'île d'Orléans. Les points rouges représentent la détection de l'individu dans l'un des secteurs et les lignes pointillées représentent les déplacements de l'individu entre les secteurs.

Esturgeon jaune

Caractéristiques des individus marqués

De 2012 à 2013, 20 esturgeons jaunes matures ont été marqués avec un émetteur de type V13 et 47 individus l'ont été avec un émetteur de type V16. Les individus marqués avaient tous une longueur totale maximale supérieure à 999 mm, ce qui correspond généralement à la taille de l'atteinte de la maturité sexuelle chez l'esturgeon jaune, et ce, chez les deux sexes (Fortin et al. 1992). La longueur totale moyenne des individus marqués était de 1 257 mm, alors que la masse moyenne était de 11 673 g (Tableau 16). Un plus grand nombre d'individus mâles que femelles ont été marqués, ce qui reflète le rapport des sexes biaisé en faveur des mâles sur les frayères d'esturgeons jaunes, là où tous les individus ont été capturés.

Stress induit par le marquage

La capture et le marquage des esturgeons jaunes dans le secteur du pont de l'île d'Orléans et dans la rivière Chaudière ne semblent pas avoir perturbé le comportement des individus, qu'ils aient été marqués avec des émetteurs externes ou internes. En effet, le modèle de régression logistique avec effet aléatoire du secteur de marquage n'a détecté aucune différence dans le nombre total de présences et d'absences pour les deux types d'émetteurs sur les trois périodes de temps d'après marquage examinées (Tableau 18). De plus, les résultats de la régression logistique avec effet aléatoire du secteur de marquage indiquent que la proportion de jours où chaque individu est observé n'est pas différente entre les individus marqués avec des émetteurs externes et ceux marqués avec des émetteurs internes (Tableau 19).

Tableau 18 : Résultats du modèle de régression logistique testant l'effet du type d'émetteur utilisé sur la présence des esturgeons jaunes marqués pour les trois périodes de temps post-marquage.

Période	Effet	Estimation	Erreur type	z	P
24-48 h	Intercept	1,63	1,01	1,62	0,106
	Modèle d'émetteur	1,34	1,27	1,05	0,292
48-72 h	Intercept	1,39	0,56	2,48	0,013
	Modèle d'émetteur	0,81	0,93	0,87	0,384
72-96 h	Intercept	1,73	0,63	2,77	0,006
	Modèle d'émetteur	-1,12	0,78	-1,43	0,154

Tableau 19 : Résultats du modèle de régression logistique avec effet aléatoire du lieu de marquage mené sur la proportion de jours où chaque individu est observé au moins une fois.

Effet	Estimation	Erreur type	z	P
Intercept	1,84	0,32	5,66	< 0,001
Modèle d'émetteur	0,11	0,47	0,23	0,82

Les résultats obtenus pour le dernier modèle de régression logistique à mesures répétées avec un effet aléatoire du lieu de marquage ont permis d'établir qu'il n'y avait pas d'effet du temps sur

la présence des individus sur les lieux de marquage, qu'il s'agisse des émetteurs internes ($F = 2,46$, $P = 0,07$) ou externes ($F = 2,91$, $P = 0,07$; Figure 83). De plus, l'effet du temps sur la présence des individus sur les lieux de marquage n'est pas différent entre les deux types d'émetteurs pour les trois périodes de temps analysées (Tableau 20). Ces résultats indiquent qu'il n'y a pas de diminution ou d'augmentation significative de la présence des individus dans le temps, qu'il s'agisse d'individus marqués avec des émetteurs externes ou internes.

Tableau 20 : Résultats du modèle de régression logistique à mesures répétées avec effet aléatoire du lieu de marquage.

Période	Valeur	Erreur type	Degré de liberté	t	P
24-48 h	-1,2	1,10	75	-1,06	0,28
48-72 h	-0,86	0,94	75	-0,91	0,36
72-96 h	1,55	0,85	75	1,82	0,07

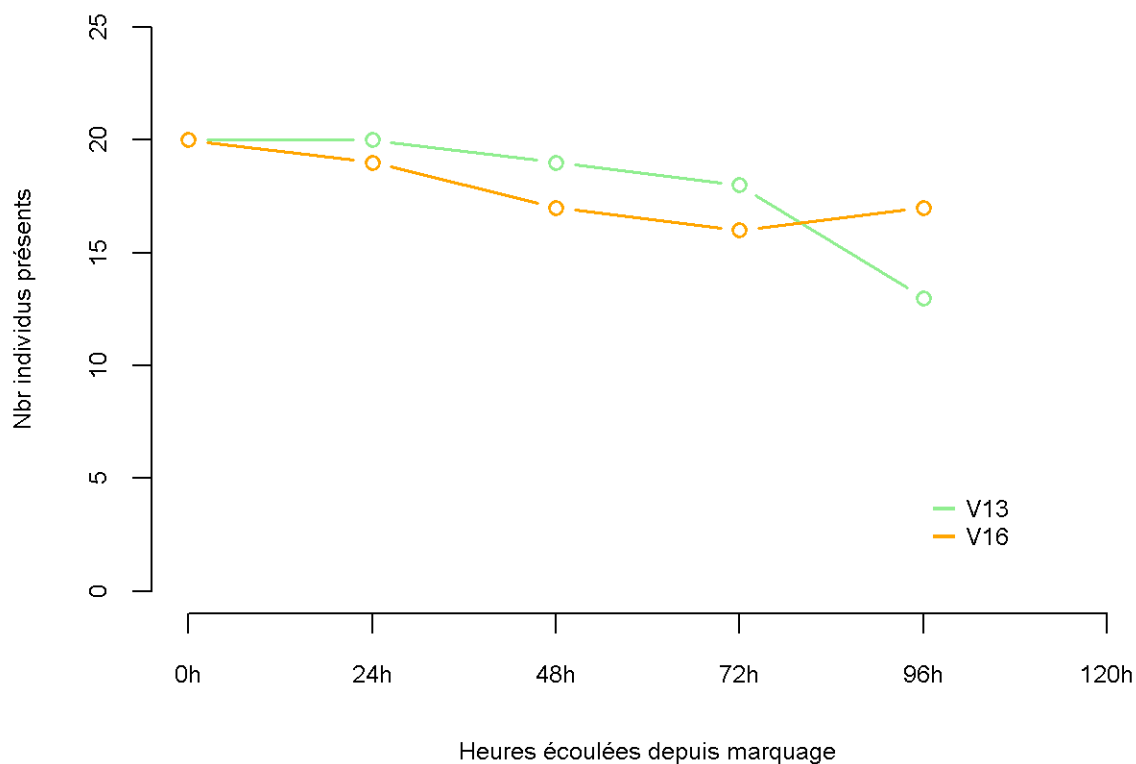


Figure 83 : Nombre d'esturgeons jaunes marqués avec des émetteurs de type V13 (internes) ou V16 (externes) et présents au lieu de marquage dans les heures suivant le marquage, en 2012.

L'ensemble de ces résultats indique clairement que, peu importe le type d'émetteur, les poissons n'ont pas présenté de comportement de fuite et sont généralement demeurés sur les sites de frai pendant 96 heures suivant le marquage. Ces résultats correspondent à ce qui est rapporté dans la littérature, c'est-à-dire que l'esturgeon jaune est un poisson tolérant au stress pouvant être

causé par la capture et le marquage (Baker et al. 2008). Bien que les concentrations des indicateurs physiologiques du stress soient élevées à la suite de la manipulation du poisson, leurs niveaux se rétablissent rapidement pour atteindre un état normal dans les trois jours suivants l'intervention chirurgicale (Baker et al. 2008). En outre, il a été démontré que plusieurs autres espèces d'acipenséridés sont tolérantes au stress provoqué par les techniques de capture et de marquage (Boone et al. 2013, Miller et al. 2014) et que ces manipulations n'entraînaient pas ou peu de modifications de leur comportement naturel (DeLonay et al. 2007, Boone et al. 2013). Il apparaît donc que les données collectées sur les sites de frai dans les jours suivant le marquage sont fiables et représentatives du comportement naturel des esturgeons jaunes en période de frai.

Survie et rétention des émetteurs

Le taux de survie des esturgeons jaunes marqués avec des émetteurs internes a été très élevé autant en 2012 qu'en 2013 avec des valeurs respectives de 19 individus sur 20 (95 %) et de 45 individus sur 46 (98 %; Tableau 21). Par contre, les individus marqués avec des émetteurs externes avaient un taux de survie nettement inférieur en 2012, soit de 9 sur 20 (45 %), mais un taux élevé en 2013, soit de 8 sur 9 (89 %) (Tableau 21).

Tableau 21 : Taux de survie des esturgeons jaunes marqués avec des émetteurs externes (V13) et internes (V16) pour les années de suivi 2012 et 2013.

Année de suivi	Type de marquage	Individus marqués 2012	Individus marqués 2013
2012	Externe	9/20	-
	Interne	19/20	-
2013	Externe	8/9	-
	Interne	18/19	27/27

L'hypothèse la plus plausible pour expliquer la différence du taux de survie entre les poissons marqués par intervention chirurgicale par rapport à ceux marqués par fixation externe est la perte des émetteurs externes après une courte période de temps. En effet, le nombre de jours minimums, moyens et médians pendant lesquels les individus ont été observés est systématiquement plus faible pour les individus munis d'émetteurs externes comparativement aux individus munis d'émetteurs internes (Tableau 22). De plus, les analyses menées avec le modèle de données censurées ont révélé que le risque de perdre l'émetteur était nettement plus élevé pour l'émetteur externe que pour l'émetteur interne (coefficient du modèle = -2,77, $P < 0,01$). Enfin, des observations faites directement sur le terrain semblent aussi confirmer cette hypothèse, puisque les émetteurs externes de deux individus ont été retrouvés dans des filets maillants quelques jours seulement après leur installation sur les poissons (individus n° 5328 et n° 5332).

Des observations similaires ont été faites chez l'esturgeon à museau court (*A. brevirostrum*) où il est apparu que les individus marqués avec des émetteurs externes avaient tendance à les perdre rapidement (de 2 à 41 jours après le marquage), soit parce que les esturgeons frottaient le site de fixation de l'émetteur contre des rochers ou parce que l'émetteur se coinçait dans des débris (Collins et al. 2002). À l'inverse, les poissons marqués avec des émetteurs internes avaient des taux de rétention et de survie de 100 %, ce qui a mené les auteurs à conclure qu'il était préférable d'utiliser les émetteurs internes pour des études de longue durée (Collins et al. 2002). Néanmoins, dans une étude portant sur l'esturgeon sibérien (*A. baeri*), le taux de rétention d'émetteurs internes sur une période d'environ un an était de 68 %, les émetteurs étant perdus soit par le site d'incision, soit par l'anus (Boone et al. 2013). Dans la présente étude, le taux de survie est de 95 % ou plus. Cela indique que la survie des individus marqués par intervention chirurgicale et le taux de rétention des émetteurs sont très élevés. Ces résultats indiquent clairement que, chez les esturgeons jaunes matures, le marquage par intervention chirurgicale est préférable au marquage externe, puisque cette technique maximise à la fois le taux de survie des individus et la rétention des émetteurs.

Tableau 22 : Statistiques descriptives du nombre de jours pendant lesquels chaque individu a été détecté en 2012, selon le type de marquage. Les variables « nombres observés » et « nombres censurés » indiquent pour combien d'individus le nombre de jours correspond à une donnée observée ou à une donnée censurée.

Marquage	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Nbres observés	Nbres censurés
Externe (V13)	2	184	64,8 (\pm SE 16,0)	15	11	9
Chirurgie (V16)	31	182	132,2 (\pm SE 8,5)	142	1	19

Déplacements et patrons d'activité

Pour 2012, en excluant les individus ayant perdu leur émetteur dans les jours suivants le marquage, 30 individus ont été détectés dans le secteur du pont de l'île d'Orléans en moyenne à $44 \pm$ SE 15 reprises, alors que, en 2013, 36 ont été présents à en moyenne $55 \pm$ SE 12 reprises. La durée totale moyenne du temps de résidence des individus était de $217,1 \pm$ SE 72,0 heures en 2012 (de 2,5 à 1 267,3 heures) et de $300,3 \pm$ SE 62,7 en 2013 (de 20,1 à 1 538,8 heures). L'analyse des données de télémétrie pour les deux années de suivi montre que certains individus occupent le secteur du pont de l'île d'Orléans de façon quasi continue, alors que d'autres esturgeons ne sont présents que lors de certaines périodes plus ou moins longues (Figure 84 et Figure 85).

Le printemps est la période de l'année où le secteur du pont de l'île d'Orléans est le plus achalandé avec 29 des 30 individus en 2012 et 31 des 36 en 2013. Ces estimations sont toutefois probablement surestimées par le fait que plusieurs individus avaient été marqués sur ce site

même pendant cette saison. Néanmoins, il est clair que le secteur du pont de l'île d'Orléans est un lieu très fréquenté par les esturgeons jaunes matures au printemps à cause de la frayère de la rivière Montmorency (voir p. 82).

Après la période de frai, plusieurs individus quittent le secteur du pont de l'île d'Orléans. Certains n'y reviennent plus au cours des autres saisons, alors que d'autres y sont de retour à l'automne, mais n'y sont que de passage. L'été semble être la saison la moins fréquentée par l'esturgeon jaune avec 8 individus sur 30 en 2012 et 16 sur 36 en 2013. Plusieurs des individus présents au cours de l'été sont des résidents à l'année du secteur du pont de l'île d'Orléans ou des résidents saisonniers qui quittent le secteur l'automne venu, alors que les autres semblent de passage (Figure 84 et Figure 85). À l'automne, la très grande majorité des individus quittent le secteur du pont de l'île d'Orléans avant l'hiver, alors qu'une faible minorité persiste sur le site jusqu'au printemps suivant (2 sur 36 en 2013).

Les données VPS obtenues en 2013 ont révélé que, lorsque les esturgeons jaunes se trouvent dans le secteur du pont de l'île d'Orléans, ils ont tendance à se concentrer dans deux zones distinctes. L'une de ces deux zones se situe en amont du pont de l'île d'Orléans, sur le côté sud du chenal, l'autre se situe en aval de l'embouchure de la rivière Montmorency, sur le côté nord du chenal (Figure 86). La zone amont semble particulièrement utilisée au printemps, à la fois par les reproducteurs et les non-reproducteurs (Figure 87). Au printemps, alors que les individus non reproducteurs semblent se cantonner particulièrement à la zone amont, les individus reproducteurs se concentrent aussi dans la zone aval, avec une densité de positions importantes dans le secteur de la frayère de la rivière Montmorency. Au cours de l'été et de l'automne, autant les reproducteurs du printemps que les non-reproducteurs ne semblent plus utiliser les abords directs de la frayère. Pendant l'été et l'automne, les esturgeons jaunes semblent préférer le secteur aval, mais utilisent aussi, dans une moindre mesure, le secteur amont (Figure 88). À première vue, les zones de concentration se situent dans des strates de profondeur similaires, cependant il faudra attendre le résultat des analyses menées avec le modèle numérique de terrain pour évaluer pleinement les caractéristiques physiques des zones de concentration des esturgeons jaunes.

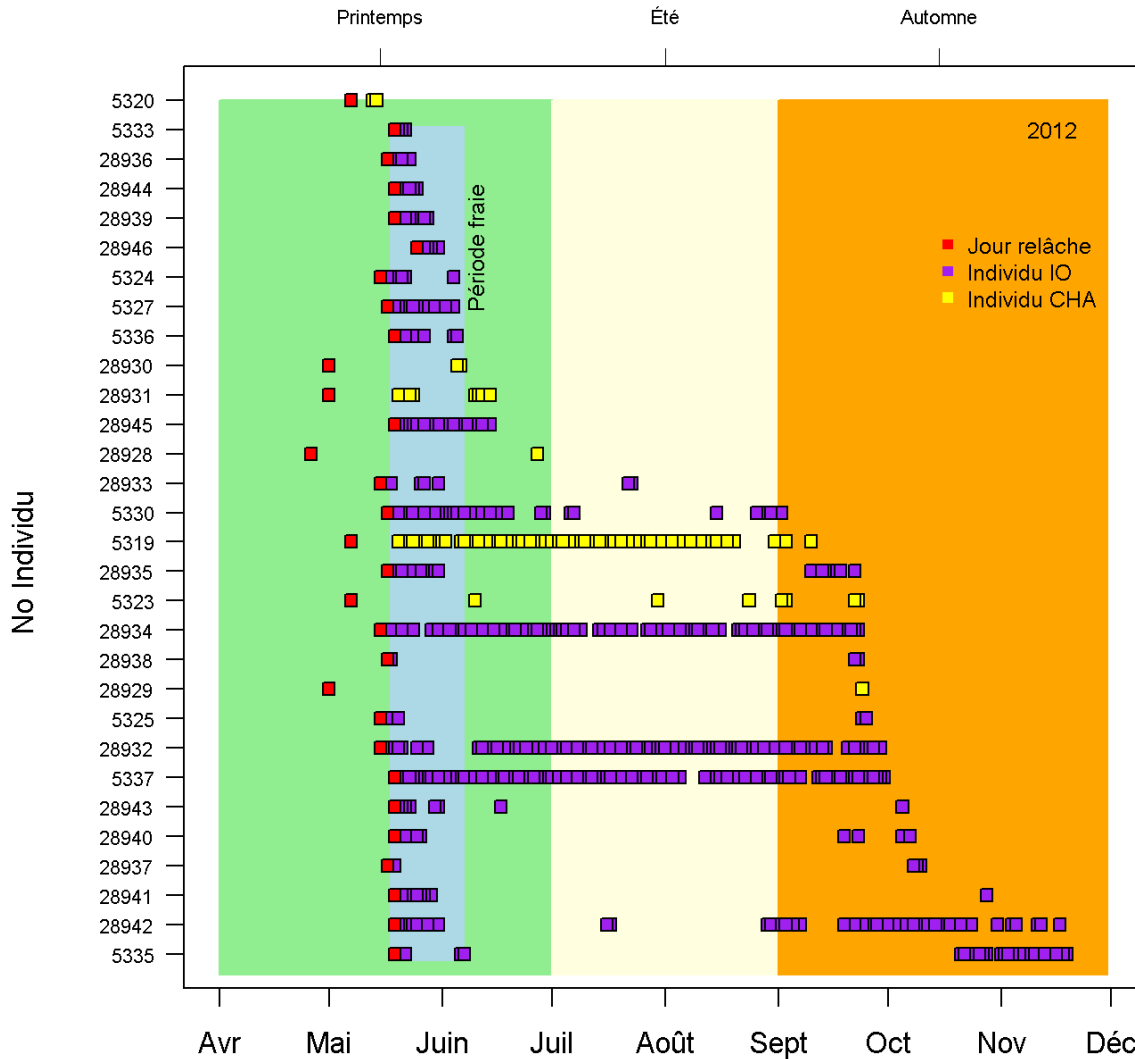


Figure 84 : Évolution temporelle de la présence des esturgeons jaunes dans le secteur de l'île d'Orléans en 2012. La surface verte représente la période du printemps, la surface jaune pâle l'été et la surface orangée l'automne. Chaque ligne horizontale représente un individu marqué dans le secteur du pont de l'île d'Orléans (IO) ou dans le secteur de la rivière Chaudière (CHA). Les carrés rouges représentent la journée où les individus ont été marqués, les carrés mauves représentent les journées pour lesquelles les individus IO étaient présents, alors que les carrés jaunes représentent les journées pour lesquelles les individus CHA l'étaient. Les individus ayant perdu leur émetteur dans les jours suivant le marquage ont été exclus de l'analyse.

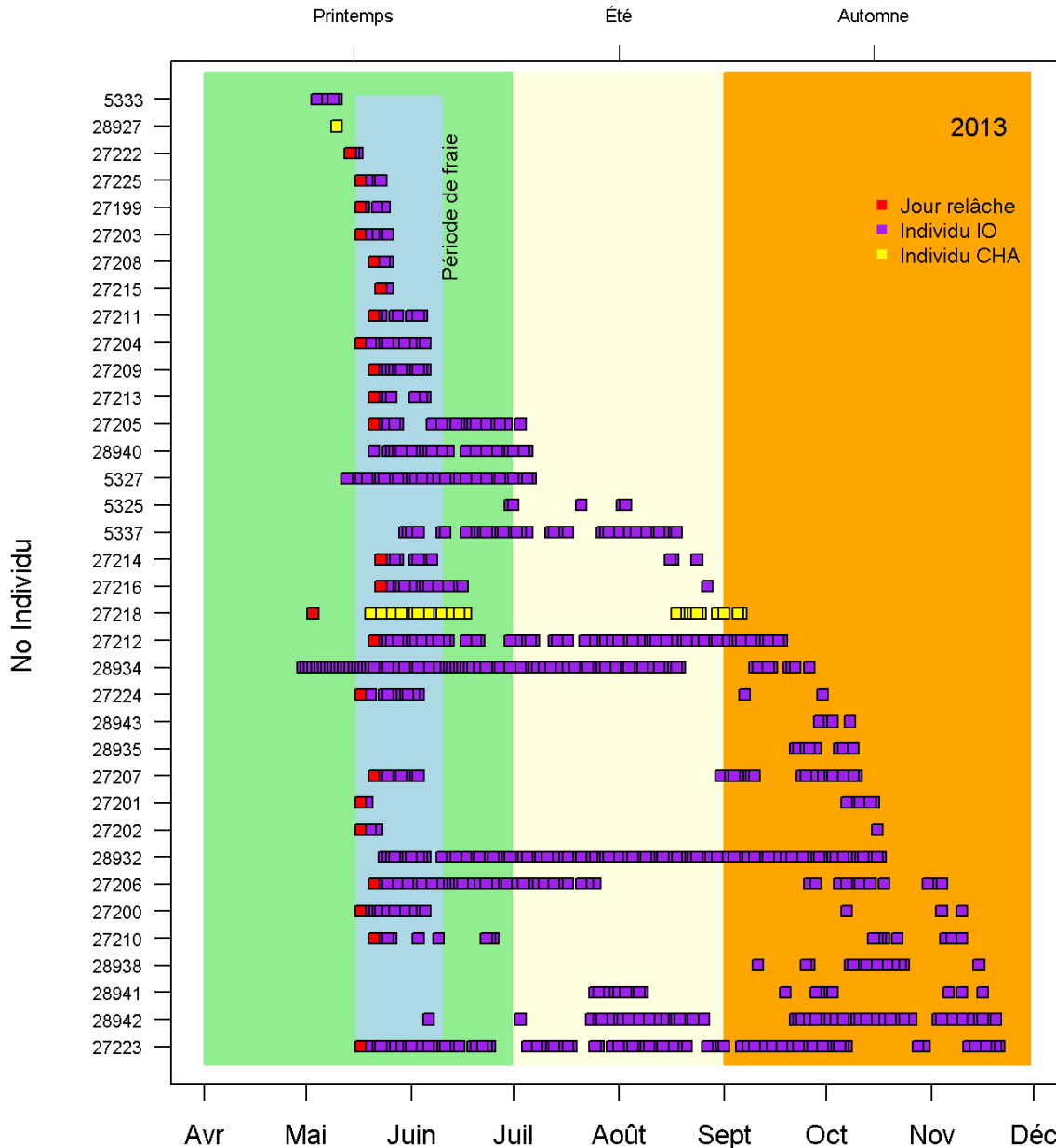


Figure 85 : Évolution temporelle de la présence des esturgeons jaunes dans le secteur de l'île d'Orléans en 2013. La surface verte représente la période du printemps, la surface jaune pâle, l'été et la surface orangée, l'automne. Chaque ligne horizontale représente un individu marqué dans le secteur du pont de l'île d'Orléans (IO) ou dans le secteur de la rivière Chaudière (CHA). Les carrés rouges représentent la journée où les individus ont été marqués, les carrés mauves représentent les journées pour lesquelles les individus IO étaient présents, alors que les carrés jaunes représentent les journées pour lesquelles les individus CHA l'étaient.

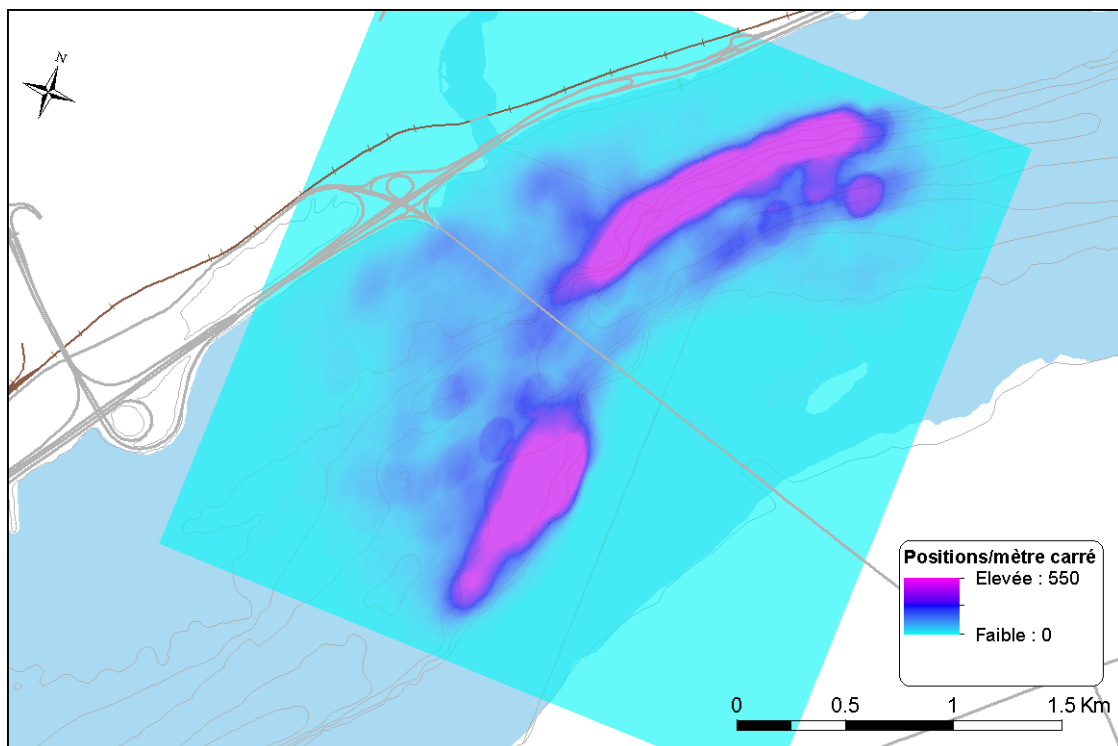


Figure 86 : Zones de concentration des positions géographiques d'esturgeons jaunes calculées par le système VPS en 2013 (nombre de positions par mètre carré) dans le secteur du pont de l'île d'Orléans.

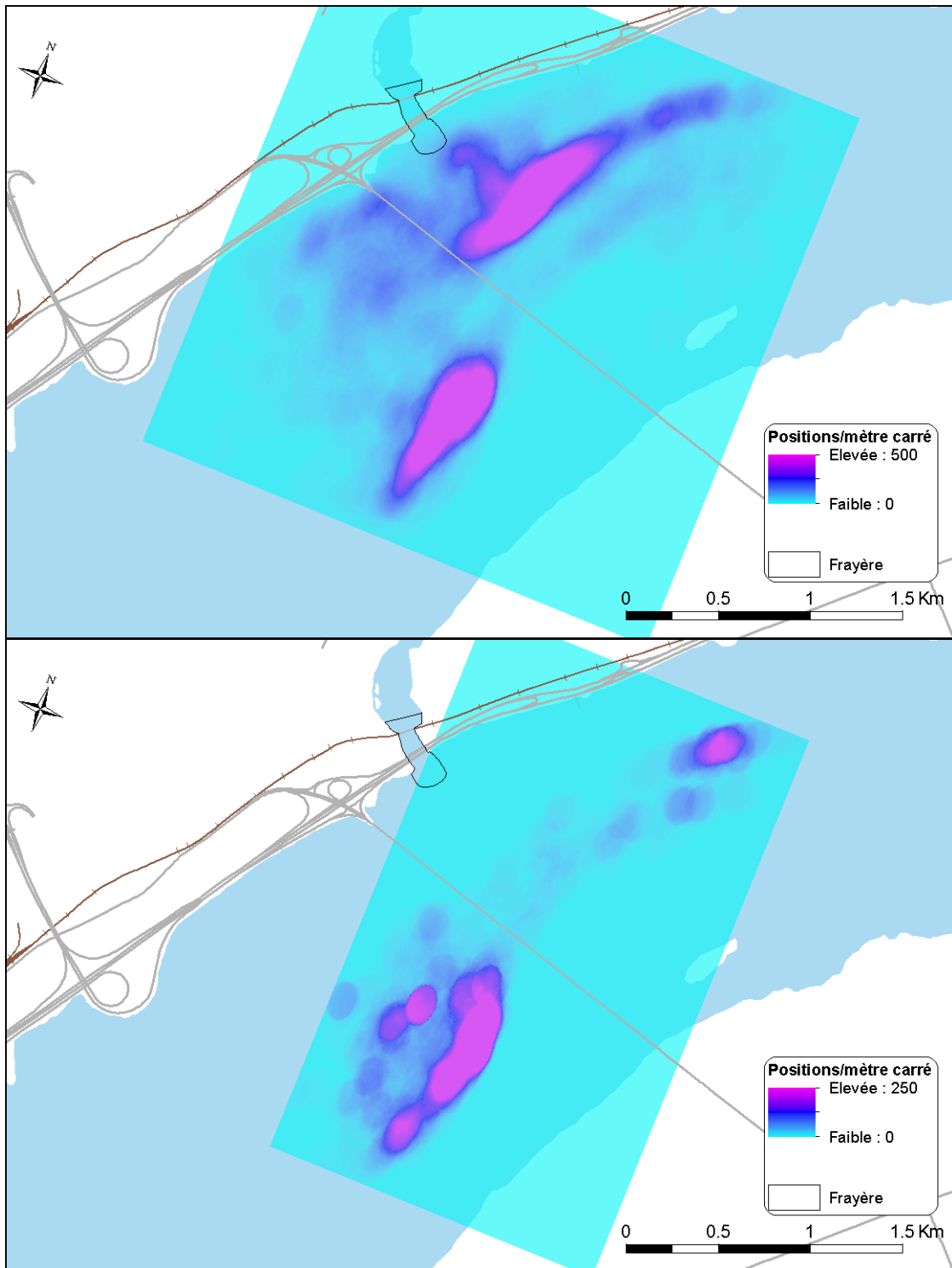


Figure 87 : Zones de concentration des positions géographiques calculées par le système VPS au printemps 2013 (nombre de positions par mètre carré) dans le secteur du pont de l'île d'Orléans pour les esturgeons jaunes reproducteurs (haut) et non reproducteurs (bas).

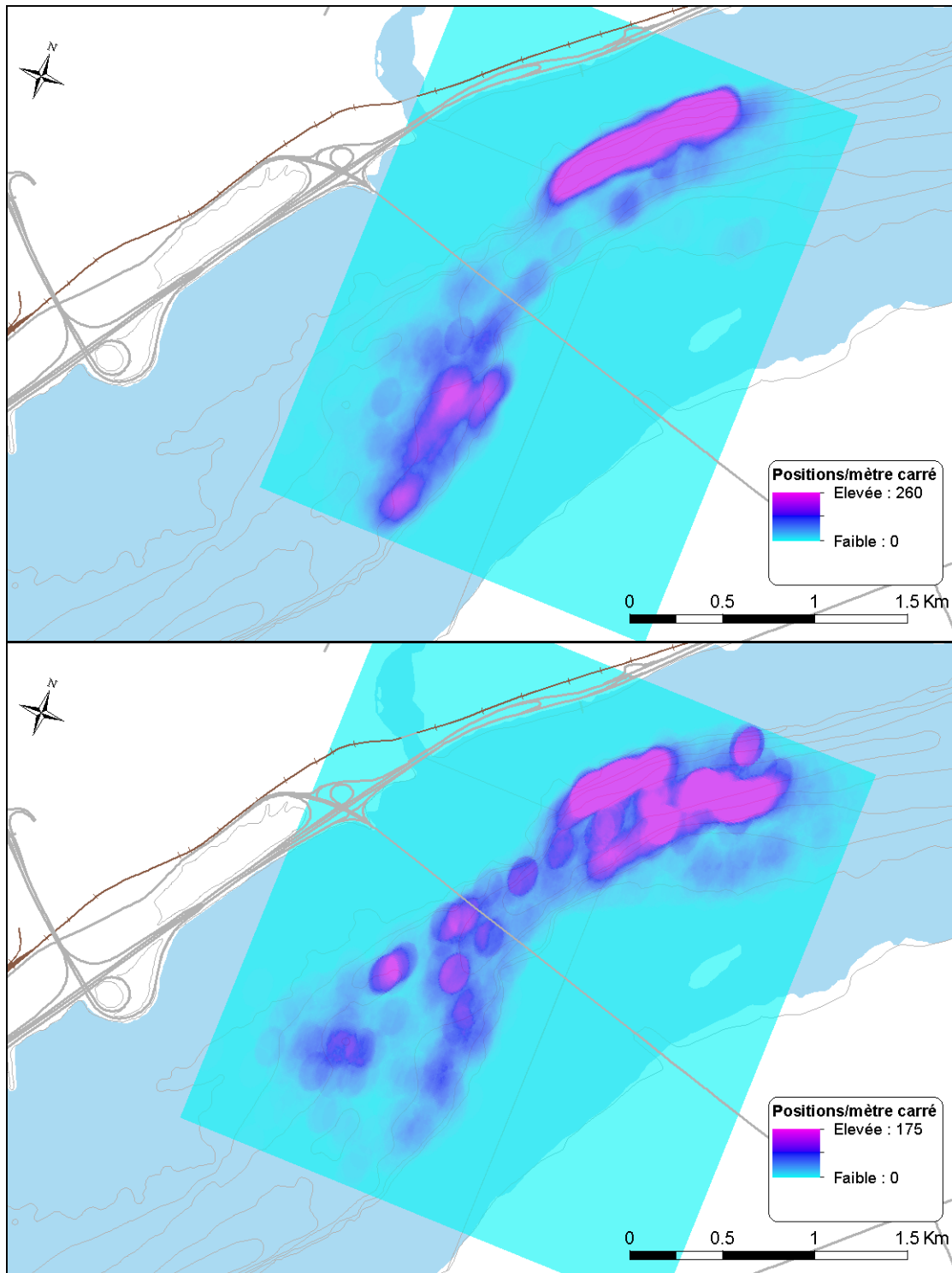


Figure 88 : Zones de concentration des positions géographiques d'esturgeons jaunes calculées par le système VPS en 2013 (nombre de positions par mètre carré) dans le secteur du pont de l'île d'Orléans à l'été (haut) et à l'automne (bas).

Lorsque les esturgeons jaunes sont absents du secteur du pont de l'île d'Orléans, certains individus se trouvent à proximité, soit de l'aval de l'estuaire fluvial à l'amont de l'estuaire moyen

(du pont de Québec à Montmagny), alors que d'autres quittent définitivement la région de Québec vers l'amont. Ces derniers sont détectés soit en amont de l'estuaire fluvial, entre le pont de Québec et le pont Laviolette, soit dans le tronçon fluvial, entre le pont Laviolette et le lac Saint-Louis (Figure 75). L'analyse des données de télémétrie obtenues sur l'ensemble du fleuve Saint-Laurent pour 2012 et 2013 ont permis d'établir que les esturgeons jaunes marqués dans le secteur du pont de l'île d'Orléans et à la rivière Chaudière appartenaient à trois contingents migratoires différents. En effet, l'indice du pseudo-F était le plus élevé pour un nombre de classes égal à 3 ou supérieur à 25 (Figure 89). Dans ce cas-ci, le nombre de 3 classes représente bien les contingents migratoires, alors que les nombres de classes supérieurs à 25 représentent essentiellement la variabilité interindividuelle.

Les trois contingents migratoires identifiés ont été nommés selon les secteurs visités par les individus et le moment de leurs déplacements, soit les contingents de : 1) résidents; 2) migrants saisonniers; 3) migrants de frai. Le contingent d'individus résidents se caractérise par une présence continue des individus dans la section aval de l'estuaire fluvial et amont de l'estuaire moyen, soit du pont de Québec à Montmagny. Ces individus fréquentent ce secteur durant toute l'année et y accomplissent la totalité des activités de leur cycle vital, soit le frai, l'alimentation et l'hivernage (p. ex., Figure 90, Tableau 23).

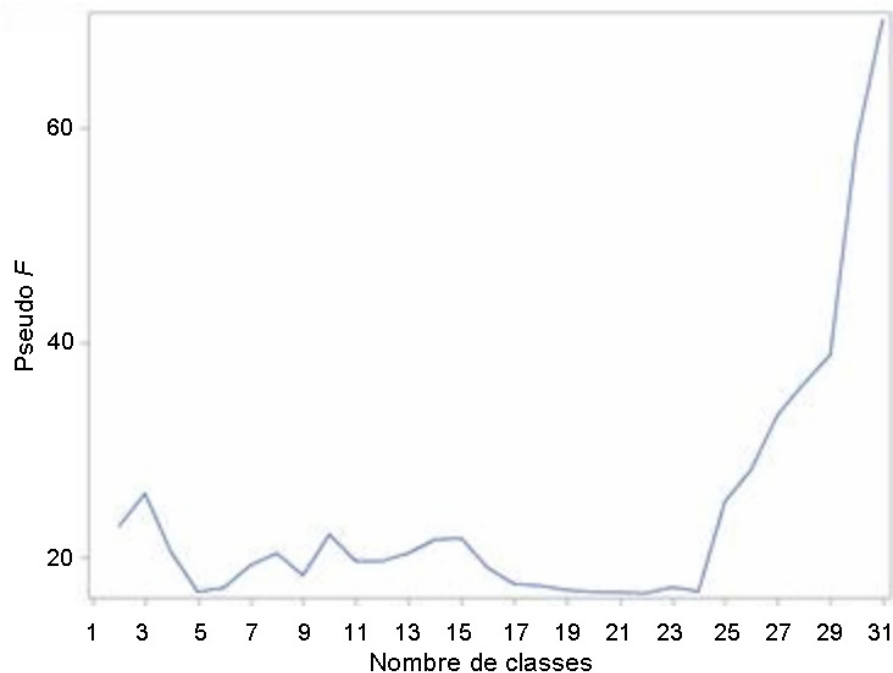


Figure 89 : Statistiques du pseudo-F obtenues permettant de comparer la qualité des solutions (nombre de classes) obtenues lors de l'analyse de classification.

Le contingent d'individus résidents saisonniers fréquente l'aval de l'estuaire fluvial et l'amont de l'estuaire moyen pour la fraie et l'alimentation du printemps à l'automne, mais hiverne dans la partie amont de l'estuaire fluvial ou le tronçon fluvial (du pont de Québec au lac Saint-Louis; p.

ex., Figure 91, Tableau 23). De ce fait, ces individus fréquentent le tronçon fluvial et l'aval de l'estuaire fluvial au printemps et à l'automne, mais y sont rares sinon absents au cours de l'été. De façon générale, la migration entre les lieux d'hivernage situés en amont et les lieux d'alimentation et de reproduction situés entre l'aval de l'estuaire fluvial et l'amont de l'estuaire moyen est rapide. Enfin, le contingent d'individus migrateurs semble fréquenter l'aval de l'estuaire fluvial seulement pour le frai, puisque, une fois la période de reproduction terminée, les individus quittent rapidement l'amont de l'estuaire fluvial et pour se diriger vers le tronçon fluvial où ils semblent demeurer (p. ex., Figure 92, Tableau 23).

Pour les esturgeons jaunes marqués en 2012, il a été possible d'établir que l'appartenance d'un individu à un contingent migratoire était stable dans le temps, les patrons de déplacements de 2012 et de 2013 étant très semblables sinon identiques. Néanmoins, plusieurs des individus du contingent migrateur qui sont remontés jusqu'au lac Saint-Louis n'ont pas été aperçus en aval par la suite. Dans les prochaines années, il sera hautement pertinent de vérifier si la cyclicité des déplacements vers l'aval jusqu'aux rivières Montmorency et Chaudière correspond bel et bien à la cyclicité de reproduction de l'espèce.

Tableau 23 : Proportion d'esturgeons jaunes de chaque contingent migratoire présents dans différents secteurs du fleuve Saint-Laurent au cours du printemps, de l'été et de l'automne. Les cases jaunes représentent les occurrences les plus fortes pour chaque section du fleuve selon le contingent migratoire.

Secteurs	Saisons	Résidents	Migrateurs saisonniers	Migrateurs de frai
Tronçon fluvial (Montréal à Trois-Rivières)	Printemps	0,00	0,31	0,50
	Été	0,00	0,04	0,21
	Automne	0,00	0,88	0,14
Estuaire fluvial (Trois-Rivières à Québec)	Printemps	0,00	0,38	0,86
	Été	0,05	0,19	0,57
	Automne	0,28	0,96	0,29
Aval estuaire fluvial et amont estuaire moyen (Québec à Montmagny)	Printemps	0,97	1,00	0,93
	Été	0,85	0,73	0,14
	Automne	0,79	0,81	0,00

*Un même individu peut avoir été observé dans plus d'un tronçon au cours d'une même saison.

Les résultats des analyses effectuées sur les déplacements des esturgeons jaunes obtenus à différentes échelles spatiales apportent de nouvelles connaissances sur les mouvements de cette espèce dans le fleuve Saint-Laurent. En effet, jusqu'à tout récemment, on croyait que les esturgeons jaunes du fleuve Saint-Laurent étaient principalement sédentaires et que les individus effectuaient des migrations seulement dans le but d'atteindre les aires de frai (revu par Dumont et Mailhot, 2013). Les données de télémétrie de la présente étude révèlent plutôt un comportement de migration partielle chez la population d'esturgeons jaunes du fleuve Saint-Laurent, tel qu'il a été observé pour d'autres populations de cette espèce (revu par Peterson et al. 2007 et par Kerr et al. 2010, Dery 2012). De plus, il apparaît que les individus des trois

contingents migratoires utilisent le secteur du pont de l'île d'Orléans pour des raisons variées. Alors que certains y résident en continu, d'autres l'utilisent de façon saisonnière à la fois pour la reproduction et l'alimentation. D'autres individus semblent aussi fréquenter ce secteur seulement pendant la période de reproduction, alors que d'autres semblent l'utiliser comme un lieu de passage entre les aires d'hivernage et d'alimentation.

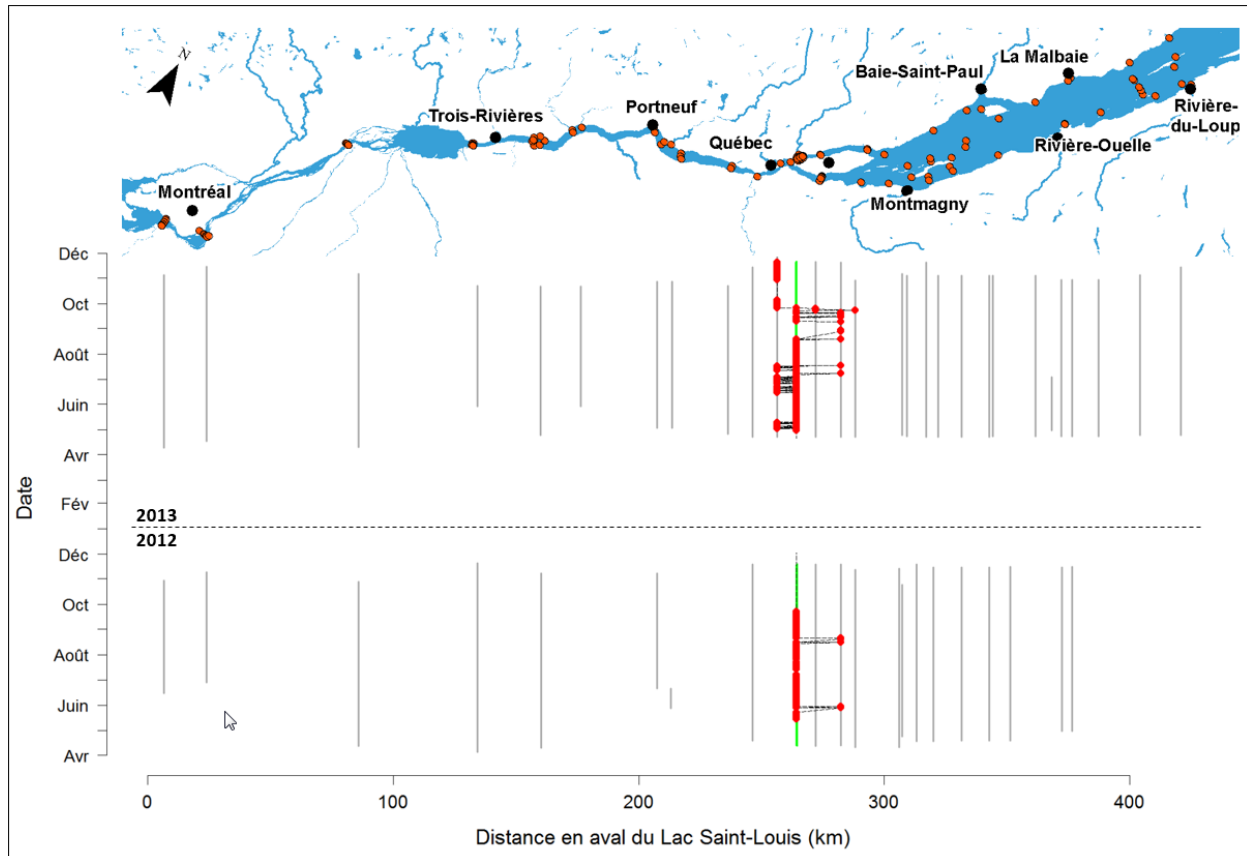


Figure 90 : Carte générale de la position des récepteurs dans le fleuve Saint-Laurent, chaque point orangé représentant un récepteur (haut) et graphique du patron de déplacement d'un esturgeon jaune sédentaire marqué dans le secteur du pont de l'île d'Orléans en 2012 (n° 28934) et suivi en 2012 et 2013 (bas). L'axe des ordonnées indique le temps écoulé. L'axe des abscisses représente la distance linéaire du fleuve Saint-Laurent depuis le lac Saint-Louis. Les lignes verticales grises représentent l'emplacement et la période de déploiement des récepteurs de chaque secteur du fleuve couvert. La ligne verticale verte représente précisément le secteur du pont de l'île d'Orléans. Les points rouges représentent la détection de l'individu par les récepteurs des différents secteurs. Les lignes pointillées entre les points rouges représentent les déplacements de l'individu entre les secteurs. Dans ce cas-ci, l'individu est essentiellement demeuré dans le secteur du pont de l'île d'Orléans au cours des deux années, avec quelques déplacements en aval vers le chenal de l'île d'Orléans et en amont vers la baie de Beauport.

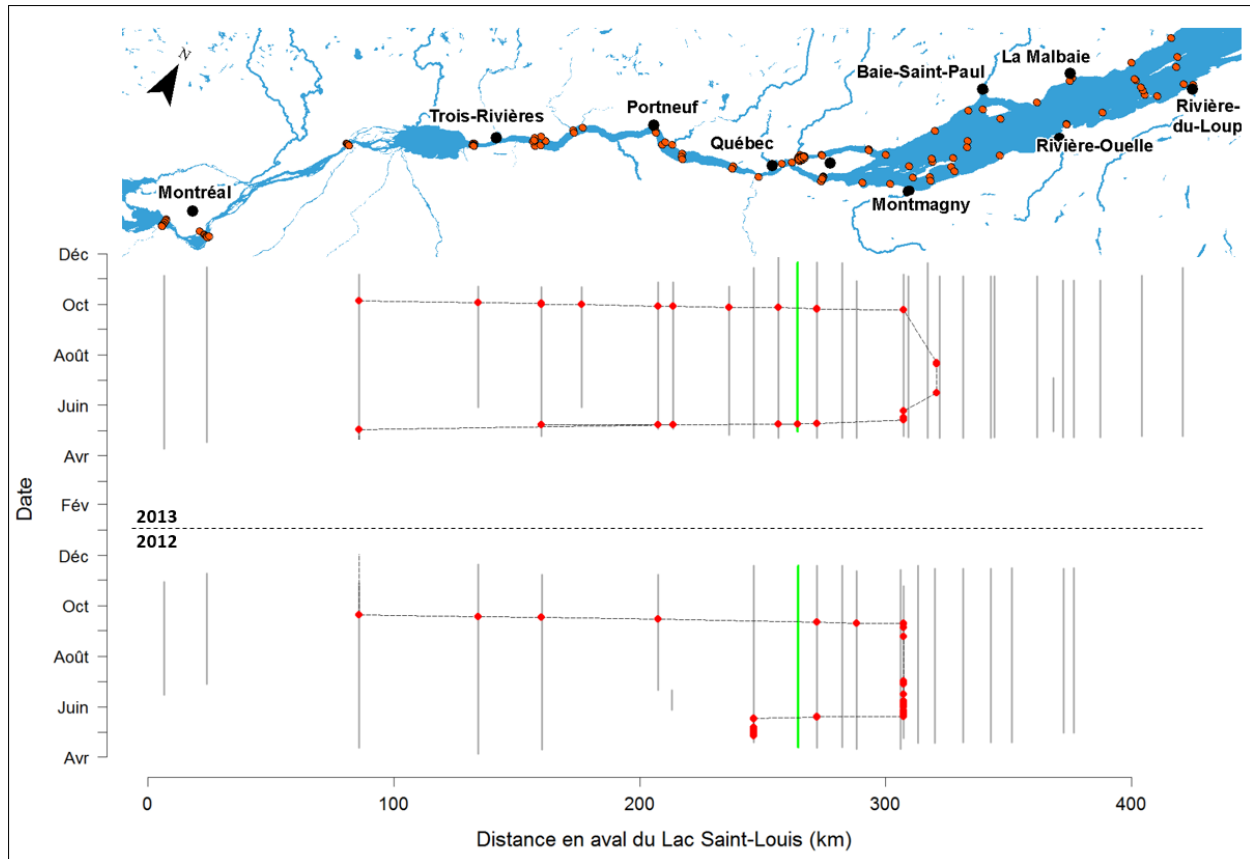


Figure 91 : Carte générale de la position des récepteurs dans le fleuve Saint-Laurent, chaque point orangé représentant un récepteur (haut) et graphique du patron de déplacement d'un esturgeon jaune résident saisonnier marqué dans le secteur du pont de l'île d'Orléans en 2012 (n° 28927) et suivi en 2012 et 2013 (bas). L'axe des ordonnées indique le temps écoulé. L'axe des abscisses représente la distance linéaire du fleuve Saint-Laurent depuis le lac Saint-Louis. Les lignes verticales grises représentent l'emplacement et la période de déploiement des récepteurs de chaque secteur du fleuve couvert. La ligne verticale verte représente précisément le secteur du pont de l'île d'Orléans. Les points rouges représentent la détection de l'individu par les récepteurs des différents secteurs. Les lignes pointillées entre les points rouges représentent les déplacements de l'individu entre les secteurs. Dans ce cas-ci, en 2012, après la période de frai dans la rivière Chaudière, l'individu est demeuré dans le secteur de Montmagny pendant la période estivale, puis il est remonté jusqu'en amont de Sorel-Tracy pour hiverner. En 2013, il a descendu le fleuve au printemps jusqu'au secteur de Montmagny où il a passé l'été, avant de retourner en amont de Sorel-Tracy pour hiverner.

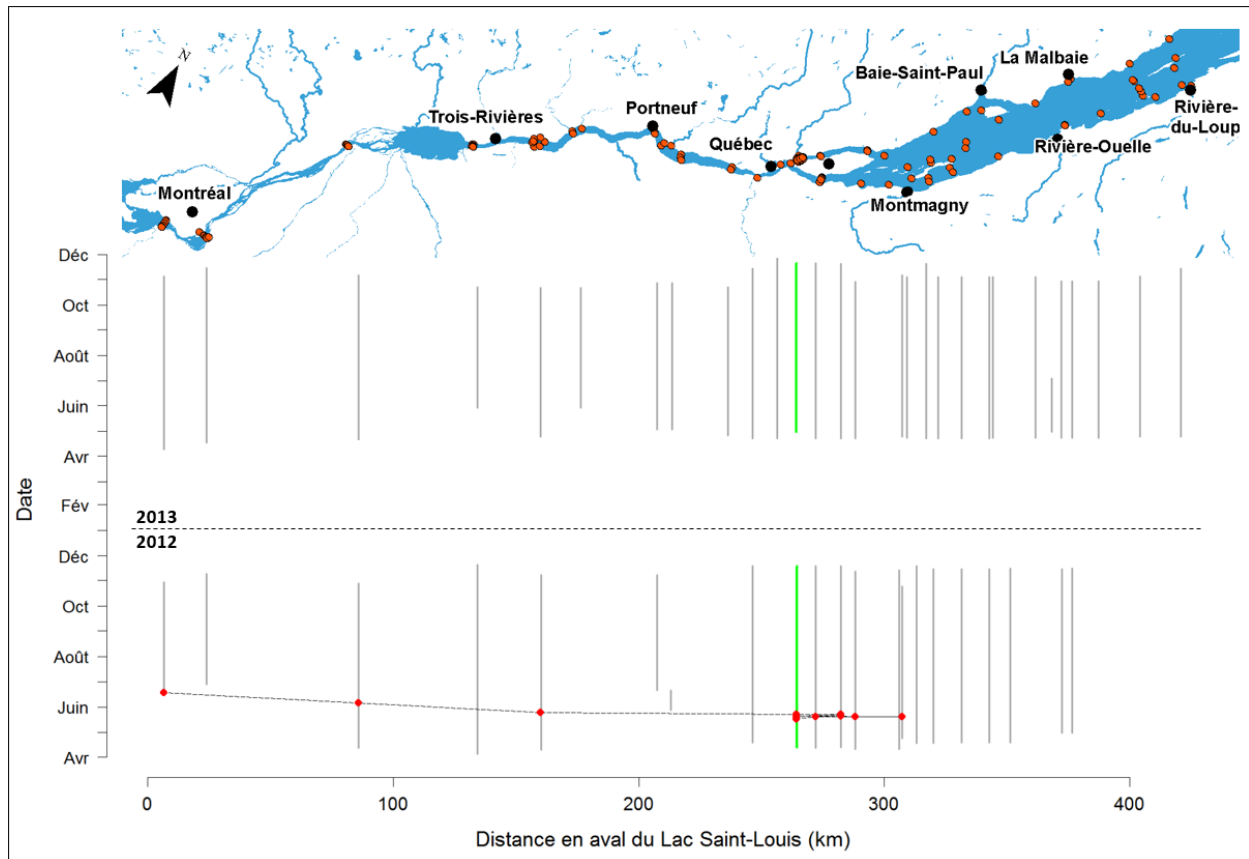


Figure 92 : Carte générale de la position des récepteurs dans le fleuve Saint-Laurent, chaque point orangé représentant un récepteur (haut) et graphique du patron de déplacement d'un esturgeon jaune migrateur marqué dans le secteur du pont de l'île d'Orléans en 2012 (n° 28936) et suivi en 2012 et 2013 (bas). L'axe des ordonnées indique le temps écoulé. L'axe des abscisses représente la distance linéaire du fleuve Saint-Laurent depuis le lac Saint-Louis. Les lignes verticales grises représentent l'emplacement et la période de déploiement des récepteurs de chaque secteur du fleuve couvert. La ligne verticale verte représente précisément le secteur du pont de l'île d'Orléans. Les points rouges représentent la détection de l'individu par les récepteurs des différents secteurs. Les lignes pointillées entre les points rouges représentent les déplacements de l'individu entre les secteurs. Dans ce cas-ci, en 2012, après la période de frai dans la rivière Montmorency, l'individu a remonté le fleuve Saint-Laurent jusqu'au lac Saint-Louis où il est demeuré. Cet individu n'a pas été revu en aval du lac Saint-Louis en 2013 où il est vraisemblablement resté.

Enfin, l'analyse des données de télémétrie révèle que plusieurs esturgeons jaunes marqués dans la rivière Chaudière ont fréquenté à un moment ou à un autre le secteur du pont de l'île d'Orléans, soit 7 individus sur 8 en 2012 et 2 individus sur 11 en 2013, ce qui exclut les individus ayant perdu leur émetteur dans les jours suivant leur installation. En 2012, trois individus étaient présents dans le secteur du pont de l'île d'Orléans pendant la période de reproduction, alors qu'en 2013 un seul individu s'y trouvait. Il semble toutefois peu probable que les individus ayant frayé dans la rivière Chaudière viennent frayer au cours de la même saison dans la rivière Montmorency. D'une part, deux esturgeons sur trois présents en 2012 n'ont pas effectué de séjours prolongés pendant la période de frai dans la rivière Montmorency, mais étaient plutôt de passage (individus n° 28930 et n° 28931; Figure 84). L'autre individu était un résident saisonnier du secteur du pont de l'île d'Orléans et il est impossible de déterminer s'il a participé au frai ou non. Pour 2013, les positions géographiques de l'individu présent en période de frai étaient concentrées dans les mêmes zones que celles des non-reproducteurs, et aucune position n'a été enregistrée près de la frayère. Cela suggère que cet individu n'a pas utilisé la frayère de la rivière Montmorency après la période de frai de la rivière Chaudière.

Saumoneaux

Caractéristiques des individus marqués

En tout, 60 saumoneaux issus de la population de saumons atlantiques de la rivière Jacques-Cartier ont été marqués de 2012 à 2013. De ces 60 individus, 45 ont reçu un émetteur de type V7 et 15, un émetteur de type V8. La longueur totale moyenne des individus marqués était de $184 \pm SE 1$ mm et la masse moyenne était de $45,6 \pm SE 1$ g.

Stress induit par le marquage

Le suivi des déplacements des saumoneaux de la rivière Jacques-Cartier ne permet pas d'évaluer le niveau de stress subi par les individus ayant été marqués par intervention chirurgicale. Néanmoins, quelques études rapportent que la capacité de nage des saumoneaux n'est pas influencée par l'intervention et l'implantation de l'émetteur si celui-ci respecte un ratio de masse maximum de 5,5 % (Anglea et al. 2004, Collins et al. 2013). Ce ratio a été respecté dans la présente étude. De plus, il est rapporté dans la littérature que, chez les saumoneaux marqués par intervention chirurgicale, une augmentation de la concentration des hormones de stress est effectivement observée dans les heures et les premiers jours suivant le marquage, mais que celles-ci reviennent à des concentrations normales dans les jours suivant l'intervention (Jepsen 2001, Martinelli et al. 1998).

Survie

Au total, sur 55 km de rivière séparant le lieu de relâche des saumoneaux de la pointe ouest de l'île d'Orléans, 9 saumoneaux sur 30 (30 %) en 2012 et 12 sur 30 (40 %) en 2013 ont survécu (Figure 94). Ces proportions représentent, respectivement pour les deux années, des taux de mortalité de 1,1 à 1,3 % des individus par kilomètre de rivière parcouru. Ces taux de mortalité se situent dans les limites des valeurs rapportées par la littérature de 0,3 à 5,0 % (revu par Gauld,

2014). La mort des saumoneaux est principalement survenue entre le lieu de relâche et les récepteurs situés à l'embouchure de la rivière Jacques-Cartier (distance de 1,9 km) où 10 saumoneaux sur 30 (33 %) en 2012 et 12 sur 30 (40 %) en 2013 sont disparus. Cela correspond à des valeurs de mortalité de 17,5 % et de 21,1 % par kilomètre de rivière parcouru, ce qui est très élevé pour ce tronçon d'environ 2 km.

Il est possible que le taux de mortalité élevé observé dans le tronçon de la rivière Jacques-Cartier découle directement du marquage des individus. Néanmoins, plusieurs études portant sur le marquage de saumoneaux par intervention chirurgicale ont démontré que le taux de survie était très élevé si le ratio de la masse de l'émetteur à la masse du poisson se situait sous les 5,5 % (100 % de survie chez Adams et al. 1998a, Martinelli et al. 1998, Brown et al. 2006, Collins et al. 2013; 76 % de survie chez Hall et al. 2009). Dans la présente étude, le ratio de masse moyen était de 3,3 % (\pm SE 0,1) en 2012 et de 3,6 % (\pm SE 0,1) en 2013, alors que les ratios maximums atteints étaient de 4,3 % en 2012 et de 4,4 % en 2013. De plus, les interventions ont été effectuées selon une méthode éprouvée et par un chirurgien d'expérience. Dans ces conditions, il apparaît peu probable que le taux de mortalité observé soit seulement attribuable au marquage par intervention chirurgicale.

Dans une étude sur la prédation de saumoneaux marqués par intervention chirurgicale, il a été démontré que les individus marqués étaient nettement plus susceptibles à la prédation que les individus non marqués (Adams et al. 1998b, mais voir Anglea et al. 2004). De plus, tout au long de leur migration vers la mer, les saumoneaux sont exposés à une forte pression de prédation, autant par des prédateurs terrestres qu'aquatiques, particulièrement aux embouchures des rivières (revu par Gauld, 2014). Le tronçon de la rivière Jacques-Cartier parcouru par les saumoneaux du site de relâche jusqu'à l'embouchure est connu pour abriter de nombreux prédateurs, dont le brochet d'Amérique et les dorés jaunes et noirs (communication personnelle, G. Shooner et M. Talbot, 2014). Il est donc probable que la prédation ait considérablement contribué au fort taux de mortalité observé dans ce secteur.

Il n'est pas non plus exclu que le taux de mortalité observé entre le site de relâche et les récepteurs situés à l'embouchure de la rivière Jacques-Cartier ait été surestimé par une sous-représentation du nombre d'individus détectés à l'embouchure même de la rivière. En effet, les conditions physiques qui prévalaient à l'embouchure rendaient difficile une couverture complète de ce secteur par les récepteurs. Il est donc possible que des individus y étant passés n'y aient pas été détectés. De plus, une fois passés les récepteurs de l'embouchure de la rivière Jacques-Cartier, les premières lignes de récepteurs étanches permettant de détecter les poissons avec une certitude très élevée se situaient à plus de 50 km en aval du site de relâche, soit les secteurs du pont de l'île d'Orléans et de Beaumont. Ainsi, des saumoneaux considérés comme étant disparus ont pu dévaler sans être détectés par les récepteurs de l'embouchure de la rivière Jacques-Cartier et sont peut-être morts avant d'atteindre les premières lignes étanches.

Déplacements et patrons d'activité

Après avoir quitté la rivière Jacques-Cartier, les saumoneaux marqués ont poursuivi leur migration vers l'aval du fleuve Saint-Laurent (Figure 93). Arrivés à la hauteur de l'île d'Orléans, certains individus ont directement emprunté le chenal des Grands Voiliers, d'autres ont directement emprunté le chenal de l'île d'Orléans, alors que d'autres ont poursuivi leur migration par l'un ou l'autre des deux chenaux pour finalement rebrousser chemin et emprunter l'autre chenal.

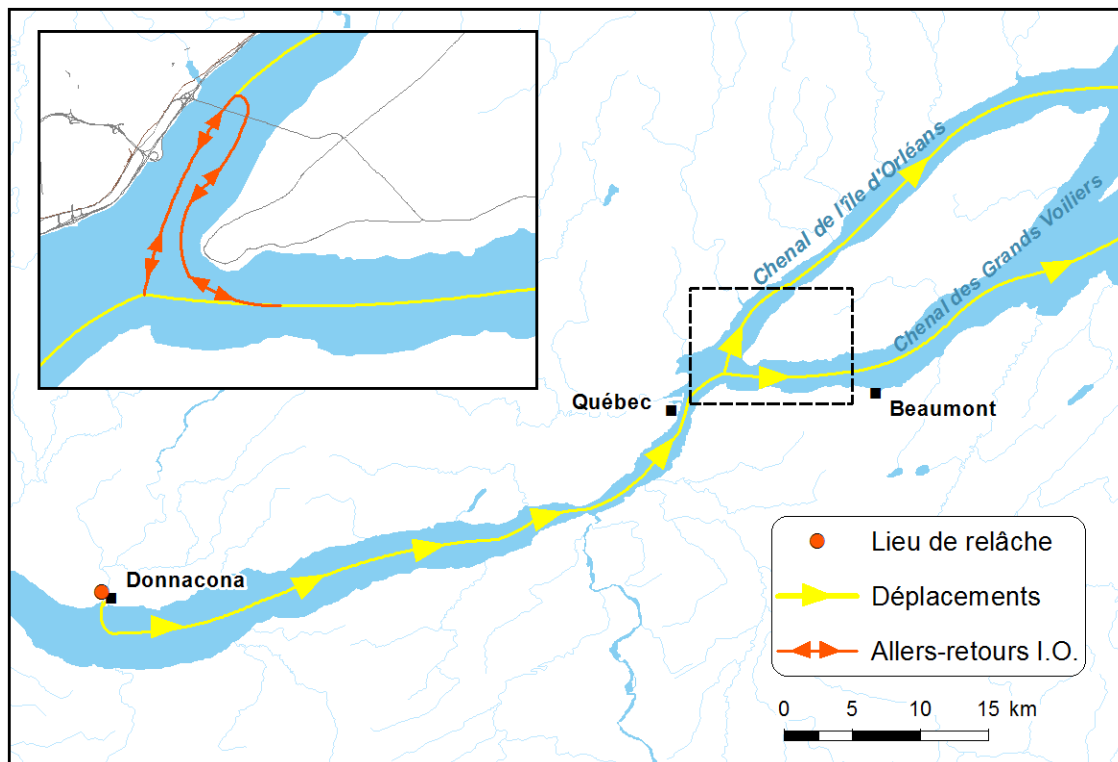


Figure 93 : Patron de déplacement général des saumoneaux suivis par télémétrie en 2012 et 2013 lors de leur dévalaison dans le fleuve Saint-Laurent entre l'embouchure de la rivière Jacques-Cartier et le secteur de l'île d'Orléans.

Autant en 2012 qu'en 2013, 33 % des individus présents à la pointe ouest de l'île d'Orléans ont fréquenté le secteur du pont de l'île d'Orléans, mais seulement 11 % des individus en 2012 et 17 % en 2013 ont poursuivi leur migration vers le chenal de l'île d'Orléans (Figure 94). Il est possible que les saumoneaux se trouvant dans le secteur du pont de l'île d'Orléans y aient été entraînés passivement par les courants du fleuve. En effet, lors de leur migration vers la mer, les saumoneaux utilisent une stratégie de migration à la fois passive et active. La stratégie passive est davantage utilisée en eau douce, alors que la stratégie active l'est davantage en eau salée (Lacroix et al. 2004, Ibbotson et al. 2006, Martin et al. 2009). De plus, la vitesse de leurs déplacements est fortement liée à la vélocité des courants (Martin et al. 2009). Il est donc probable que la faible proportion de saumoneaux ayant utilisé le chenal de l'île d'Orléans comme voie migratoire s'explique par leur stratégie de déplacement surtout passive en eau douce,

combinée à une plus faible proportion de l'eau du fleuve transitant par le chenal de l'île d'Orléans (10 %) que par le chenal des Grands Voiliers (90 %).

Le temps de transit des saumoneaux entre le site de relâche situé dans la rivière Jacques-Cartier et le secteur du pont de l'île d'Orléans est en moyenne de 4,80 jours (\pm SE 0,59) en 2012 et de 2,57 jours (\pm SE 0,22) en 2013, ce qui est relativement court. Bien qu'une différence de temps de 2,23 jours soit observée entre les deux années, elle s'avère statistiquement non significative ($W = 12$, $P = 0,0571$). Les individus ayant atteint le secteur du pont de l'île d'Orléans étaient visiblement en transit et n'y sont demeurés que pour de très courtes périodes. En 2012, en excluant un individu mort dans le secteur du pont de l'île d'Orléans, les saumoneaux ont été présents en moyenne lors de 2,5 événements de résidence pour un temps total de résidence moyenne de 2 heures et 21 minutes. En 2013, les saumoneaux ont été présents en moyenne lors de 2,3 événements de résidence, pour un temps total de résidence moyen de 2 heures et 48 minutes.

En 2013, le système VPS de VEMCO n'a pas permis d'obtenir un nombre suffisant de positions géographiques pour analyser à fine échelle les déplacements des saumoneaux dans le secteur du pont de l'île d'Orléans.

L'ensemble des données de télémétrie obtenu pour les saumoneaux marqués à la rivière Jacques-Cartier indique qu'une faible proportion des individus utilise le secteur du pont de l'île d'Orléans au cours de leur migration vers l'océan Atlantique et qu'ils y sont probablement entraînés par les courants. Le temps de transit des individus entre la rivière Jacques-Cartier et ce secteur est court, comme l'est la période de temps pendant laquelle les saumoneaux fréquentent le secteur du pont de l'île d'Orléans.

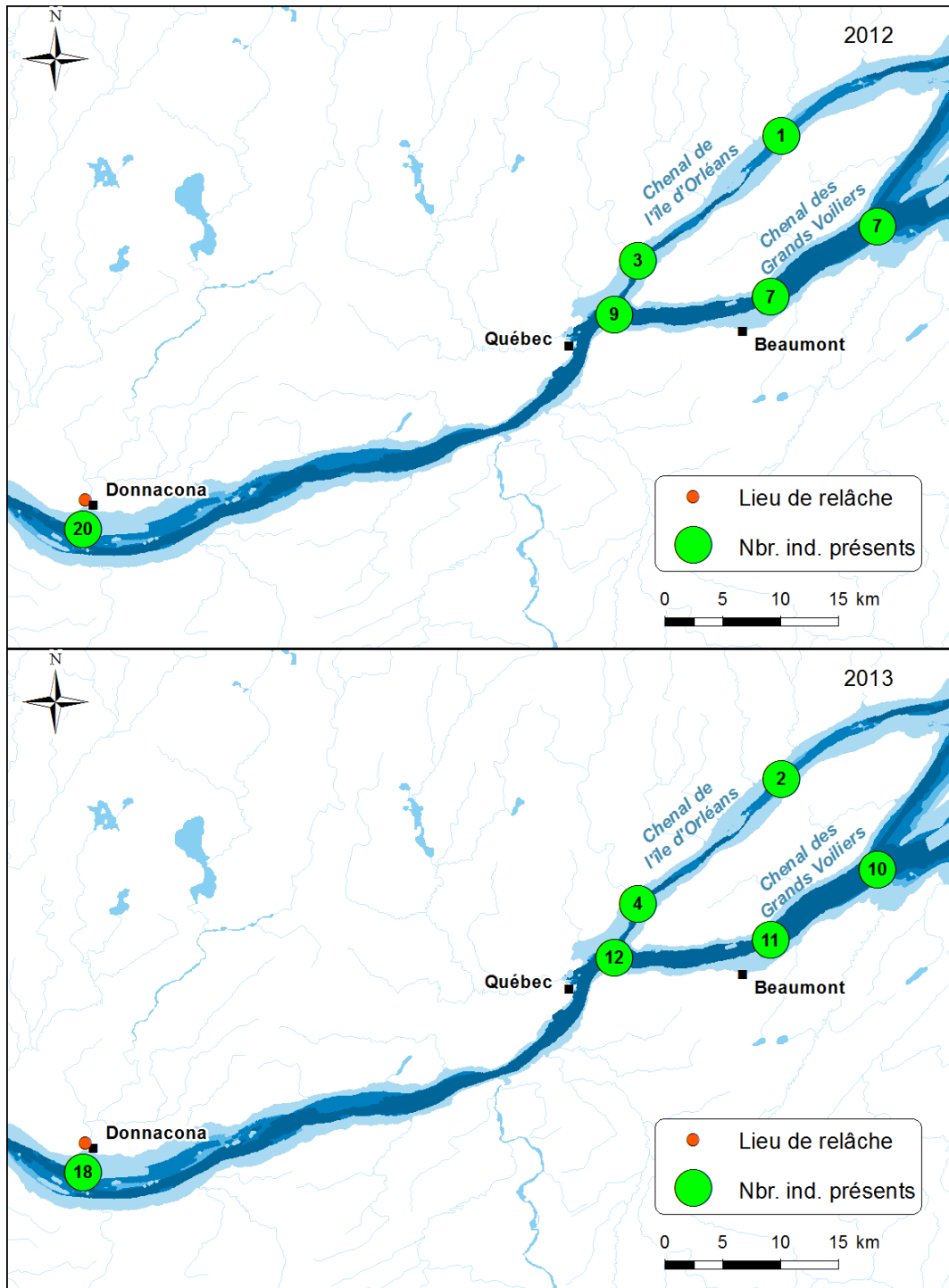


Figure 94 : Nombre de saumoneaux suivis par télémétrie et détectés entre l'embouchure de la rivière Jacques-Cartier et la pointe ouest de l'île d'Orléans en 2012 (haut) et en 2013 (bas).

Baret

Caractéristiques des individus marqués

Les 15 baretts marqués en 2013 avaient une longueur totale moyenne de $272 \pm \text{SE } 4$ mm (min. : 247, max. : 291 mm) et une masse moyenne de $403 \pm \text{SE } 20$ g (min. : 340, max. : 460 g; Tableau 14). Ces individus comptent parmi les plus grands de la population fréquentant le secteur du pont de l'île d'Orléans (voir p. 31).

Stress induit par le marquage

Un comportement de fuite marqué a été observé chez les baretts marqués par intervention chirurgicale. En effet, dans les 24 heures suivant le marquage, seulement 6 individus sur 15 étaient toujours présents au site de marquage, alors qu'un seul individu y était présent 48 heures après (Figure 95).

À la suite du départ rapide de la majorité des individus (14 sur 15), plusieurs jours ont été nécessaires avant d'observer le retour de ces individus au site de fraie. Si l'on considère uniquement les individus qui ont quitté le lieu du marquage et qui y sont revenus en période de fraie (12 sur 15), en moyenne 13,91 jours ($\pm \text{SE } 2,96$) ont été nécessaires avant que les individus ne reviennent sur les lieux de marquage. Une différence est observée entre les mâles (moyenne de 6,50 jours $\pm \text{SE } 1,50$) et les femelles (moyenne 19,4 jours $\pm \text{SE } 5,50$), mais cette différence s'avère non significative ($t = -2,26$, d.l. = 4,58, $P = 0,078$) compte tenu de la faible taille de l'échantillon (mâle $N = 4$, femelle $N = 5$). Peu d'études se sont penchées sur les effets du marquage sur le baret. Néanmoins, McGrath (2005) rapporte qu'une minorité d'individus ont présenté un comportement de fuite après le marquage par intervention chirurgicale, ce qui contraste avec les résultats de la présente étude. Les individus marqués lors de cette étude avaient toutefois été capturés après la période de frai, au cours de l'été, ce qui a peut-être minimisé le stress subi par les individus.

Survie

Les parcours individuels obtenus à l'échelle du fleuve Saint-Laurent pour les baretts suggèrent un faible taux de mortalité des individus marqués. En effet, tous les individus ont survécu et se sont déplacés dans le système du fleuve Saint-Laurent dans les semaines suivant leur marquage. De plus, la majorité des individus (13 sur 15) était toujours détectée lors du retrait des récepteurs en novembre, alors que deux individus ont cessé d'être détectés au cours de l'été.

Déplacements et patrons d'activité

En 2013, 15 individus fréquentaient le secteur du pont de l'île d'Orléans en moyenne à $64 \pm \text{SE } 23$ reprises. La durée totale moyenne du temps de résidence des individus était de $273,8 \pm \text{SE } 98,9$ heures (de 11,5 à 1 218,1 heures). Une grande variabilité est observée dans le nombre d'événements de résidence et dans le temps de résidence, ce qui s'explique par le fait que certains individus occupent le secteur du pont de l'île d'Orléans de façon presque continue, alors que d'autres ne sont présents que lors de certaines périodes plus ou moins longues (Figure 96).

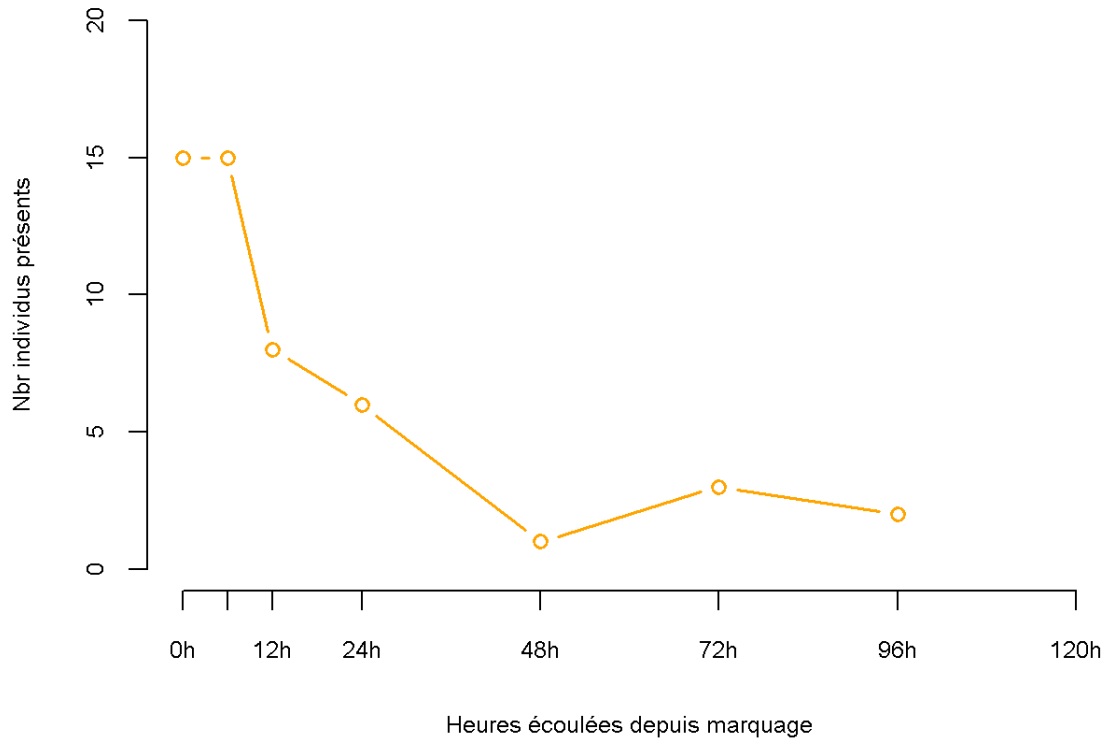


Figure 95 : Évolution temporelle du nombre de baretts marqués par intervention chirurgicale en 2013 présents au lieu de marquage dans les heures suivant le marquage.

Le printemps est la période de l'année où le secteur du pont de l'île d'Orléans est le plus fréquenté avec 15 baretts marqués sur 15 y étant détectés. Le nombre d'individus présents est possiblement surestimé par le fait que les individus sont marqués dans ce secteur pendant cette saison. Néanmoins, à la suite du comportement initial de fuite, 13 individus sur 15 y sont revenus ou y sont demeurés au cours du printemps. La présence importante des baretts dans le secteur du pont de l'île d'Orléans durant cette saison est fort probablement liée à une frayère pour cette espèce (voir p. 82). Après la période de frai, plusieurs individus ont quitté le secteur du pont de l'île d'Orléans et n'y sont plus revenus. L'été semble être la saison la moins achalandée par les baretts avec 7 individus présents sur 15, dont 2 ont quitté le secteur tôt en saison. Un des individus présents au cours de l'été a résidé durant toute l'année dans le secteur du pont de l'île d'Orléans. Les autres individus y étaient généralement pour de courtes périodes, surtout au début de l'été. Enfin, huit individus étaient présents à l'automne, y compris l'individu résident. Cinq de ces individus semblent avoir passé l'hiver dans le secteur du pont de l'île d'Orléans, alors que trois y semblaient de passage durant cette saison.

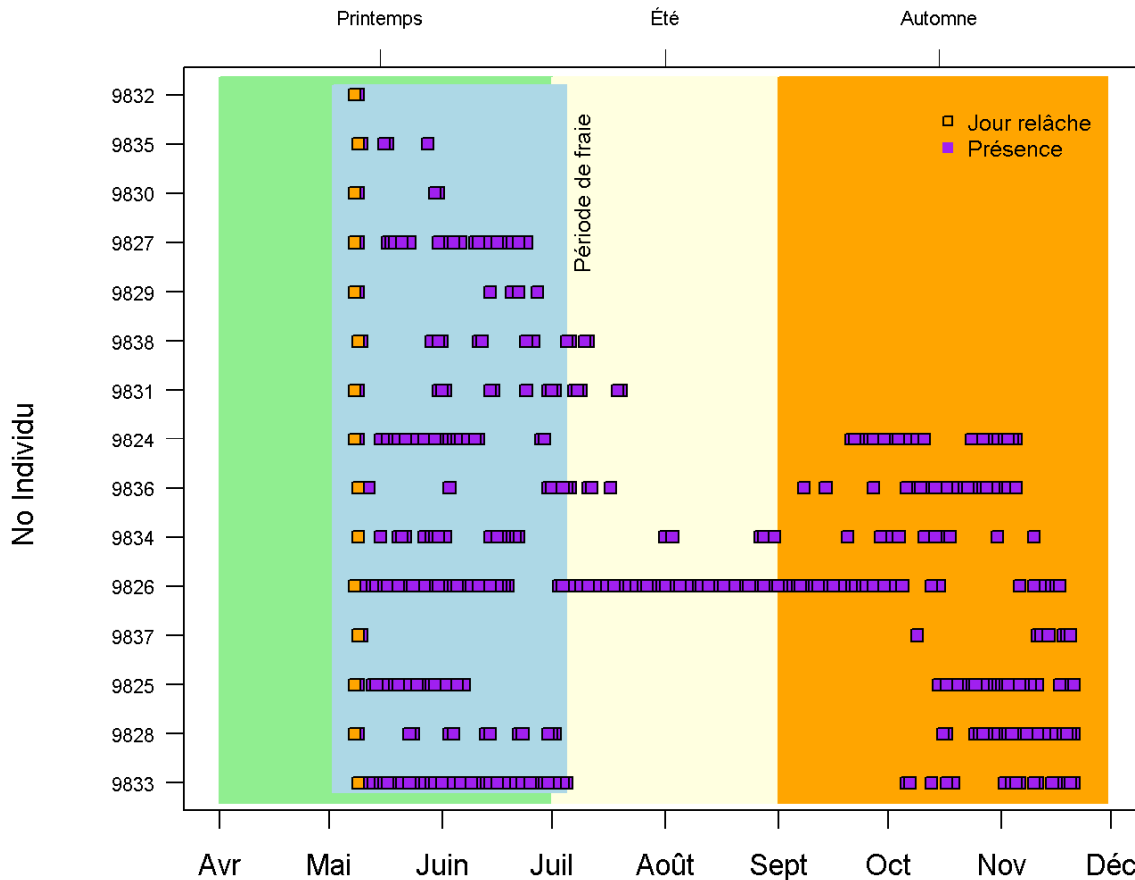


Figure 96 : Barets suivis par télémétrie dans le secteur de l'île d'Orléans en 2013. Chaque ligne horizontale représente un individu. Les carrés orangés représentent la journée où les individus ont été marqués et les carrés mauves représentent les journées pour lesquelles les individus étaient présents.

Le nombre de positions géographiques obtenues par le système VPS pour le baret pendant la durée du suivi était élevé (N = 15 329). Les positions obtenues le sont toutefois surtout au printemps (N = 14 269), ce qui s'explique par la présence de la frayère. Au printemps, les positions géographiques étaient hautement concentrées dans les limites de la frayère définie par les relevés de déposition d'œufs (Figure 97; frayère : voir p. 70). Celle-ci se situe en amont du pont de l'île d'Orléans, près de la rive sud du chenal de l'île d'Orléans. Au cours de l'été et de l'automne, le faible nombre de positions géographiques obtenues (respectivement N = 379 et N = 784) ne permet pas de localiser nettement les zones de concentration des barets. Néanmoins, les individus qui sont présents semblent préférer le secteur amont du pont de l'île d'Orléans en rive sud du chenal de l'île d'Orléans (Figure 98 et Figure 99).

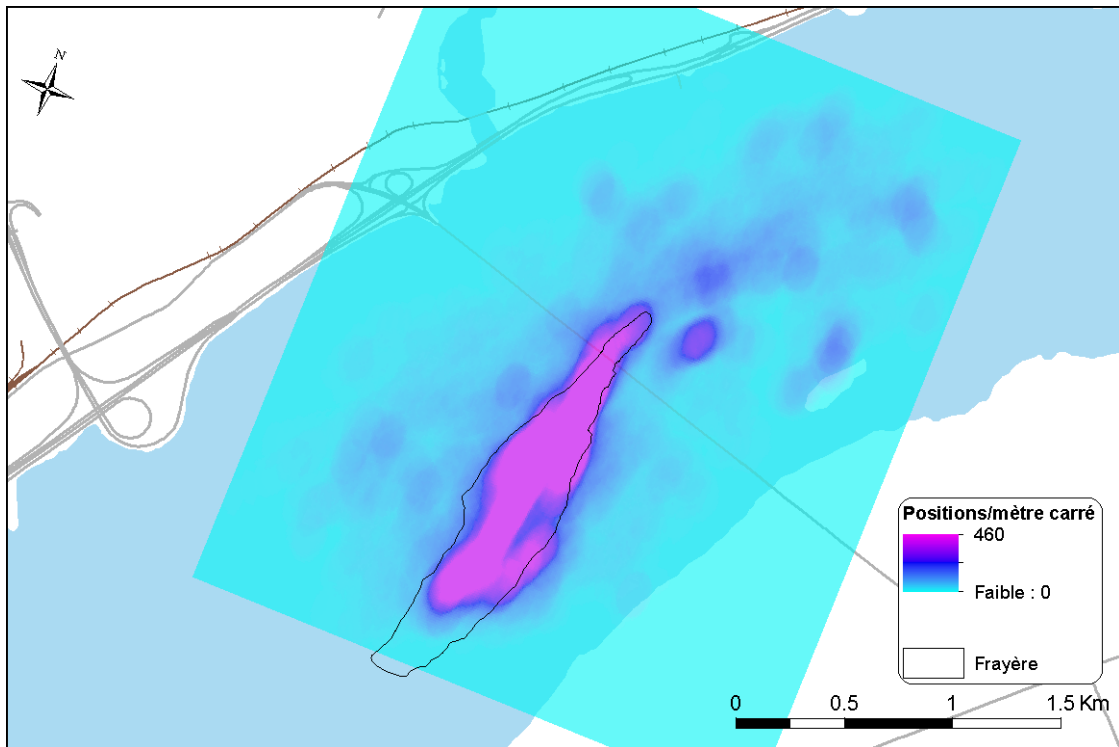


Figure 97 : Résultats de l'analyse de densité de points pour les positions géographiques des baretts marqués pour le printemps 2013 (N = 14 269) et contour de la frayère de baretts.

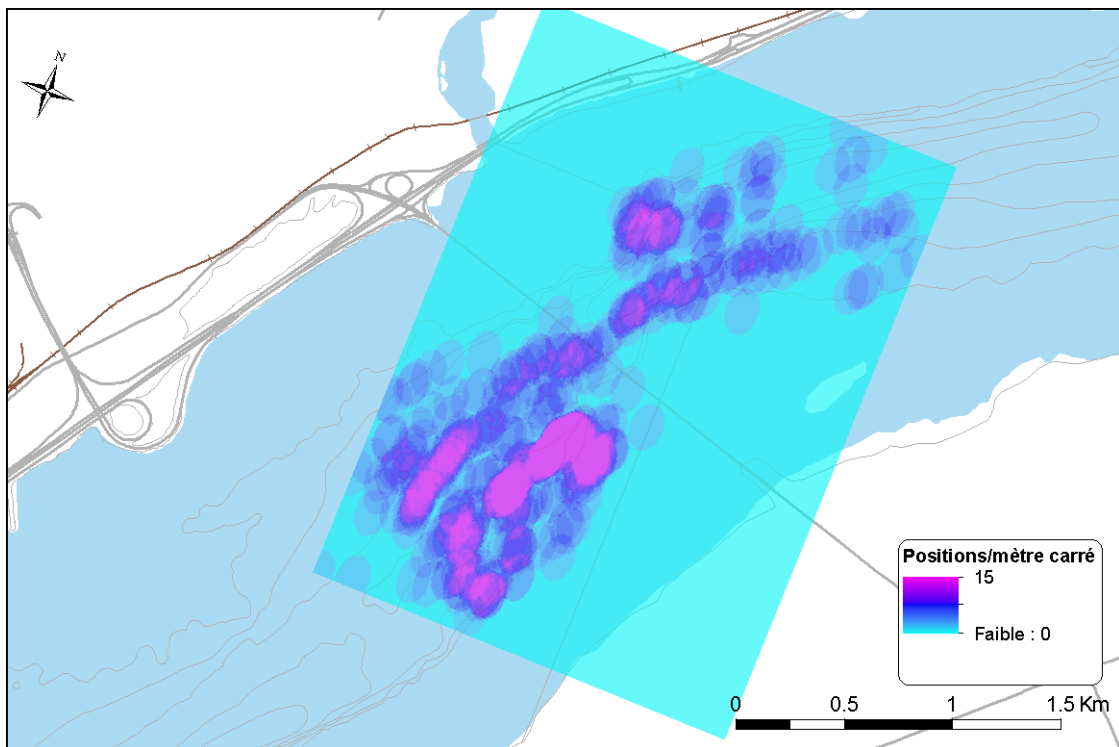


Figure 98 : Résultats de l'analyse de densité de points pour les positions géographiques de l'été (N = 379).

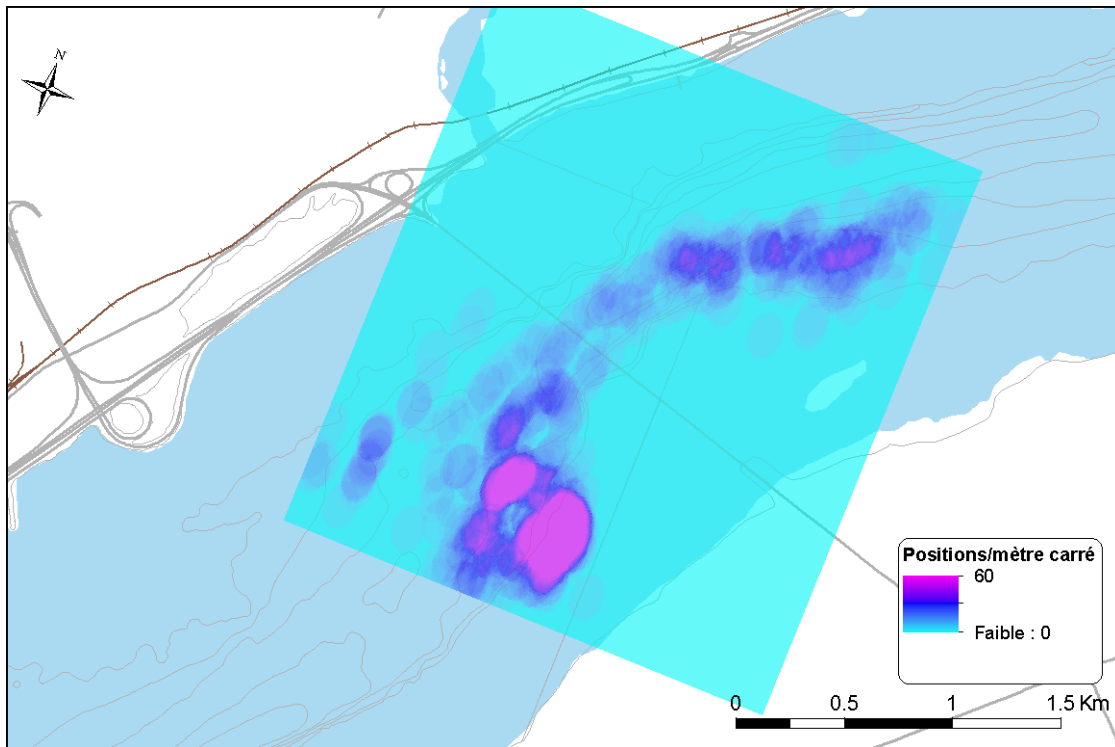


Figure 99 : Résultats de l'analyse de densité de points pour les positions géographiques de l'automne (N = 784).

Lorsque les baretts quittaient le secteur du pont de l'île d'Orléans, ils se déplaçaient sur de grandes distances. En effet, certains individus ont été observés dans la région de Portneuf à une soixantaine de kilomètres en amont de Québec. D'autres individus ont été observés dans les régions de La Pocatière et de L'Isle-aux-Coudres à environ 90 km en aval de Québec. Cela représente une aire de répartition d'environ 150 km linéaires, ce qui est élevé pour l'espèce (Mansueti 1961, McGrath 2009). Les individus se concentraient toutefois principalement en aval de l'estuaire fluvial et en amont de l'estuaire moyen, ce qui totalise environ 75 km linéaires (Figure 100).

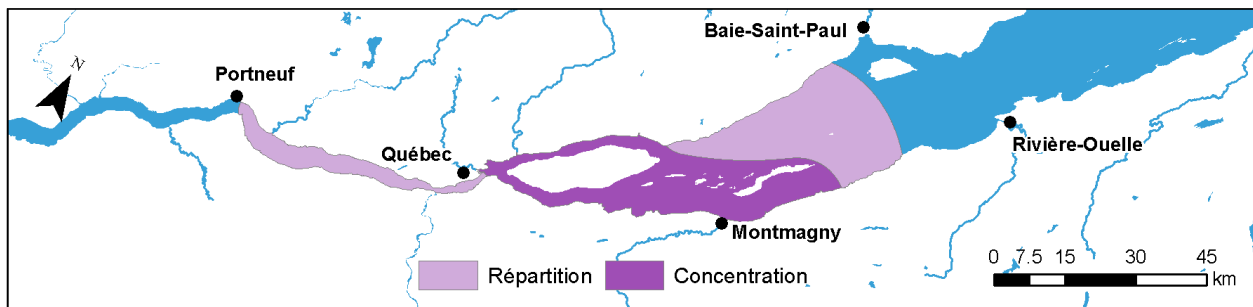


Figure 100 : Aire de répartition des baretts marqués dans le secteur du pont de l'île d'Orléans en 2013 et zone de concentration des individus à grande échelle.

Bien qu'aucune analyse de contingent migratoire n'ait été menée sur les barets marqués dans le secteur du pont de l'île d'Orléans, il apparaît que certains individus suivis étaient sédentaires, alors que d'autres étaient migrateurs (Figure 101 et Figure 102). L'occurrence de la migration partielle a été documentée chez de nombreuses populations de barets, ce qui a mené Kerr et Secor (2012) à affirmer qu'il s'agissait d'un comportement généralisé à l'ensemble des populations de l'espèce. Dans tous les cas, deux contingents migratoires étaient toujours observés, soit un contingent d'individus sédentaires et un contingent d'individus migrateurs (Kerr et Secor, 2012). Le contingent sédentaire se caractérise par des individus qui restent en eau douce durant tout leur cycle vital.

Le contingent migrateur est pour sa part constitué d'individus qui migrent à la fin du printemps vers les estuaires saumâtres pour s'y alimenter et qui retournent en eau douce à la fois pour hiverner et frayer (Kerr et Secor 2012). La proportion d'individus appartenant au contingent sédentaire est généralement inférieure au contingent migratoire, mais elle dépend des conditions environnementales et varie d'une année à l'autre (Kraus et Secor 2005, Kerr et Secor 2009). De plus, la majorité des individus sédentaires provient principalement des cohortes d'individus produits tardivement pendant la période de frai, alors que les individus migrateurs proviennent principalement des cohortes d'individus produits hâtivement pendant la période de frai (Kerr et al. 2010).

Malgré le faible nombre de barets marqués ($N = 15$), les données de télémétrie obtenues à l'échelle du fleuve Saint-Laurent dans le cadre de la présente étude concordent avec ce qui est rapporté dans la littérature. En effet, la proportion d'individus migrateurs était plus élevée que la proportion d'individus sédentaires. De plus, alors que les individus sédentaires demeuraient en eau douce et se déplaçaient sur de courtes distances, les individus migrateurs se déplaçaient en été vers l'estuaire moyen, mais réintégraient l'estuaire fluvial à l'automne. Ainsi, il semble que la population de barets marqués dans le secteur du pont de l'île d'Orléans présente elle aussi un comportement de migration partielle, cependant des données additionnelles seraient nécessaires pour mieux décrire ce comportement.

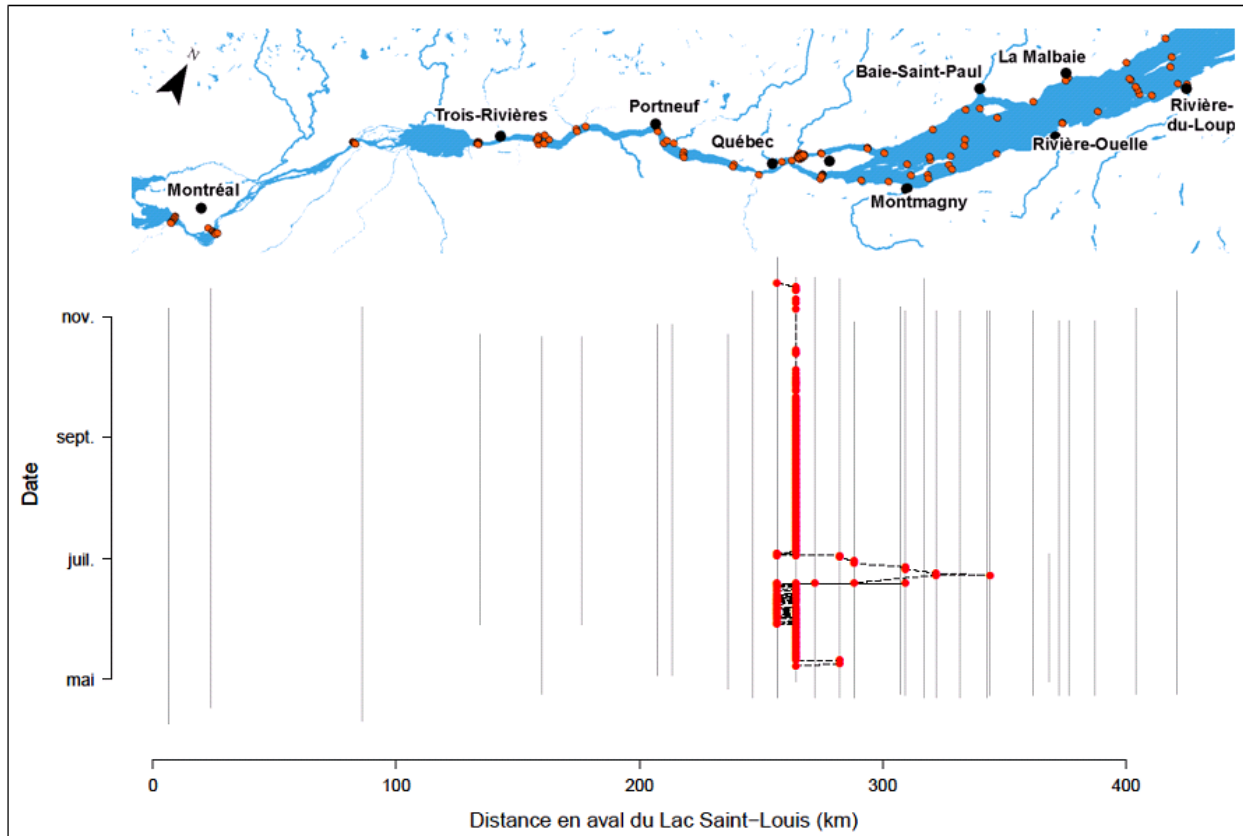


Figure 101 : Carte générale de la position des récepteurs dans le fleuve Saint-Laurent, chaque point orangé représentant un récepteur (haut) et graphique du patron de déplacement d'un baret résident du secteur du pont de l'île d'Orléans (n° 9826) et suivi en 2013 (bas). L'axe des ordonnées indique le temps écoulé. L'axe des abscisses représente la distance linéaire du fleuve Saint-Laurent depuis le lac Saint-Louis. Les lignes verticales grises représentent l'emplacement et la période de déploiement des récepteurs de chaque secteur du fleuve couvert. Les points rouges représentent la détection de l'individu par les récepteurs des différents secteurs. Les lignes pointillées entre les points rouges représentent les déplacements de l'individu entre les secteurs. Dans ce cas-ci, mis à part une courte excursion au cours de l'été, l'individu est demeuré dans le secteur du pont pour l'ensemble de la période de suivi.

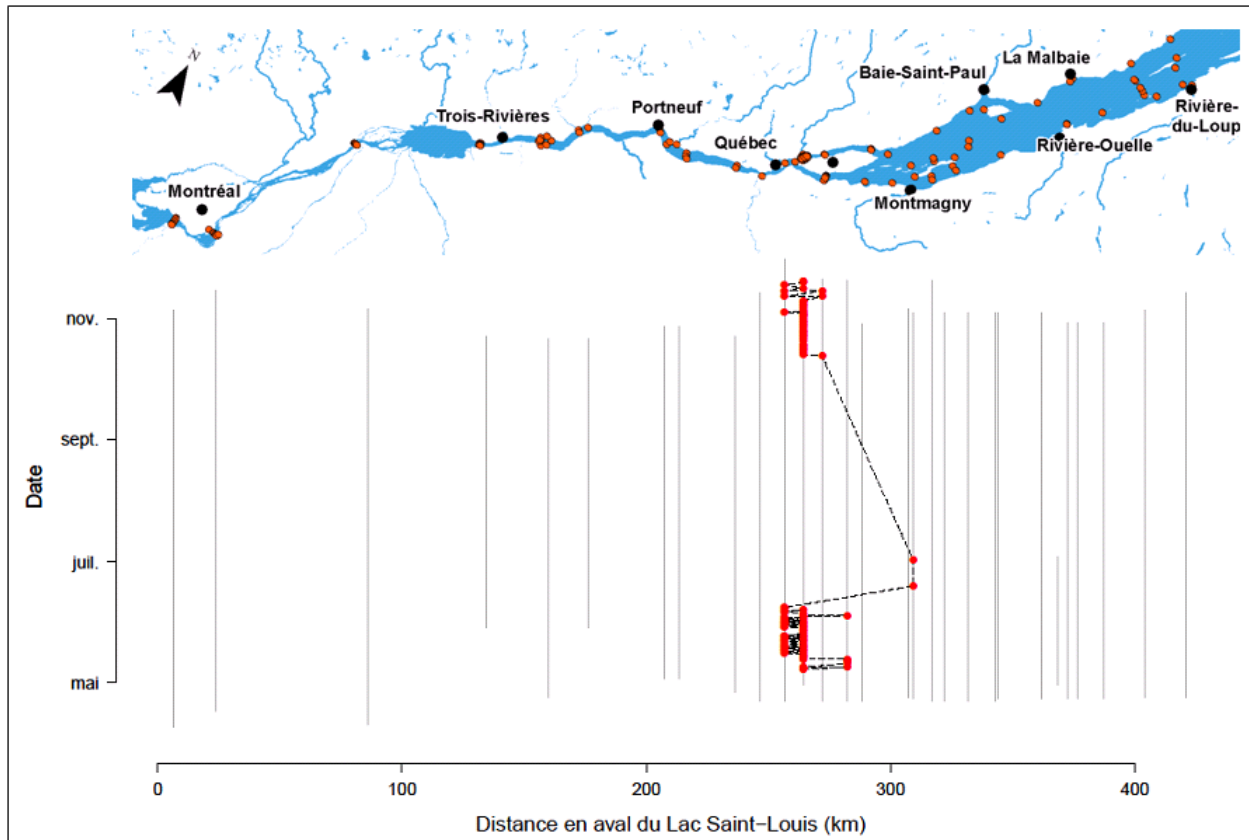


Figure 102 : Carte générale de la position des récepteurs dans le fleuve Saint-Laurent, chaque point orangé représentant un récepteur (haut) et graphique du patron de déplacement d'un baret migrateur (n° 9825) suivi en 2013 (bas). L'axe des ordonnées indique le temps écoulé. L'axe des abscisses représente la distance linéaire du fleuve Saint-Laurent depuis le lac Saint-Louis. Les lignes verticales grises représentent l'emplacement et la période de déploiement des récepteurs de chaque secteur du fleuve couvert. Les points rouges représentent la détection de l'individu par les récepteurs des différents secteurs. Les lignes pointillées entre les points rouges représentent les déplacements de l'individu entre les secteurs. Dans ce cas-ci, après la période de reproduction, l'individu a quitté le secteur du pont de l'île d'Orléans vers l'estuaire moyen, puis est revenu dans le secteur du pont de l'île d'Orléans probablement pour hiverner.

Esturgeon noir

L'analyse des données de télémétrie de l'esturgeon noir ont révélé que les juvéniles et les adultes fréquentent le secteur du pont de l'île d'Orléans, mais qu'ils n'y demeurent généralement que pour de courts séjours. De l'été à l'automne 2013, 12 esturgeons noirs juvéniles sur 18 marqués dans le port de Québec ont fréquenté le secteur du pont de l'île d'Orléans, alors qu'aucun des 30 esturgeons noirs adultes marqués dans l'estuaire moyen n'y a été détecté. Les esturgeons noirs juvéniles ont été présents en moyenne à $6 \pm SE 2$ reprises et la durée totale moyenne du temps de résidence des individus étaient de $14,1 \pm SE 7,7$ heures (de 0,4 à 87,4 heures).

Malgré le faible nombre d'événements de résidence par individu et leur courte durée, l'analyse de la présence quotidienne des esturgeons noirs juvéniles semble montrer que le secteur du pont de l'île d'Orléans est régulièrement fréquenté (Figure 103). L'analyse des données à grande échelle révèle toutefois que 6 des 12 esturgeons noirs juvéniles présents dans le secteur du pont de l'île d'Orléans à l'été et à l'automne y étaient simplement de passage (Figure 104). L'autre moitié (6 sur 12) des individus occupaient principalement le secteur du port de Québec situé à environ 6 km en amont. Ces individus effectuaient toutefois des excursions vers le secteur du pont de l'île d'Orléans pour retourner ensuite dans celui du port de Québec (Figure 105).

Les esturgeons noirs juvéniles du fleuve Saint-Laurent occupent généralement un domaine vital de 1 à 8 km² en été, mais se concentrent dans des zones de moins de 1 km² (Hatin et coll., 2007). Le secteur du pont de l'île d'Orléans fait probablement partie du domaine vital des individus le fréquentant régulièrement. Ce secteur ne semble toutefois pas constituer une zone d'utilisation intensive de leur domaine vital. Il est probable que le noyau du domaine vital de ces esturgeons noirs juvéniles se trouve à proximité du port de Québec (p. ex., Figure 105). Le secteur du port de Québec, plus particulièrement l'estuaire de la rivière Saint-Charles, est aussi connu pour abriter une zone de concentration d'esturgeons noirs adultes (Hatin et al. 2003). Le projet actuellement mené par l'équipe d'Environnement Illimité devrait permettre de mieux connaître l'utilisation de ce secteur par les esturgeons noirs.

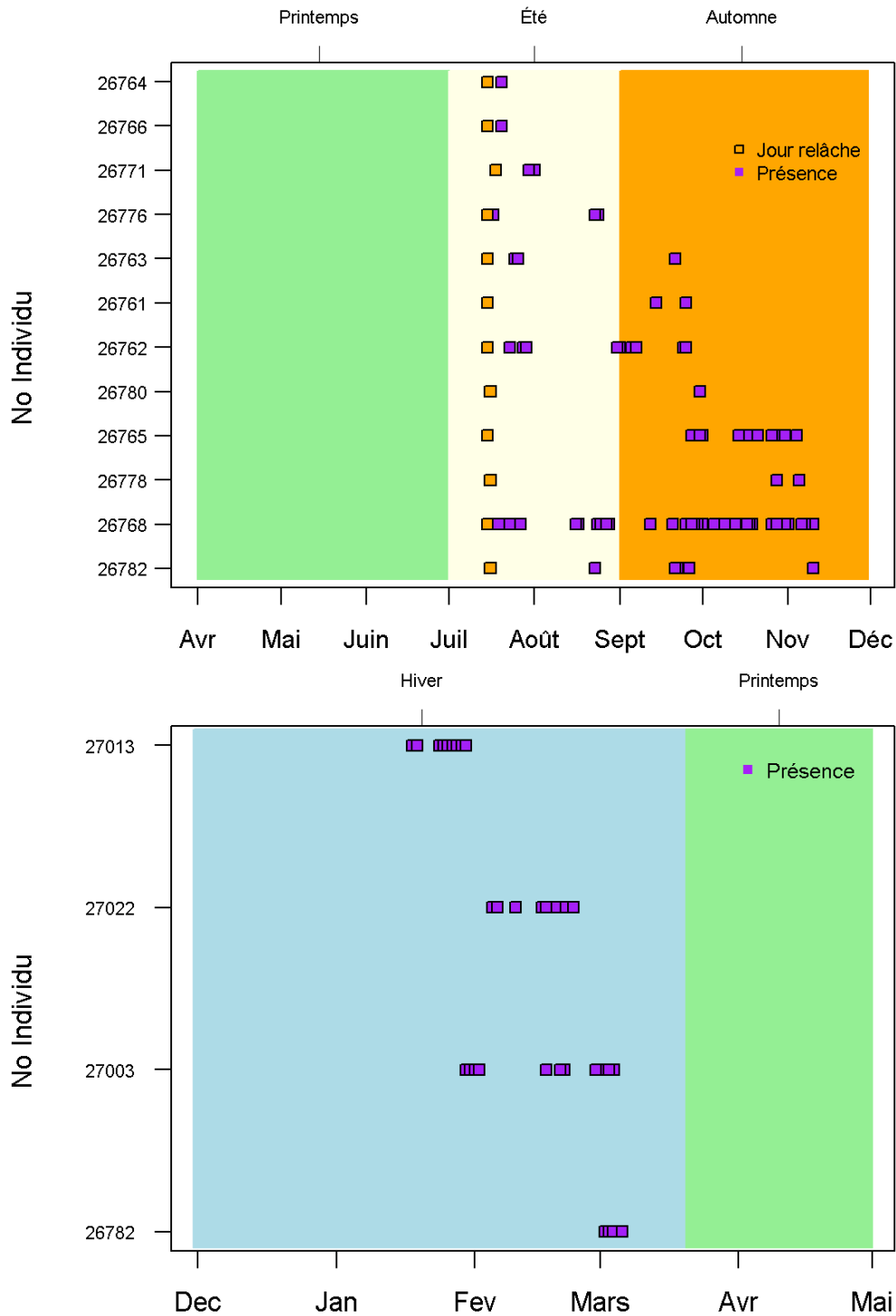


Figure 103 : Évolution temporelle de la présence des esturgeons noirs suivis par télémétrie dans le secteur de l'île d'Orléans à l'été et à l'automne 2013 (haut; seulement des juvéniles), ainsi qu'à l'hiver 2013-2014 (bas; tous des adultes, sauf individu n° 26782 qui est juvénile). Chaque ligne horizontale représente un individu. Les carrés orangés représentent la journée où les individus ont été marqués et les carrés mauves représentent les journées pour lesquelles les individus étaient présents.

Durant l'hiver, 1 esturgeon noir juvénile sur 18 et 3 adultes sur 30 ont été détectés dans le secteur du pont de l'île d'Orléans. Ces individus étaient présents dans ce secteur pour des périodes plus ou moins prolongées entre la mi-janvier et le début de mars (Figure 103). En moyenne, les esturgeons noirs ont fréquenté le secteur du pont de l'île d'Orléans à $14 \pm SE 3$ reprises pour une durée de $49,10 \pm SE 13,06$ heures de présence. Tout comme à l'été et à l'automne, il est possible que ces individus aient séjourné près du secteur du port de Québec et que le secteur du pont de l'île d'Orléans n'ait été utilisé que marginalement. À ce jour, la dynamique des déplacements de l'esturgeon noir en période hivernale dans le système du fleuve Saint-Laurent est inconnue. Au cours des prochaines années, les travaux menés par l'équipe de la Direction de la gestion de la faune du Bas-Saint-Laurent du MFFP sur l'esturgeon noir devraient permettre d'obtenir plus de renseignements à ce sujet.

Pour le moment, les données de télémétrie à fine et à grande échelle spatiale obtenues pour les esturgeons noirs juvéniles et les adultes indiquent que cette espèce fréquente régulièrement le secteur du pont de l'île d'Orléans pour de courts séjours. De plus, ce secteur semble couvrir en partie le domaine vital de certains individus. Toutefois, le secteur du pont de l'île d'Orléans ne semble pas être une zone de concentration, tant pour les adultes que pour les juvéniles.

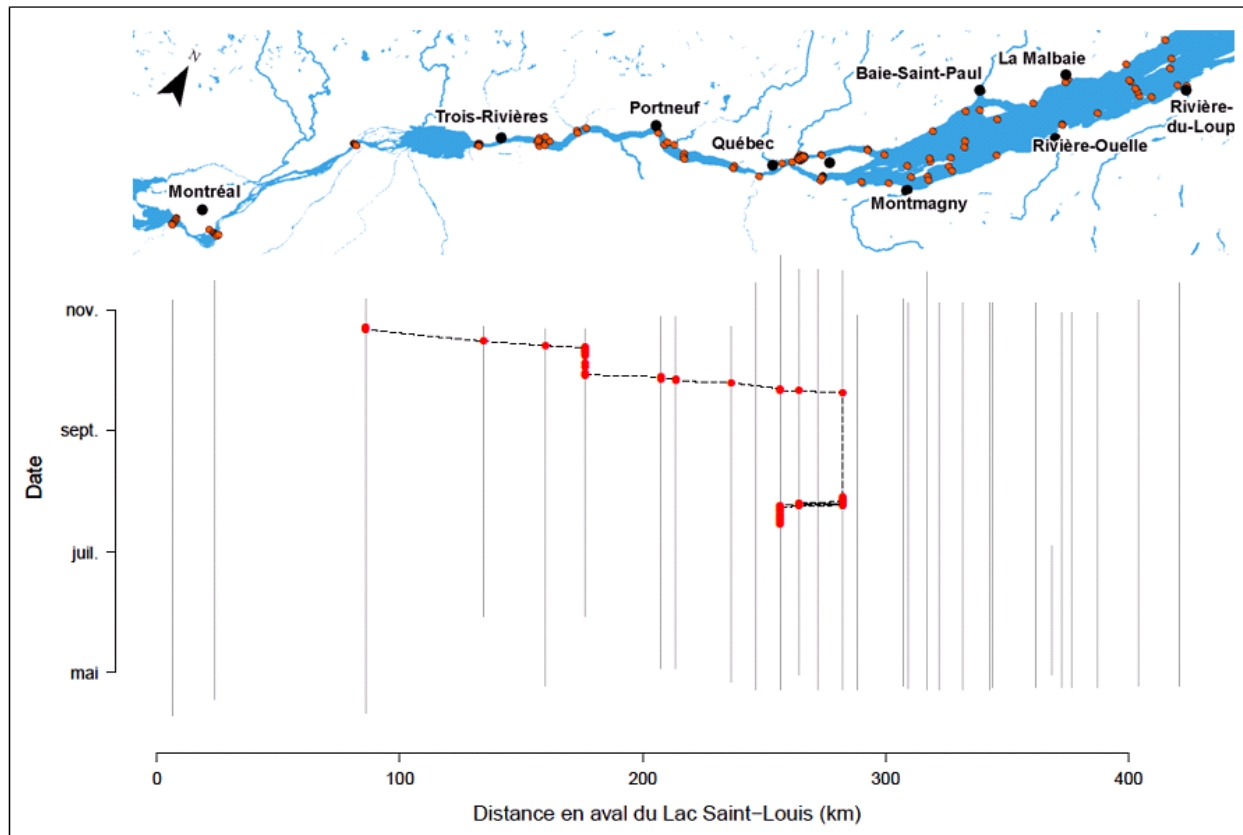


Figure 104 : Carte générale de la position des récepteurs dans le fleuve Saint-Laurent, chaque point orangé représentant un récepteur (haut) et graphique du patron de déplacement d'un esturgeon noir juvénile (n° 26763) suivi en 2013 (bas). L'axe des ordonnées indique le temps écoulé. L'axe des abscisses représente la distance linéaire du fleuve Saint-Laurent depuis le lac Saint-Louis. Les lignes verticales grises représentent l'emplacement et la période de déploiement des récepteurs de chaque secteur du fleuve couvert. Les points rouges représentent la détection de l'individu par les récepteurs des différents secteurs. Les lignes pointillées entre les points rouges représentent les déplacements de l'individu entre les secteurs. Dans ce cas-ci, le secteur du pont de l'île d'Orléans est uniquement utilisé comme un lieu de transit.

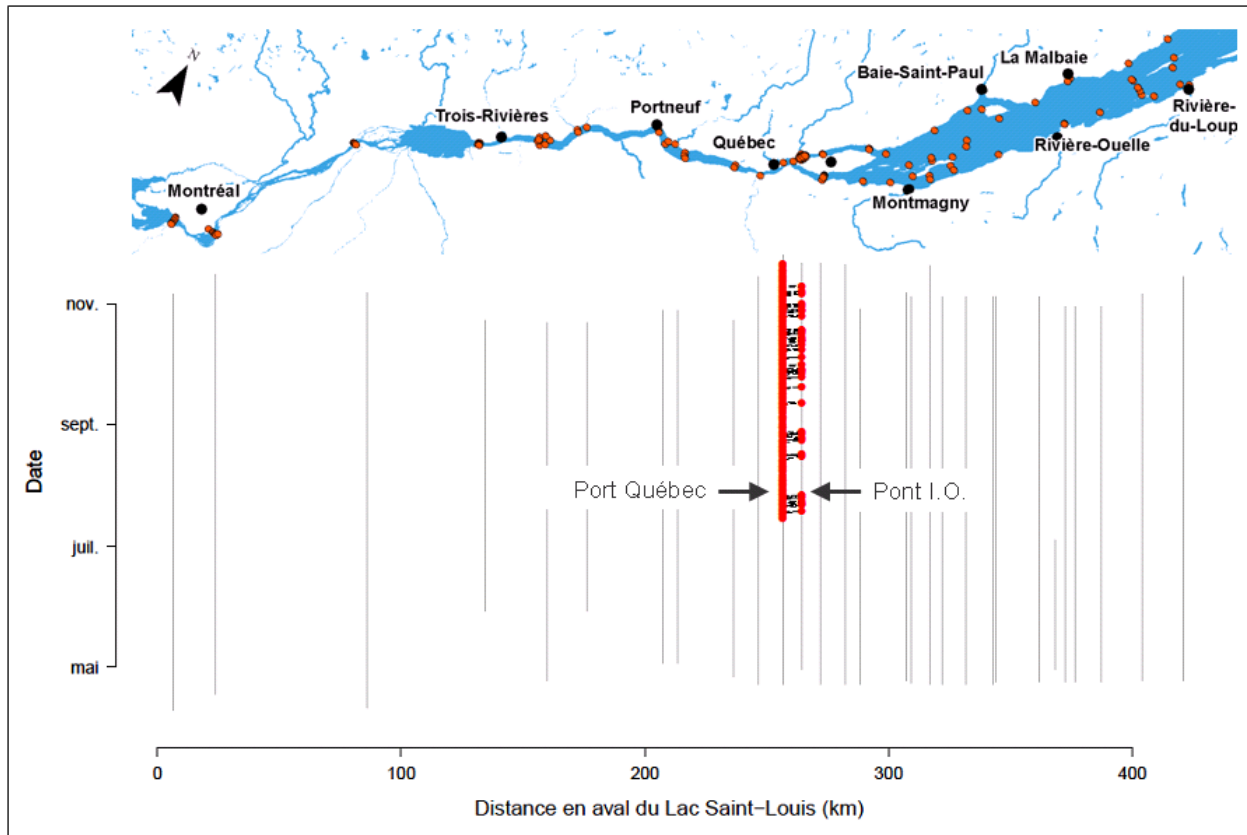


Figure 105 : Carte générale de la position des récepteurs dans le fleuve Saint-Laurent, chaque point orangé représentant un récepteur (haut) et graphique du patron de déplacement d'un esturgeon noir juvénile (n° 26768) suivi en 2013 (bas). L'axe des ordonnées indique le temps écoulé. L'axe des abscisses représente la distance linéaire du fleuve Saint-Laurent depuis le lac Saint-Louis. Les lignes verticales grises représentent l'emplacement et la période de déploiement des récepteurs de chaque secteur du fleuve couvert. Les points rouges représentent la détection de l'individu par les récepteurs des différents secteurs. Les lignes pointillées entre les points rouges représentent les déplacements de l'individu entre les secteurs. Dans ce cas-ci, l'individu est un résident du secteur du port de Québec, mais il effectue régulièrement des excursions vers le secteur du pont de l'île d'Orléans.

Anguille d'Amérique

En 2012, aucune des anguilles d'Amérique jaunes marquées au lac Saint-François n'a dépassé le lac Saint-Louis dans la région de Montréal et, par conséquent, aucune d'entre elles n'a été détectée dans le secteur du pont de l'île d'Orléans. En 2013, 9 anguilles d'Amérique argentées ont été détectées dans le secteur du pont de l'île d'Orléans, soit 7 des 13 anguilles argentées marquées à Cap-Santé en 2013 et 2 anguilles marquées au stade jaune en 2012 au lac Saint-François. Huit des neuf anguilles détectées dans le secteur du pont de l'île d'Orléans y étaient présentes exclusivement à l'automne, lors de leur migration vers la mer. Les anguilles d'Amérique présentes dans le fleuve Saint-Laurent et qui deviennent matures entreprennent leur migration vers la mer des Sargasses à l'automne, l'apogée se situant généralement en octobre (Verreault et al. 2002). Par contre, une des anguilles marquées en 2012 au stade jaune a été détectée dans le secteur du pont de l'île d'Orléans seulement au printemps et à l'été et non à l'automne.

Dans tous les cas, les anguilles n'étaient que de passage dans le secteur du pont de l'île d'Orléans et leur temps de transit était court, et ce, à toutes les saisons. Le nombre d'événements de résidence moyen se situait à $2,1 \pm SE 0,4$, alors que la durée totale moyenne de leur séjour était de $6,40 \pm SE 1,92$ heure. Les données à fine échelle spatiale du secteur du pont de l'île d'Orléans obtenues avec le système de positionnement VPS révèlent aussi que les anguilles qui pénètrent dans le secteur du pont de l'île d'Orléans effectuent un parcours linéaire, qui s'amorce toujours de l'amont du secteur vers l'aval (p. ex., Figure 106), à l'exception d'une anguille qui a effectué une boucle et qui est repartie vers l'amont pour ensuite emprunter le chenal des Grands Voiliers. Les parcours à l'échelle du fleuve Saint-Laurent confirment que les anguilles d'Amérique marquées ont utilisé le secteur du pont de l'île d'Orléans comme lieu de transit lors de leur migration vers la mer (p. ex., Figure 107).

Des 13 anguilles argentées marquées à Cap-Santé, 6 ont emprunté le chenal de l'île d'Orléans comme voie migratoire, alors que 7 ont emprunté le chenal des Grands Voiliers. Des travaux menés sur la dynamique de la dévalaison des anguilles d'Amérique argentées du fleuve Saint-Laurent indiquent qu'environ 20 % des individus en migration utiliseraient le chenal de l'île d'Orléans (Beguer-Pon et al. 2014). Ainsi, ce chenal pourrait être un lieu de passage d'importance lors de la migration automnale des anguilles d'Amérique vers les aires de reproduction en mer des Sargasses et mérite qu'on y porte une attention particulière.

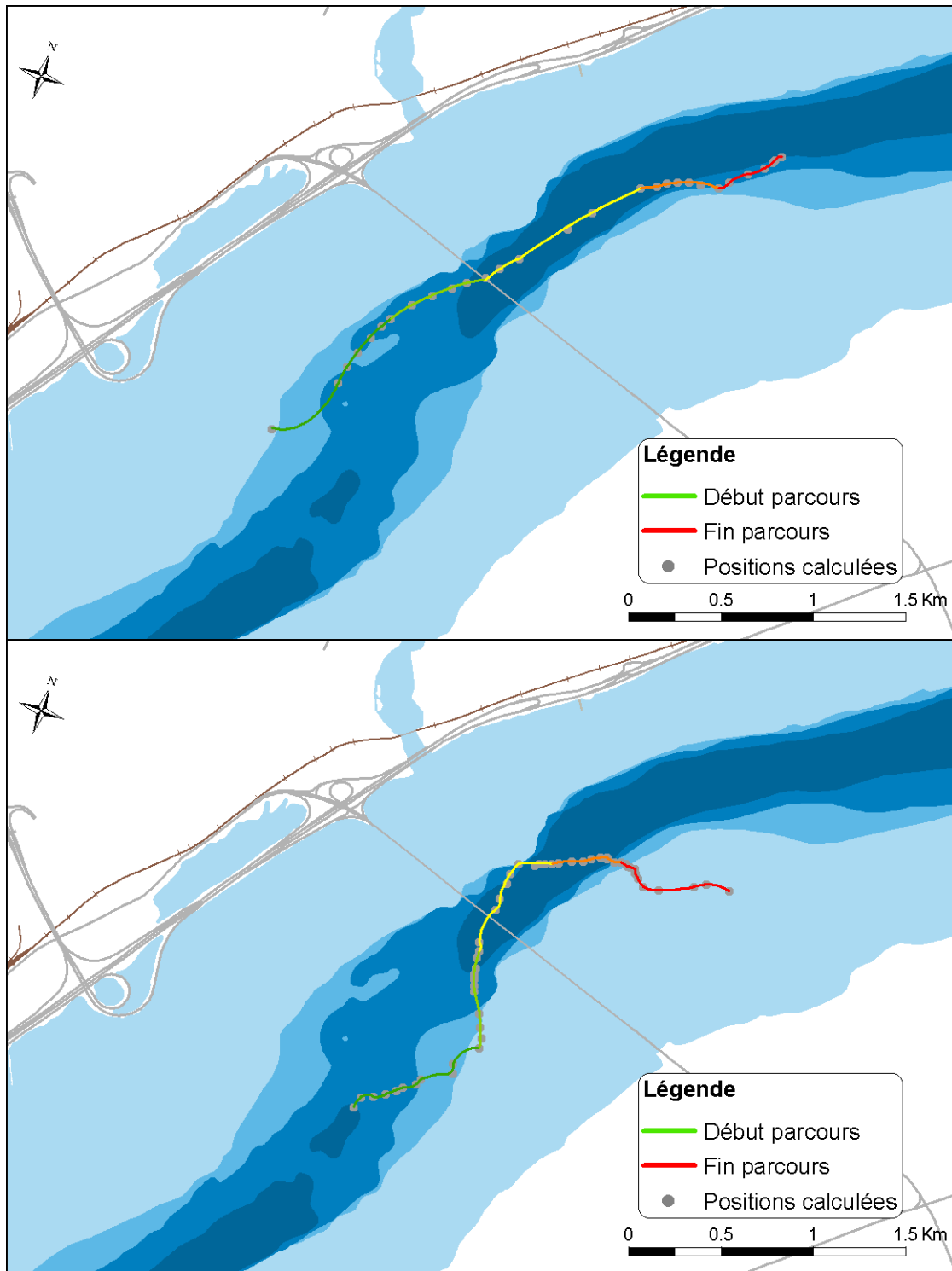


Figure 106 : Exemples d'itinéraires empruntés par les anguilles d'Amérique argentées dans le secteur du pont de l'île d'Orléans lors de leur migration vers la mer en 2013 : le transit s'effectue de l'amont vers l'aval de façon linéaire. Le dégradé du vert au rouge représente les positions initiales (vert) vers les positions terminales (rouge).

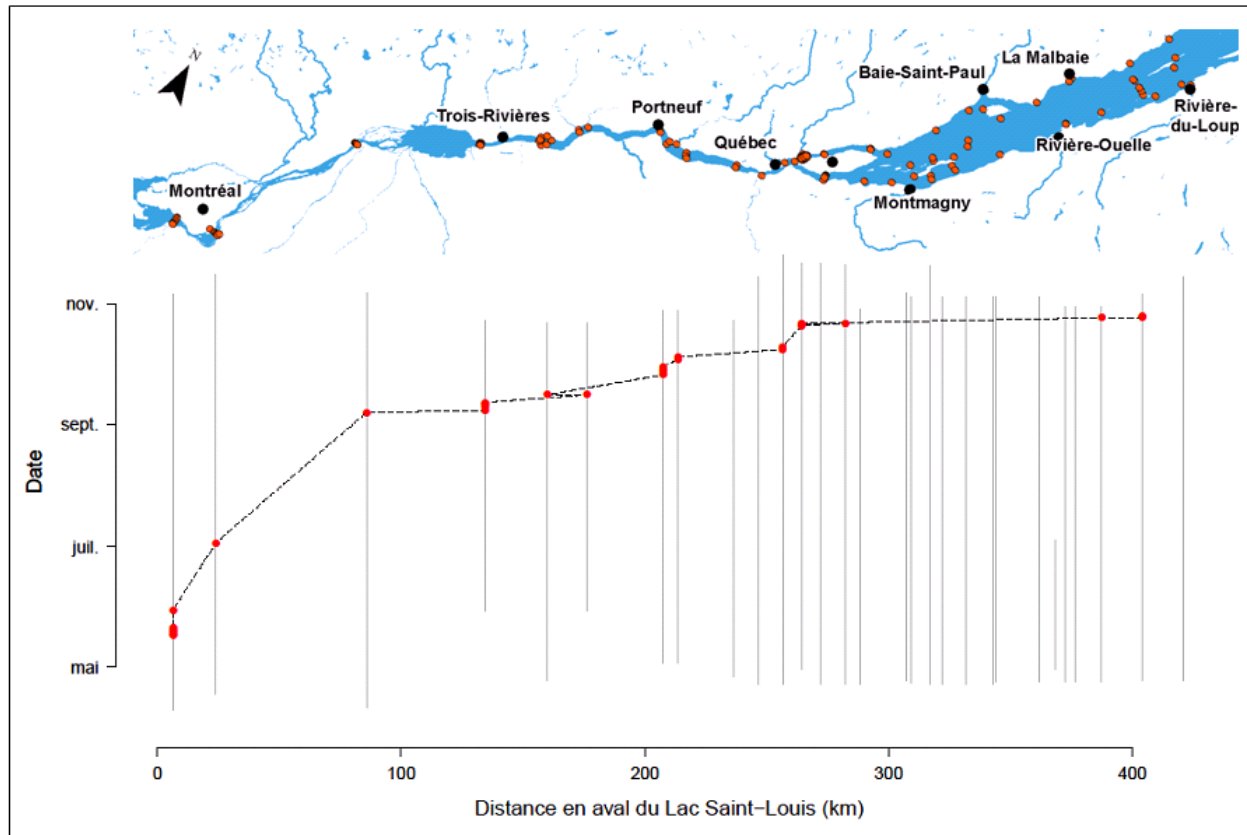


Figure 107 : Carte générale de la position des récepteurs dans le fleuve Saint-Laurent, chaque point orangé représentant un récepteur (haut) et graphique du patron de déplacement d'une anguille d'Amérique au stade argenté (n° 5653) suivie en 2013. L'axe des ordonnées indique le temps écoulé. L'axe des abscisses représente la distance linéaire du fleuve Saint-Laurent depuis le lac Saint-Louis. Les lignes verticales grises représentent l'emplacement et la période de déploiement des récepteurs de chaque secteur du fleuve couvert. Les points rouges représentent la détection de l'individu par les récepteurs des différents secteurs. Les lignes pointillées entre les points rouges représentent les déplacements de l'individu entre les secteurs. Dans ce cas-ci, l'anguille se déplace progressivement de la région de Montréal vers l'estuaire moyen qu'elle quitte à la fin du mois d'octobre. Elle n'effectue qu'un court passage dans le secteur du pont de l'île d'Orléans.

Synthèse et limitations

Les données de télémétrie à fine et à grande échelle spatiale ont permis de décrire très précisément les déplacements du bar rayé, de l'esturgeon jaune, des saumoneaux de la rivière Jacques-Cartier et du baret, autant dans le secteur du pont de l'île d'Orléans que dans l'ensemble du fleuve Saint-Laurent. À ces espèces se sont ajoutés l'esturgeon noir et l'anguille d'Amérique pour lesquelles des individus marqués ont aussi fréquenté le secteur du pont de l'île d'Orléans.

Les méthodes employées pour documenter la présence de ces espèces dans le secteur du pont de l'île d'Orléans et l'utilisation qu'elles en font se sont avérées appropriées et efficaces malgré les difficultés techniques posées par la nature dynamique du terrain. Bien que la grille de récepteurs déployée en 2012 n'ait pas permis de calculer les positions géographiques des individus présents, les tracés tests effectués en bateau ont confirmé son étanchéité et son efficacité à détecter un individu lorsque celui-ci se trouvait à l'intérieur de la grille. Le système de positionnement déployé en 2013 a pour sa part permis d'obtenir un grand nombre de positions géographiques pour les différentes espèces, à l'exception du saumon atlantique.

Malgré la bonne performance du système de positionnement de 2013, la documentation précise de l'utilisation des rives est demeurée un véritable défi. La végétation et les fluctuations importantes du niveau de l'eau rendent les récepteurs hydroacoustiques peu performants dans ces zones quant à la détection des signaux émis par les émetteurs. Les récepteurs situés en rive nord du chenal de l'île d'Orléans semblaient toutefois mieux performer que les récepteurs situés en rive sud. L'utilisation concomitante d'émetteurs hydroacoustiques et d'émetteurs radio serait à favoriser si l'on devait suivre les déplacements d'espèces utilisant les rives et les herbiers.

Pour le bar rayé, les saumoneaux et les anguilles d'Amérique, les données de télémétrie indiquent que le secteur du pont de l'île d'Orléans est avant tout un lien connectif entre des habitats essentiels et qu'il est utilisé comme lieu de passage entre ceux-ci. De même, en plus de servir de lieu de passage, le secteur du pont de l'île d'Orléans représente un habitat essentiel et est utilisé extensivement pour la reproduction par l'esturgeon jaune et le baret, pour l'alimentation, ainsi que comme refuge hivernal par les esturgeons jaunes et noirs et le baret. Certaines zones sont plus utilisées que d'autres. Cette utilisation varie aussi selon les espèces et la période de l'année.

Les conditions environnementales qui prévalent dans ces zones de concentration seront caractérisées dans la deuxième partie du rapport. La connaissance des paramètres qui caractérisent ces habitats permettra de mieux définir les variables d'habitats recherchées par ces espèces.

Mollusques et crustacés

Les mollusques visés lors des campagnes d'échantillonnage de 2012 et de 2013 étaient les moules d'eau douce indigènes (mulettes). Depuis plusieurs décennies, les moules d'eau douce souffrent d'un fort déclin de leur effectif et plusieurs espèces vivant au Québec sont en situation précaire (revu par Paquet et al. 2005). Les mulettes se caractérisent par un faible recrutement et un cycle de vie complexe qui les rend vulnérables aux perturbations de l'environnement (Paquet et al. en prép.). Par ailleurs, les mulettes sont étroitement liées à la faune ichthyologique (Strayer 2008). En effet, elles ont la particularité d'être parasites obligatoires durant leur stade larvaire et utilisent systématiquement certaines espèces de poissons comme hôtes pour la métamorphose des glochidies en moules juvéniles (Kat 1984, McMahon et Bogan 2001). Compte tenu de l'occurrence de certaines mulettes à statut précaire dans la région de Québec (MFFP 1999) et de la présence de certains de leurs poissons-hôtes, une attention particulière a été portée à ce groupe dans le cadre des présents travaux.

Quant aux crustacés visés lors de la campagne d'échantillonnage de 2013, il s'agissait des décapodes d'eau douce, plus précisément du groupe des écrevisses. Bien qu'aucune espèce d'écrevisses présente au Québec ne soit en situation précaire, ce groupe ne reçoit que peu d'intérêt scientifique au Québec et l'aire de répartition de plusieurs espèces reste à définir avec plus de précision (Dubé et Desroches 2007).

Matériel et méthodes

Mollusques

Les moules ont été échantillonnées lors des inventaires normalisés au filet maillant décrits à la section 3.2 du présent document. Comme les filets maillants benthiques sont installés au fond du cours d'eau, ils permettent de récolter accidentellement les moules indigènes enfouies partiellement dans le substrat au site d'échantillonnage. Pour les deux années d'échantillonnage, les moules d'eau douce indigènes et les moules exotiques envahissantes de la famille des Dressenidés (moules zébrées et moules quaggas) capturées accidentellement ont été conservées dans un sac de plastique et envoyées au laboratoire où elles étaient immédiatement congelées jusqu'à leur analyse.

Crustacés

L'échantillonnage à la seine et au filet maillant est une méthode efficace pour capturer les écrevisses (Dubé et Desroches 2007). Ainsi, toutes les écrevisses récoltées lors des inventaires normalisés au filet maillant et à la seine de 2013 (voir section 3.2 du présent document) ont été conservées dans des sacs de plastique et envoyées au laboratoire où elles étaient immédiatement congelées jusqu'à leur analyse.

Identification, dénombrement et mesures biométriques

Mollusques

En laboratoire, les moules ont été analysées par une experte en identification des moules d'eau douce du MFFP, M^{me} Annie Paquet. Les moules ont d'abord été décongelées, puis elles étaient soigneusement sorties des sacs afin d'éviter que les deux valves des moules mortes ne se séparent. Tous les individus n'ayant qu'une seule valve étaient mis à l'écart, la deuxième valve était recherchée dans le sac et appariée lorsque possible. À la fin, les moules pour lesquelles une seule valve subsistait ont été comptées comme un seul individu.

Les moules ont ensuite été trempées dans l'eau fraîche et nettoyées. Elles ont été identifiées, dénombrées et leur état à la récolte (vivante ou morte) a été évalué. Le stade de maturité de chacun des individus a aussi été évalué et le sexe a été déterminé pour les espèces présentant un dimorphisme sexuel. Pour les moules mortes, la qualité de la nacre a été évaluée, ce qui permet de déterminer si la mort est récente (coquille fraîche) ou si elle remonte à plus d'un an (vieille coquille). Les moules qui étaient vivantes lors de la récolte ont également été examinées afin de vérifier la présence de byssus de Dreissenidés (moules zébrées et quaggas) sur la partie externe de la coquille. La présence de ces byssus indique que la moule était parasitée par des moules zébrées ou quaggas.

Crustacés

Les écrevisses ont été traitées en laboratoire où elles ont été identifiées, dénombrées et sexées.

Traitement des données

Abondance, répartition et infestation

Mollusques

Les deux années d'échantillonnage ont été groupées afin de calculer l'abondance des moules vivantes et mortes, par espèce et par secteur. Les abondances ont ensuite été comparées entre les secteurs. Le taux de moules infestées par des moules zébrées ou quaggas a également été évalué.

Crustacés

L'abondance des écrevisses a été calculée par espèce et par secteur.

Diversité des espèces

Le nombre d'espèces de moules a été calculé pour chacun des secteurs. Pour ces analyses, les deux années d'échantillonnage ont été groupées afin de réduire la variabilité interannuelle d'abondance. Seuls les spécimens récoltés vivants et morts récemment ont été utilisés pour calculer le nombre d'espèces. Les coquilles mortes fraîches peuvent être utilisées pour calculer le nombre d'espèces, car on présume qu'elles se trouvent dans le milieu où elles ont vécu.

(COSEPAC 2011b). Les moules mortes depuis plus d'un an ont été exclues du décompte, puisque les vieilles coquilles des individus morts peuvent être transportées par les courants sur de grandes distances. De ce fait, les vieilles coquilles récoltées peuvent provenir d'un autre endroit que celui d'intérêt et fausser le décompte des espèces. Pour les écrevisses, étant donné qu'une seule espèce a été trouvée, aucune analyse de diversité n'a été effectuée.

Résultats, discussion et limitations : mollusques

Résultats

Des 325 spécimens de moules récoltés, 180 étaient vivants lors de la récolte, 144 étaient morts depuis plus de 1 an et 1 individu était mort depuis moins de 1 an. La majorité des spécimens (319) a été récoltée dans le secteur du pont alors que 6 individus ont été récoltés dans le secteur témoin. Aucune moule morte n'a été récoltée dans le secteur témoin. La presque totalité des spécimens récoltés vivants (178 sur 180, ce qui représente 99 % des spécimens) était infestée par des moules zébrées ou quaggas (Figure 108).

Les 180 moules récoltées vivantes dans l'aire d'étude appartenaient à 3 espèces distinctes : l'elliptio de l'Est (*Elliptio complanata*), la lamspile rayée (*Lampsilis radiata*) et la ligumie noire (*Ligumia recta*; Tableau 24 et Figure 108). Les 3 espèces ont été trouvées dans le secteur du pont, où l'elliptio de l'Est dominait largement l'assemblage avec 167 spécimens récoltés, comparativement à 6 pour la lamspile rayée et 1 pour la ligumie noire (Tableau 24). Deux des trois espèces ont aussi été trouvées dans le secteur témoin, mais en quantité beaucoup plus faible. Seulement cinq elliptios de l'Est et une lamspile rayée y ont été récoltées.

Tableau 24 : Espèces de moules récoltées dans le secteur du pont et le secteur témoin, ainsi que leur état lors de la récolte (mortes ou vivantes).

Nom français	Nom latin	Pont vivantes	Témoin vivantes	Pont mortes	Témoin mortes	Total
Elliptio de l'Est	<i>Elliptio complanata</i>	167	5	144	0	316
Lamspile rayée	<i>Lampsilis radiata</i>	6	1	1	0	8
Ligumie noire	<i>Ligumia recta</i>	1	0	0	0	1
Total		174	6	145	0	325



Figure 108 : Espèces de moules trouvées dans le secteur du pont de l'île d'Orléans : en a) elliptio de l'Est; en b) lampsile rayée; en c) ligumie noire; et en d) lampsile rayée infestée par des Dreissenidés.

Discussion

Sur les 21 espèces de moules d'eau douce indigènes du Québec (MFFP 1999), 3 ont été trouvées dans le secteur du pont de l'île d'Orléans. À l'échelle du fleuve et de la région de Québec, cela représente une faible diversité. Les deux espèces les plus abondantes dans le secteur du pont de l'île d'Orléans (elliptio de l'Est et lampsile rayée) sont les deux espèces de moules indigènes les plus communes dans le fleuve Saint-Laurent (MFFP 1999). Quant à la ligumie noire récoltée en 2013, il s'agit du spécimen trouvé le plus à l'est de l'aire de répartition de l'espèce sur la rive nord du Saint-Laurent.

Compte tenu du lien étroit entre la présence de poissons-hôtes et l'occurrence des mulettes dans un habitat donné (Strayer 2008, Charbonneau 2012), en plus de la présence avérée de huit espèces de mulettes dans la région de Québec (de Saint-Nicolas à Montmagny; MFFP 1999), on aurait pu s'attendre à trouver une plus grande diversité de mulettes dans le secteur du pont de

l'île d'Orléans (Tableau 25). Si l'on tient compte des mentions de spécimens pour lesquels de vieilles coquilles ont été trouvées dans la région de Québec, la diversité des moules de cette région s'établit à 10 espèces (Tableau 25). C'est notamment le cas de l'obovarie olivâtre (*Obovaria olivaria*), une espèce susceptible d'être désignée comme menacée ou vulnérable au Québec, et en voie de disparition au Canada. En effet, compte tenu de son utilisation des esturgeons comme poisson-hôte (COSEPAC, 2011b), elle avait une forte possibilité de présence dans le secteur du pont de l'île d'Orléans.

La faible diversité des moules d'eau douce dans le secteur du pont de l'île d'Orléans s'explique probablement en partie par leur très forte infestation par les moules zébrées et quaggas (99 %). En effet, les Dressénidés nuisent considérablement aux moules, puisqu'elles sont directement en compétition avec elles pour les ressources alimentaires, qu'elles nuisent à leur respiration, en plus de les encombrer lorsqu'elles se fixent à leur coquille (Ricciardi et al. 1996, Strayer et Smith 1996, Strayer et Malcom 2007a, Bódis et al. 2014). Certaines espèces de moules sont plus sensibles que d'autres à l'infestation par les moules zébrées et peuvent être complètement éliminées quand cette dernière est présente (Strayer et Smith 1996). Par ailleurs, dans les habitats où le substrat dur est rare, ce qui est le cas dans le secteur d'étude, les moules zébrées s'installent sur les moules qui représentent alors un substrat dur de choix (deLafontaine et Comiré 2004).

Sur le plan de l'abondance, la grande majorité des spécimens d'elliptio de l'Est et de lampsile rayée récoltés vivants provient du secteur du pont où ils ont été trouvés en grand nombre, alors que peu de spécimens proviennent du secteur témoin. Dans les grandes rivières comme le fleuve Saint-Laurent, la distribution des moules est le plus souvent en agrégat et très irrégulière (Strayer et al. 1994, Paquet et al. en prép.). De plus, les variations d'abondance s'expliquent peu par les variables environnementales traditionnelles telles que la profondeur, la vitesse du courant, la distance de la côte, la présence de végétaux, etc. Il est donc difficile d'expliquer la forte abondance de moules dans certains secteurs et leur absence dans d'autres (Strayer et al. 1994). Quoi qu'il en soit, le secteur du pont de l'île d'Orléans présente une forte abondance de moules par rapport au secteur témoin. Étant donné leur faible capacité à se déplacer, ces organismes sont sensibles aux perturbations physiques de leur habitat (revu par Paquet et al. 2005, Paquet et al. en prép.). Par ailleurs, les perturbations qui modifient la densité des individus et leur agrégation spatiale peuvent avoir des conséquences sérieuses sur le maintien de populations viables, notamment chez l'elliptio de l'Est (Downing et al. 1993).

Tableau 25 : Liste des espèces de mulettes ayant été trouvées dans le secteur du pont de l'île d'Orléans en 2012 et 2013 et dans la région de Québec (MFFP, 1999) selon leur état. Les espèces en situation précaire selon la Loi sur les espèces menacées et vulnérables du Québec ou selon la Loi sur les espèces en péril au Canada sont identifiées.

Nom français	Nom latin	Pont I. O.	Québec : vivantes et coquilles fraîches	Québec : vieilles coquilles	LEMV	LEP
Alasmidonte à fortes dents	<i>Alasmidonta undulata</i>		x			
Anodonte du gaspareau	<i>Anodonta implicata</i>		x	x	Susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable	
Elliptio de l'Est	<i>Elliptio complanata</i>	x	x	x		
Elliptio à dents fortes	<i>Elliptio crassidens</i>		x	x	Susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable	
Elliptio pointu	<i>Elliptio dilatata</i>				x	Susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable
Lampsile cordiforme	<i>Lampsilis cardium</i>		x	x		
Lampsile rayée	<i>Lampsilis radiata</i>	x	x	x		
Ligumie noire	<i>Ligumia recta</i>	x	x	x		
Obovarie olivâtre	<i>Obovaria olivaria</i>				x	Susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable
Anodonte de l'Est	<i>Pyganodon cataracta</i>		x	x		En voie de disparition (COSEPAC, 2011b)

Toutes les mulettes récoltées mortes provenaient du secteur du pont. Les coquilles vides des mulettes peuvent persister dans les cours d'eau des décennies après leur mort où leur amoncellement joue un rôle écologique majeur (Gutiérrez et al. 2003, Strayer et Malcom 2007b). Constituant un substrat plus grossier, elles hétérogénéisent les habitats dans les environnements dominés par des sédiments fins (Strayer et al. 1994, revu par Gutiérrez et al. 2003). L'accumulation des coquilles peut aussi créer des conditions favorables à la reproduction d'autres espèces animales, dont les poissons (Chatelain et Chabot 1983, revu par Gutiérrez et al. 2003). Ainsi, l'accumulation des coquilles de mulettes vides pourrait jouer un rôle important dans la structure de l'habitat dans le secteur du pont de l'île d'Orléans.

Limitations

Les conditions physiques du secteur du pont de l'île d'Orléans ont présenté des difficultés majeures pour ce qui est de documenter l'état référence des moules d'eau douce indigènes. Les méthodes d'inventaire les plus appropriées pour les moules d'eau douce que sont l'aquascope, l'apnée, la plongée et l'utilisation de caméras sous-marines (Nedeau et al. 2000) n'ont pu être utilisées notamment à cause des courants et de la faible visibilité causée par la forte turbidité de l'eau dans le secteur d'étude. Dans ce contexte, la collecte des moules capturées lors des inventaires ichtyologiques au filet maillant s'est révélée une solution de rechange intéressante, mais imparfaite. En effet, l'utilisation du filet maillant permet d'échantillonner que les moules qui sont de tailles suffisantes, qui ont une forme qui se prête bien au maillage et qui se trouvent en assez forte densité. Bien que le filet maillant permette à l'occasion de capturer des moules de plus petits calibres et qui se trouvent en faible densité, les chances de capturer ces dernières sont moindres (A. Paquet, communication personnelle, août 2014). Il est donc possible que certaines espèces soient présentes dans le secteur du pont de l'île d'Orléans, mais qu'elles n'aient pas été détectées lors de nos inventaires.

Résultats, discussion et limitations : crustacés

Résultats

Au total, 13 individus appartenant à une seule espèce, l'écrevisse à épines (*Orconectes limosus*) ont été récoltés dans le secteur du pont et le secteur témoin (Figure 109). De ces 13 spécimens, 7 ont été récoltés dans le secteur du pont, alors que 6 ont été récoltés dans le secteur témoin. Tous les individus ont été capturés au printemps (avril-mai).

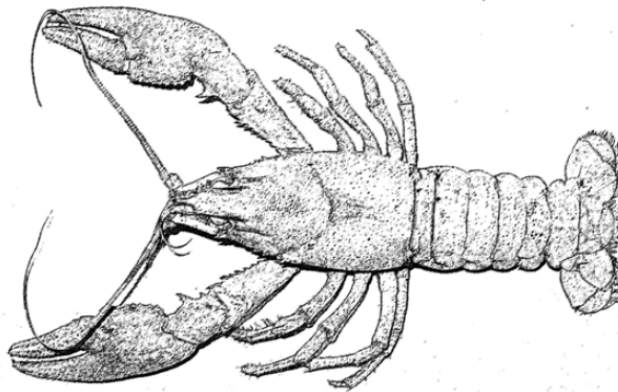


Figure 109 : Illustration de l'écrevisse à épines (*Orconectes limosus*), tirée de Dubé et Desroches, 2007.

Discussion

Sur les huit espèces d'écrevisses présentes au Québec, cinq peuvent être trouvées dans le fleuve Saint-Laurent, de Montréal à Québec (Dubé et Desroches 2007, Environnement Canada 2014). Aucune des espèces vivant dans le fleuve Saint-Laurent n'est actuellement en péril. La seule espèce capturée dans le secteur du pont de l'île d'Orléans, l'écrevisse à épines, est une espèce commune qui se rencontre dans tout le fleuve Saint-Laurent, jusqu'à Montmagny. Elle apprécie particulièrement les substrats vaseux et rocheux ainsi que la végétation aquatique (Dubé et Desroches, 2007). Lors d'un inventaire d'écrevisses mené par le Service canadien de la faune d'Environnement Canada dans le bassin du fleuve Saint-Laurent en 2001, seule l'écrevisse à épines avait également été capturée dans les limites de l'aire d'étude du présent projet (Environnement Canada, 2014). Il apparaît que le secteur du pont de l'île d'Orléans ne renferme qu'une faible diversité d'écrevisses par rapport au fleuve Saint-Laurent (huit espèces) et à la région de Québec en général (cinq espèces). Les écrevisses du Québec reçoivent cependant peu d'intérêt scientifique et peu d'information est disponible à leur sujet. D'autres espèces que celles identifiées pourraient donc fréquenter le secteur d'étude sans que leur présence ait à ce jour été documentée.

Limitations

Aucun échantillonnage à la seine ou au filet maillant n'a été effectué dans le bassin Montmorency à cause de contraintes logistiques importantes, notamment la profondeur de l'eau et la fréquentation importante de ce lieu par le public. De plus, aucune information n'est disponible sur les écrevisses pour ce secteur en particulier. Il pourrait être possible que ce secteur soit fréquenté par d'autres espèces d'écrevisses.

Conclusion et enjeux fauniques

Conclusion générale

Se situant à la confluence de l'estuaire fluvial et de l'estuaire moyen du Saint-Laurent, le secteur du pont de l'île d'Orléans présente une diversité d'habitats favorables à de nombreuses espèces aquatiques. De fait, les données collectées dans l'aire d'étude en 2012 et en 2013 ont permis de mettre en évidence la richesse de sa faune aquatique et de ses habitats. Ce territoire est fréquenté par 49 espèces de poissons différentes, dont les 7 espèces en situation précaire présentes dans la région de Québec. Le secteur du pont de l'île d'Orléans abrite aussi des habitats de frai d'importance, de nombreuses aires d'alevinage et d'alimentation ainsi qu'un refuge hivernal pour bon nombre d'espèces. Alors que certaines espèces y accomplissent tout leur cycle vital, d'autres y sont présentes de façon plus ou moins ponctuelle pour répondre à des besoins précis tels que la reproduction et l'alimentation. Pour d'autres espèces encore, ce secteur est avant tout utilisé comme lieu de passage, étant ainsi un lien connectif entre différents habitats essentiels. Les inventaires menés dans le secteur du pont de l'île d'Orléans ont aussi révélé la faible diversité des moules d'eau douce et d'écrevisses. Seulement trois espèces de moules d'eau douce et une espèce d'écrevisses y ont été répertoriées.

Bien qu'à l'échelle du fleuve Saint-Laurent le secteur du pont de l'île d'Orléans soit un petit territoire, l'importance fonctionnelle des habitats qu'il abrite se manifeste bien au-delà de ses frontières. De fait, certaines espèces qui le fréquentent se répartissent du lac Saint-Louis en amont, jusqu'à L'Isle-aux-Coudres en aval. Le cas le plus évident est celui de l'esturgeon jaune. Les individus utilisant la frayère de la rivière Montmorency appartiennent à trois contingents migratoires qui, une fois le frai terminé, se répartissent dans tout le fleuve Saint-Laurent. De même, la frayère de baretts répertoriée dans le secteur du pont de l'île d'Orléans est utilisée par une population qui se répartit de Portneuf à L'Isle-aux-Coudres. Il apparaît donc que ce petit secteur contribue tangiblement au maintien de populations de poissons présentes dans tout le fleuve Saint-Laurent.

Les répercussions sur l'habitat et la faune aquatique occasionnées par la construction et la présence d'un nouveau lien routier dans le secteur du pont de l'île d'Orléans se manifesteront inévitablement à l'échelle locale. Toutefois, il importe aussi de considérer la portée de ces répercussions à grande échelle, bien au-delà des limites du secteur du pont lui-même, puisqu'elles peuvent nuire à la présence et au recrutement de certaines espèces à l'échelle du fleuve Saint-Laurent.

Conclusions sur les principales espèces visées

Alose savoureuse

Les adultes de l'alose savoureuse ne fréquentent pas ou peu le secteur du pont de l'île d'Orléans. Toutefois, des rassemblements d'adultes en état de frayer ont été documentés dans le secteur de la baie de Beauport, quelques kilomètres en amont du secteur du pont. Chez l'alose savoureuse, la majorité des jeunes de l'année en dévalaison vers l'océan Atlantique utilisent le chenal des Grands Voiliers comme corridor migratoire. Néanmoins, une aire d'alevinage pour l'alose savoureuse a été observée lors de nos

inventaires dans l'aire d'étude. Cela est probablement lié à une ou plusieurs frayères situées à proximité. Ces frayères doivent toutefois être répertoriées.

Bar rayé

Le secteur du pont de l'île d'Orléans est peu fréquenté par la population de bars rayés du fleuve Saint-Laurent qui l'utilise avant tout comme un lieu de passage entre l'estuaire moyen et l'estuaire fluvial du Saint-Laurent. Bien que peu utilisé en termes temporels, ce secteur représente un lien connectif non négligeable entre les habitats de reproduction, les aires d'alimentation et les lieux d'hivernage des individus qui utilisent l'estuaire fluvial.

Éperlan arc-en-ciel

Peu d'éperlans arc-en-ciel adultes ont été capturés dans l'aire d'étude et seulement quelques œufs ont pu être récoltés seulement au cours de la saison de reproduction de 2012. Ainsi, bien que le secteur du pont de l'île d'Orléans abrite un site de fraie pour l'éperlan arc-en-ciel, celui-ci est utilisé marginalement et sporadiquement. Malgré l'absence de frayère d'importance dans le secteur du pont de l'île d'Orléans, une forte abondance de jeunes de l'année a été observée dans l'aire d'étude, particulièrement en aval du secteur témoin. Ces jeunes de l'année proviennent vraisemblablement de lieux de fraie se trouvant entre le pont de Québec et la pointe ouest de l'île d'Orléans. Ces observations signifient que les jeunes de l'année de l'éperlan arc-en-ciel utilisent le secteur du pont comme aire d'alevinage, mais aussi comme lieu de passage entre les aires de fraie et les aires d'alevinage.

Esturgeon jaune

Le secteur du pont de l'île d'Orléans est un lieu très fréquenté par les esturgeons jaunes matures au printemps, ce qui s'explique par la présence d'une frayère d'importance dans la rivière Montmorency. Certains esturgeons jaunes résident à l'année dans le secteur du pont de l'île d'Orléans, alors que d'autres l'utilisent de façon saisonnière ou encore comme simple lieu de passage entre les aires d'hivernage et d'alimentation. Cette grande variation dans l'utilisation des habitats du secteur du pont de l'île d'Orléans par l'esturgeon jaune s'explique par la présence de trois contingents migratoires distincts. En effet, contrairement à ce qui était connu pour l'espèce dans le fleuve Saint-Laurent, les esturgeons jaunes de la région de Québec présentent un comportement de migration partielle.

Les esturgeons jaunes juvéniles fréquentent également l'aire d'étude, faisant partie des espèces dominantes de la communauté de poissons. Comme pour le segment adulte, une variation saisonnière de l'abondance a été observée. Les juvéniles sont plus abondants au printemps et à l'automne qu'ils le sont à l'été. Cela s'explique probablement par des mouvements migratoires au printemps vers les lieux d'alimentation situés en aval du pont de l'île d'Orléans, et à l'automne vers les lieux d'hivernage situés en amont de l'île d'Orléans. Tout comme pour le segment adulte, il est probable que certains individus juvéniles résident à l'année dans le secteur du pont de l'île d'Orléans.

Saumon atlantique

Les saumoneaux de la population de la rivière Jacques-Cartier sont rares dans le secteur du pont de l'île d'Orléans. Seulement une faible proportion des individus marqués avec un émetteur acoustique ont fréquenté le secteur du pont de l'île d'Orléans au cours de leur migration vers l'océan Atlantique. Du fait de leur stratégie de déplacement passive en eau douce, il semble que ces saumoneaux aient été entraînés par les courants et que leur présence dans ce secteur ne relève pas d'un déplacement dirigé et actif.

Baret

Bien qu'abondant dans le fleuve Saint-Laurent, particulièrement dans son estuaire moyen, peu de connaissances étaient disponibles sur le baret jusqu'à la tenue de la présente étude. La frayère trouvée dans le secteur du pont de l'île d'Orléans est la première à être répertoriée dans tout le système du fleuve Saint-Laurent et de ses tributaires. Se situant tout juste en amont des plus importantes aires d'alevinage connues, cette frayère contribue probablement de façon majeure au recrutement du baret présent sur un vaste territoire.

Enjeux fauniques à considérer

Dans le contexte des travaux nécessaires à l'aménagement d'un nouveau lien routier pour l'île d'Orléans, deux enjeux fauniques principaux doivent être considérés.

Le premier enjeu est le maintien de l'intégrité des habitats fauniques répertoriés. Plus précisément, la frayère située dans la rivière Montmorency et à son embouchure, la frayère située dans le chenal de l'île d'Orléans en zone subtidale et les herbiers aquatiques situés en zones intertidales et abritant les jeunes de l'année de nombreuses espèces devraient être préservés. Ces habitats sont utilisés par des populations locales de poissons, mais aussi par des populations qui se répartissent dans l'ensemble du fleuve Saint-Laurent. Ainsi, la perturbation de ces habitats peut nuire au recrutement et à la présence de plusieurs espèces, dont certaines espèces précaires, sur un large territoire.

Le deuxième enjeu est le maintien de la connectivité entre les habitats autant à fine qu'à grande échelle. À fine échelle, le maintien de l'accès aux différents habitats situés à proximité du pont de l'île d'Orléans doit être conservé. Par exemple, les reproducteurs de l'esturgeon jaune qui se rassemblent près de l'embouchure de la rivière Montmorency préalablement à la fraie doivent pouvoir circuler librement entre l'aire de rassemblement et la frayère située dans la rivière Montmorency. À grande échelle, la connectivité entre les habitats situés à l'extérieur du secteur du pont de l'île d'Orléans et ceux situés dans ce secteur doit être maintenue. À titre d'exemple, les reproducteurs de l'esturgeon jaune qui proviennent du lac Saint-Louis doivent être en mesure de se rendre jusqu'à leur frayère d'origine située dans la rivière Montmorency. À grande échelle, le libre passage du poisson doit aussi être assuré pour les espèces qui utilisent le secteur du pont de l'île d'Orléans comme un corridor migratoire lors de leurs déplacements entre des habitats essentiels. C'est par exemple le cas du bar rayé qui utilise le secteur du pont de l'île d'Orléans pour se déplacer de l'estuaire moyen à l'estuaire fluvial et inversement.

Qu'il s'agisse d'espèces en situation précaire ou non, il apparaît capital de préserver les habitats essentiels répertoriés dans le secteur du pont de l'île d'Orléans, mais aussi la connectivité qui existe entre les différents habitats de ce secteur et ceux des autres secteurs du fleuve Saint-Laurent. Cette précaution est valable autant pour assurer le maintien des segments adultes que juvéniles des espèces fréquentant le secteur du pont de l'île d'Orléans.

Références

- ADAMS, N. S., D. W. RONDORF, S. D. EVANS et J. E. KELLY (1998a). Effects of surgically and gastrically implanted radio transmitters on growth and feeding behavior of juvenile Chinook salmon, *Transactions of the American Fisheries Society*, 127: 128-136.
- ADAMS, N. S., D. W. RONDORF, S. D. EVANS, J. E. KELLY et R. W. PERRY (1998b). Effects of surgically and gastrically implanted radio transmitters on swimming performance and predator avoidance of juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*), *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 55: 781-787.
- ANGLEA, S. M., D. R. GEIST, R. S. BROWN, K. A. DETERS et R. D. McDONALD (2004). Effects of acoustic transmitters on swimming performance and predator avoidance of juvenile Chinook salmon, *North American Journal of Fisheries Management*, 24: 162-170.
- APRIL, J., R. H. HANNER, A-M. DION-COTE et L. BERNATCHEZ (2013). Glacial cycles as an allopatric speciation pump in north-eastern American freshwater fishes, *Molecular Ecology*, 22: 409-422.
- ARGUS. 2001. Mise en valeur du littoral de l'agglomération de la Capitale nationale du Québec: élaboration d'un cadre d'analyse régional. Commission de la Capitale nationale. 54 p. + annexes.
- ARVISAIS, M., D. NADEAU, M. LEGAULT, H. FOURNIER, F. BOUCHARD et Y. PARADIS (2012). Plan de gestion du doré au Québec 2011-2016, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, Direction générale de l'expertise sur la faune et ses habitats, Direction de la faune aquatique, 73 p.
- AUER, N. A. (1999). Population characteristics and movements of Lake Sturgeon in the Sturgeon River and Lake Superior, *Journal of Great Lakes Research*, 25: 282-293.
- AUER, N. A. (2013). Form and Function in Lake Sturgeon, dans *The Great Lake Sturgeon*, N. A Auer et D. Dempsey éditeurs, Michigan State University Press, p.9-19.
- BAKER D. W., S. J. PEAKE et J. D. KIEFFER (2008). The Effect of Capture, Handling, and Tagging on Hematological Variables in Wild Adult Lake Sturgeon, *North American Journal of Fisheries Management*, 28: 296-300.
- 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: 1579-1592.
- BEMIS, W. E. et B. KYNARD (1997). Sturgeon rivers: An introduction to acipenseriform biogeography and life history. *Environmental Biology of Fishes*, 48, 167-184.
- BERNATCHEZ, L., S. MARTIN, A. BERNIER (1993). *Caractérisation génétique de la structure populationnelle de l'éperlan arc-en-ciel de l'estuaire du Saint-Laurent*, ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, 44 p.
- BERNATCHEZ, L. et M. GIROUX (2012). *Les Poissons d'eau douce du Québec et leur répartition dans l'est du Canada*, Éditions Broquet, 348 p.

- BILODEAU, P. et H. MASSÉ (2005). *Étude de la reproduction de l'aloise savoureuse (Alosa sapidissima) du Saint-Laurent par l'écoute des clapotements*, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'aménagement de la faune de Montréal, de Laval et de la Montérégie, Longueuil, Rapport technique 16-24, ix + 33 p. + annexes.
- BÓDIS, E., B. TÓTH et R. SOUSA (2014). Impact of Dreissena fouling on the physiological condition of native and invasive bivalves: interspecific and temporal variations, *Biological Invasions*, 16: 1373-1386.
- BOONE, S. S., S. J. DIVERS, A. C. CAMUS, D. L. PETERSON, C. A. JENNINGS, J. L. SHELTON et S. M. HERNANDEZ (2013). Pathologic and Physiologic Effects Associated with Long-Term Intracoelomic Transmitters in Captive Siberian Sturgeon, *North American Journal of Fisheries Management*, 33: 869-877.
- BOUCHARD, D. (1976). *Localisation des frayères des principales espèces de poissons d'intérêt sportif et commercial dans le fleuve Saint-Laurent (Phase I)*, Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent, Service de la recherche biologique à Montréal, ministère du tourisme, de la chasse et de la pêche, 350 p.
- BRASSARD, C. et G. VERREAULT (2000). Caractéristiques de l'habitat de reproduction de l'éperlan arc-en-ciel anadrome du Saint-Laurent. Premier atelier nord-américain sur l'éperlan arc-en-ciel (21-23 février 1999). 9 p.
- BROWN, R. S., D. R. GEIST, K. A. DETERS et A. GRASSELL (2006). Effects of surgically implanted acoustic transmitters > 2% of body mass on the swimming performance, survival and growth of juvenile sockeye and Chinook salmon, *Journal of Fish Biology*, 69: 1626-1638.
- BRUCH, R. M. et F. P. BINKOWSKI (2002). Spawning behavior of lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*), *Journal of Applied Ichthyology*, 18: 570-579.
- BUJOLD, J. N., M. LEGAULT et D. FOURNIER (en préparation). *Comportement spatio-temporel des adultes de la population réintroduite de bars rayés (Morone saxatilis) dans le fleuve Saint Laurent (rapport d'étape)*, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Secteur de la faune et des parcs, Direction générale de l'expertise sur la faune et ses habitats, Direction de la faune aquatique, Québec, 58 p.
- BUJOLD, J. N., M. LEGAULT, D. FOURNIER et E. VALIQUETTE (2014). *Utilisation du fleuve St-Laurent par les bars rayés (Morone saxatilis) adultes de la population réintroduite*, rapport d'étape.
- CAROFFINO, D. C., T. M. SUTTON, R. F. ELLIOTT, ET M. C. DONOFRIO (2010). Predation on Early Life Stages of Lake Sturgeon in the Peshtigo River, Wisconsin. *Transactions of the American Fisheries Society*. 139 (6):1846-1856.
- CARRIER, D., R. BOSSÉ et G. TRENCHIA (1981). *Étude de la fraye de l'éperlan à la rivière Boyer, comté de Bellechasse, 1980*, Québec. ministère du Tourisme, de la Chasse et de la Pêche, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune, Région de Québec.
- CAUCHON, V. (2014). *Bilan de l'exploitation du saumon au Québec en 2013*, ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, Secteur de la faune, 298 p.

- CHARBONNEAU, P. (2012). Les coquilles vides des moules peuvent-elles aider à prédire la faune ichtyenne d'un plan d'eau?, *Le Naturaliste canadien*, 136 (1) : 63-73.
- CHARLEBOIS, P.M., J.E. MARSDEN, R. G. GOETTEL, R. K., WOLFE, D. J., JUDE, et S. RUDNICKA (1997). The round goby, *Neogobius melanostomus* (Pallas), a review of European and North American literature. Illinois- Indiana Sea Grant Program and Illinois Natural History Survey. INHS Special Publication No. 20.
- CHATELAIN, R. et J. CHABOT (1983). Utilisation d'accumulations de coquilles d'Unionidae comme frayères par le touladi (*Salvelinus namaycush*), *Le Naturaliste canadien*, 110 : 363-365.
- COLLECTIF D'AUTEURS ET CBJC (2009). *Bilan de 25 ans d'effort 1981 - 2006 — La réintroduction du saumon atlantique dans la rivière Jacques-Cartier*, 76 p. + 2 annexes.
- COLLINS, M. R., D. W. COOKE, T. I. J. SMITH, W. C. POST, D. C. RUSS et D. C. WALLING (2002). Evaluation of four methods of transmitter attachment on shortnose sturgeon, *Acipenser brevirostrum*, *Journal of Applied Ichthyology*, 18: 491-494.
- COLLINS, A. L., S. G. HINCH, D. W. WELCH, S. J. COOKE et T. D. CLARK (2013). Intracoelomic Acoustic Tagging of Juvenile Sockeye Salmon: Swimming Performance, Survival, and Postsurgical Wound Healing in Freshwater and during a Transition to Seawater, *Transactions of the American Fisheries Society*, 142: 515-523.
- COOKE, S. J., C. M. WOODLEY, M. B. EPPARD, R. S. BROWN et J. L. NIELSEN (2011). Advancing the surgical implantation of electronic tags in fish: a gap analysis and research agenda based on a review of trends in intracoelomic tagging effects studies, *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 21: 127-151.
- COSEPAC (2006). *Évaluation et rapport de situation du COSEPAC sur l'esturgeon jaune (Acipenser fulvescens) au Canada* — Mise à jour, Comité sur la situation des espèces en péril au Canada, Ottawa, xi + 124 p.
- COSEPAC (2010). *Évaluation et rapport de situation du COSEPAC sur le saumon atlantique (Salmo salar) au Canada*, Comité sur la situation des espèces en péril au Canada, Ottawa, i + 162 p.
- COSEPAC (2011a). *Évaluation et rapport de situation du COSEPAC sur l'esturgeon noir (Acipenser oxyrinchus) au Canada*, Comité sur la situation des espèces en péril au Canada, Ottawa, xiii + 56 p.
- COSEPAC (2011b). *Évaluation et rapport de situation du COSEPAC sur l'obovarie olivâtre (Obovaria olivaria) au Canada*, Comité sur la situation des espèces en péril au Canada, Ottawa. xi + 52 p.
- COSEPAC (2012a). *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.
- COSEPAC (2012b). *Évaluation et rapport de situation du COSEPAC sur le bar rayé (Morone saxatilis) au Canada*, Comité sur la situation des espèces en péril au Canada, Ottawa. xx + 86 p.
- COX, D. R. (1972). Regression Models and Life Tables (with Discussion), *Journal of the Royal Statistical Society, Series B* 34: 187-220.

- CZESKLEBA, D. G., S. V. LALLEMANT et T. F. THUEMLER (1985). Artificial spawning and rearing of lake sturgeon, *Acipenser fulvescens*, in Wild Rose State Fish Hatchery, Wisconsin, 1982-1983, dans *North American sturgeons: biology and aquaculture potential*, American fisheries Society, Dr. W. Junk publisher, p. 79-85.
- DEHAAN, P. W., S. V. LIBANTS, R. F. ELLIOTT et K. T. SCRIBNER (2006). Genetic population structure of remnant lake sturgeon populations in the upper Great Lakes basin, *Transactions of the American Fisheries Society*, 135: 1478-1492.
- DELAFONTAINE, Y., F. MARCHAND, D. LABONTÉ, M. LAGACÉ (2002). *The hydrological regime and fish distribution and abundance in the St. Lawrence River: Are experimental trap data a valid indicator?* rapport à la Commission mixte internationale, Centre Saint-Laurent, Environnement Canada.
- DELAFONTAINE, Y. et M. COMIRÉ (2004). Zebra mussel monitoring in the Richelieu river: a fruitful interaction between scientific research and public involvement, p. 53-80, dans T. O. Manley, P. L. Manley and T. B. Mihuc (Éditeurs), *Lake Champlain: Partnerships and Research in the New Millenium*, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 411 p.
- DELONAY, A. J., D. M. PAPOULIAS, M. L. WILDHABER, M. L. ANNIS, J. L. BRYAN, S. A. GRIFFITH, S. H. HOLAN et D. E. TILLITT (2007). Use of behavioral and physiological indicators to evaluate *Scaphirhynchus sturgeon* spawning success, *Journal of Applied Ichthyology*, 23: 428-435.
- DÉRY, J.-F. (2012). *Variation intra-population du mouvement chez l'esturgeon jaune en milieu lotique*, mémoire, Trois-Rivières, Université du Québec à Trois-Rivières, 55 p.
- DESROCHES, J.-F. et I. PICARD (2013). *Poissons d'eau douce du Québec et des Maritimes*, Éditions Michel Quintin, Waterloo, Québec, 471 p.
- DOWNING, J. A., Y. ROCHON et M. PÉRUSSE (1993). Spatial aggregation, body size, and reproductive success in the freshwater mussel *Elliptio complanata*, *Journal of the North American Benthological Society*, 12: 148-156.
- DUBÉ, J. et J.-F. DESROCHES (2007). *Les écrevisses du Québec*, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'aménagement de la faune de l'Estrie, de Montréal et de la Montérégie, Longueuil, v + 51 p. + 6 annexes.
- DUMONT, P., J. D'AMOURS, S. THIBODEAU, N. DUBUC, R. VERDON, S. GARCEAU, P. BILODEAU, Y. MAILHOT et R. FORTIN (2011). Effects of the development of a newly created spawning ground in the Des Prairies River (Quebec, Canada) on the reproductive success of lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*), *Journal of Applied Ichthyology*, 27: 394-404.
- DUMONT, P. et Y. MAILHOT (2013). The St. Lawrence River Lake Sturgeon: Management in Quebec, 1940s-2000s, dans : *The Great Lake Sturgeon*, N. A Auer et D. Dempsey éditeurs, Michigan State University Press, p.101-132.
- ENVIRONNEMENT CANADA (2014). *Distribution des communautés d'écrevisses dans le bassin du fleuve Saint-Laurent*, Observatoire global du Saint-Laurent [<http://OGSL.ca>] (Consulté le 2014-08-18).
- FORTIN, R., S. GUÉNETTE et P. DUMONT (1992). *Biologie, exploitation, modélisation et gestion des populations d'esturgeons jaunes (*Acipenser fulvescens*) dans 14 réseaux de lacs et de rivières*

du Québec, Québec, ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune et Service de la faune aquatique, Montréal et Québec, xxi + 213p.

FOURNIER D. et D. DESCHAMPS (1997). *Pêches expérimentales dans le fleuve Saint-Laurent près de Québec : campagnes d'échantillonnage 1972-1975 et 1991-1992*, ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction de la faune et des habitats, Service de la faune aquatique, Québec, 58 p.

GAGNON, M., Y. MÉNARD ET J.-F. LA RUE (1993). Caractérisation et évaluation des habitats du poisson dans la zone de transition saline du Saint-Laurent. Rapp. Tech. Can. Sci. Halieut. Aquat. 1920 : Viii + 104 p.

GARCEAU, S., M. SIMONEAU et P. BILODEAU (2007). *Modélisation de la séquence temporelle de la reproduction de l'esturgeon jaune (Acipenser fulvescens) à la rivière des Prairies*, ministère des Ressources naturelles et de la Faune et Hydro-Québec — Rapport technique 16-35 viii + 26 p. + annexe.

GAULD, N. R. (2014). *The behavioural ecology of migratory salmonids in the River Tweed, UK*, Durham theses, Durham University, Available at Durham E-Theses Online: <http://etheses.dur.ac.uk/10722/>.

GDG CONSEIL INC. (2001). *Réfection de la centrale de La Gabelle. Programme de surveillance et de suivi environnemental. Utilisation par l'esturgeon jaune d'un nouveau secteur de fraie aménagé en aval de la centrale de La Gabelle — printemps 2001*, Trois-Rivières-Ouest, 33 p.

GENIVAR (2007). *Projet Rabaska — Vérification d'indices de reproduction de l'éperlan arc-en-ciel dans l'estuaire fluvial du Saint-Laurent en 2007, secteur de Lévis-Beaumont* — Rapport Final, rapport de GENIVAR Société en commandite à SNC-Lavalin et à Rabaska, 12 p. et annexes.

GENIVAR (2008). *Projet Rabaska — Vérification d'indices de reproduction de l'éperlan arc-en-ciel dans l'estuaire fluvial du Saint-Laurent en 2008, secteur de Lévis-Beaumont* — Rapport final, rapport de GENIVAR Société en commandite à SNC-Lavalin et à Rabaska, 15 p. et annexes.

GUTIÉRREZ, J. L., C. G. JONES, D. L. STRAYER et O. O. IRIBARNE (2003). Mollusks as ecosystem engineers: the role of shell production in aquatic habitats, *Oikos*, 101: 79-90.

HALL, J. E., J. CHAMBERLIN, A. N. KAGLEY, C. GREENE et K. L. FRESH (2009). Effects of Gastric and Surgical Insertions of Dummy Ultrasonic Transmitters on Juvenile Chinook Salmon in Seawater, *Transactions of the American Fisheries Society*, 138: 52-57.

HATIN, D., R. FORTIN et F. CARON (2003). *Déplacements et sites de concentration d'esturgeons noirs (Acipenser oxyrinchus) adultes dans l'estuaire du fleuve Saint-Laurent, Québec, Canada*, Société de la faune et des parcs du Québec, Direction de la recherche sur la faune, Université du Québec à Montréal, Département des Sciences biologiques, 26 p.

HATIN, D., J. MUNRO, F. CARON et R. D. SIMONS (2007). Movements, Home Range Size, and Habitat Use and Selection of Early Juvenile Atlantic Sturgeon in the St. Lawrence Estuarine Transition Zone, *American Fisheries Society Symposium*, 56: 129-155.

HEDGER, R. D., F. MARTIN, J. J. DODSON, D. HATIN, F. CARON, et F. G. WHORISKEY (2008). The optimized interpolation of fish positions and speeds in an array of fixed acoustic receivers, *ICES Journal of Marine Science*, 65: 1248-1259.

- HEISE, R. J., W. T. SLACK, S. T. ROSS et M. A. DUGO (2004). Spawning and associated movement patterns of gulf sturgeon in the Pascagoula River Drainage, Mississippi, *Transactions of the American Fisheries Society*, 133: 221-230.
- HODGSON, S. et T. P. QUINN (2002). The timing of adult sockeye salmon migration into fresh water: adaptations by populations to prevailing thermal regimes, *Canadian Journal of Zoology*, 80: 542-555.
- HUBERT, N., R. HANNER, E. HOLM, N. E. MANDRAK, E. TAYLOR, M. BURRIDGE, D. WATKINSON, P. DUMONT, A. CURRY, P. BENTZEN, J. ZHANG, J. APRIL et L. BERNATCHEZ (2008). Identifying Canadian Freshwater Fishes through DNA Barcodes, *Plos One*, 3 (6).
- HURLBERT, S. H. (1971). The non-concept of species diversity: a critique and alternative parameters, *Ecology*, 52: 577-586.
- IBBOTSON, A. T., W. R. C. BEAUMONT, A. PINDER, S. WELTON et M. LADLE (2006). Diel migration patterns of Atlantic salmon smolts with particular reference to the absence of crepuscular migration, *Ecology of Freshwater Fish*, 15: 544-551.
- INGERSOLL, C. G., I. HLOHOWSKYJ et N. D. MUNDAHL (1984). Movements and densities of the darters *Etheostoma-flabellare*, *Etheostoma-spectabile*, and *Etheostoma-nigrum* during spring spawning, *Journal of Freshwater Ecology*, 2: 345-351.
- JEPSEN, N., L. E. DAVIS, C. B. SCHRECK, ET B. SIDDENS (2001). The physiological response of chinook salmon smolts to two methods of radio-tagging. Transactions of the American Fisheries Society 130 (3):495-500.
- KAT, P. W. (1984). Parasitism and the Unionacea (Bivalvia), *Biological Review*, 59: 189-207.
- KEMPINGER, J. J. (1988). Spawning and early life history of lake sturgeon in the Lake Winnebago system, Wisconsin, *American Fisheries Societies Symposium*, 5: 110-122.
- KERR, S. J., M. J. DAVISON et E. FUNNELL (2010). *A review of lake sturgeon habitat requirements and strategies to protect and enhance sturgeon habitat*, Fisheries Policy Section, Biodiversity Branch, Ontario Ministry of Natural Resources, Peterborough, Ontario, 58 p. + annexes.
- KERR, L. A. et D. H. SECOR (2009). Bioenergetic trajectories underlying partial migration in Patuxent River (Chesapeake Bay) white perch (*Morone americana*), *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 66: 602-612.
- KERR, L. A. et D. H. SECOR (2010). Latent effects of early life history on partial migration for an estuarine-dependent fish, *Environmental Biology of Fishes*, 89: 479-492.
- KERR, L. A. et D. H. SECOR (2012). Partial migration across populations of white perch (*Morone americana*): A flexible life history strategy in a variable estuarine environment, *Estuaries and Coasts*, 35: 227-236.
- KLAUDA, R. J., J. B. McLAREN, R. E. SCHMIDT et W. P. DEY (1988). Life history of White Perch in the Hudson River Estuary, *American Fisheries Society Monograph*, 4: 69-88.

- KRAUS, R. T. et D. H. SECOR (2004). Dynamics of white perch *Morone americana* population contingents in the Patuxent River estuary, Maryland, USA. *Marine Ecology Progress Series*, 279: 247-259.
- KRAUS, R. T. et D. H. SECOR (2005). Connectivity in estuarine white perch populations of Chesapeake Bay: evidence from historical fisheries data. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 64, 108-118.
- KWAK, T. J. et J. T. PETERSON (2007). Community Indices, Parameters, and Comparisons, dans M. Brown et C. Guy (éditeurs), *Analysis and Interpretation of Freshwater Fisheries Data*, American Fisheries Society, Bethesda MD, p. 677-720.
- LACROIX, G. L., P. McCURDY et D. KNOX (2004). Migration of Atlantic salmon postsmolts in relation to habitat use in a coastal system, *Transactions of the American Fisheries Society*, 133: 1455-1471.
- LaHAYE, M. et R. FORTIN (1990). *Caractérisation de l'habitat de fraie et de l'habitat des juvéniles de l'esturgeon jaune (Acipenser fulvescens) dans la région de Montréal*, Université du Québec à Montréal, Département des Sciences biologiques, Montréal, 41 p. + annexes.
- LaHAYE, M., A. BRANCHAUD, M. GENDRON, R. VERDON and R. FORTIN (1992). Reproduction, early life history, and characteristics of the spawning grounds of the lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*) in Des Prairies and L'Assomption rivers, near Montréal, Québec, *Canadian Journal of Zoology*, 70: 1681-1689.
- LaHAYE, M., S. DESLOGES, C. CÔTÉ, J. DEER, S. PHILIPS JR., B. GIROUX, S. CLERMONT et P. DUMONT (2003). *Localisation des frayères d'esturgeons jaunes (Acipenser fulvescens) dans la partie amont des Rapides de Lachine, fleuve Saint-Laurent*, étude réalisée pour le compte de la Société de la faune et des parcs du Québec, Direction de l'aménagement de la faune de Montréal, de Laval et de la Montérégie, Longueuil, Rapport technique 16-15F, ix + 43 p.
- LaHAYE, M., S. DESLOGES, C. CÔTÉ, A. RICE, S. PHILIPS « JUNIOR », J. DEER, B. GIROUX, S. K. DE CLERK et P. DUMONT (2004). *Recherche et caractérisation des frayères d'esturgeons jaunes (Acipenser fulvescens) dans la partie amont des rapides de Lachine, fleuve Saint-Laurent, en 2003*, étude réalisée pour le compte du ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Direction de l'aménagement de la faune de Montréal, de Laval et de la Montérégie, Longueuil, Rapport technique 16-20F, ix + 48 p.
- LAMONTAGNE D. et L. GILBERT (1990). *Étude des frayères de la rivière Saint-Maurice en aval de la centrale de La Gabelle*, GDG Environnement ltée, pour la vice-présidence Environnement, Hydro-Québec, 111 p. + annexes.
- LA VIOLETTE, N., D. FOURNIER, P. DUMONT, et Y. MAILHOT (2003). Caractérisation des communautés de poissons et développement d'un indice d'intégrité biotique pour le fleuve Saint-Laurent, 1995-1997. Société de la faune et des parcs du Québec, Direction de la recherche sur la faune, 237 p.
- LECLERC, P. (1990). Caractérisation des communautés ichtyennes pour mesurer l'état de santé des écosystèmes du fleuve Saint-Laurent. Le Groupe de Recherche SEEQ ltée, Analex inc. et Service d'analyse des données MESIQ inc., pour le Centre Saint-Laurent, Environnement Canada, Montréal, Québec, 69 p.

- LECOMPTE, F. et J. J. DODSON (2004). Role of early life-history constraints and resource polymorphism in the segregation of sympatric populations of an estuarine fish, *Evolutionary Ecology Research*, 6: 631-658.
- LEGAULT, M. (en préparation). *Reproduction du bar rayé (Morone saxatilis) dans le bassin de la rivière du Sud (Montmagny)*, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction générale de l'expertise sur la faune et ses habitats, Direction de la faune aquatique, Québec.
- MARCHAND F., et Y. DE LAFONTAINE (2003). Hydrological impact on the seasonal occurrence and migratory timing of freshwater fish species in the lower St. Lawrence River. St. Lawrence Center, Environment Canada, Report presented to the International Joint Commission in partial fulfillment of The Plan of Study for Criteria Review for Regulation of Lake Ontario-St. Lawrence River, Montréal, 50 p.
- MALTAIS, E., G. DAIGLE, G. COLBECK et J. J. DODSON (2010). Spawning dynamics of American shad (*Alosa sapidissima*) in the St. Lawrence River, Canada-USA, *Ecology of Freshwater Fish*, 19: 586-594.
- MANSUETI, R. J. (1961). Movements, reproduction and mortality of the white perch, *Roccus americanus*, in the Patuxent estuary, Maryland, *Chesapeake Science*, 2: 142-205.
- MANSUETI, R. J. (1964). Eggs, Larvae, and Young of the White Perch, *Roccus americanus*, with Comments on Its Ecology in the Estuary. *Chesapeake Science*, 5(1/2), 3-45.
- MARTIN, F., R. D. HEDGER, J. J. DODSON, L. FERNANDES, D. HATIN, F. CARON et F. G. WHORISKEY (2009). Behavioural transition during the estuarine migration of wild Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolt, *Ecology of Freshwater Fish*, 18: 406-417.
- MARTINELLI, T. L., H. C. HANSEL et R. S. SHIVELY (1998). Growth and physiological responses to surgical and gastric radio transmitter implantation techniques in subyearling chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*), *Hydrobiologia*, 371-372: 79-87.
- McCABE, G. T. (1990). Use of an artificial substrate to collect white sturgeon eggs, *California Fish and Game*, 76: 248-250.
- McGRATH, P. E. (2005). *Site fidelity, home range, and daily movements of white perch, Morone americana, and striped bass, Morone saxatilis, in two small tributaries of the York River, Virginia*, in Partial Fulfillment Of the Requirements for the Degree of Master of Science, the Faculty of the School of Marine Science, the College of William and Mary, 105 p.
- McGRATH, P. et H. A. AUSTIN. (2009). Site Fidelity, Home Range, and Tidal Movements of White Perch during the Summer in Two Small Tributaries of the York River, Virginia. *Transactions of the American Fisheries Society* 138, 966-974.
- McMAHON, R. F. et A. E. BOGAN (2001). Mollusca: Bivalvia, dans : Thorp J. H. et A. P. Covich, éditeurs, *Ecology and classification of North American freshwater invertebrates*, 2nd edition, Academic Press, San Diego, USA, p. 331-429.
- McLAIN D. C. et M. R. ROSS (2005). Reproduction based on local patch size of *Alasmidonta heterodon* and dispersal by its darter host in the Mill River, Massachusetts, USA, *Journal of the North American Benthological Society*, 24: 139-147.

- MILLER, E. A., H. E. FROELICH, D. E. COCHERELL, M. J. THOMAS, J. J. CECH, JR., A. P. KLIMLEY et N. A. FANGUE (2014). Effects of acoustic tagging on juvenile green sturgeon incision healing, swimming performance, and growth, *Environmental Biology of Fishes*, 97: 647-658.
- MINISTÈRE DES FORÊTS, DE LA FAUNE ET DES PARCS (1999). Banque de données sur les moules d'eau douce du Québec [Extraction du 4 avril 2014].
- MOUSSEAU, P. ET A. ARMELIN (1995). *Synthèse des connaissances sur les communautés biologiques du secteur d'étude Québec-Lévis*. Environnement - Canada région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent. Rapport technique. Zone d'intervention prioritaire 14. 220 p.
- MUNDAHL, N. D. and C. G. INGERSOLL (1983). Early autumn movements and densities of johnny (*Etheostoma nigrum*) and fantail (*Etheostoma flabellare*) darters in a Southwestern Ohio stream, *Ohio Journal of Science*, 83: 103-108.
- NEDEAU, E. J., M. A. MCCOLLOUGH et B. I. SWARTZ (2000). *The freshwater mussels of Maine*, Maine Department of Inland Fisheries and Wildlife, Augusta, Maine, 118 p.
- NILO, P., P. DUMONT et R. FORTIN (1997). Climatic and hydrological determinants of year-class strength of St. Lawrence River lake sturgeon (*Acipenser fluvescens*), *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54: 774-780.
- OKSANEN, J., F. G. BLANCHET, R. KINDT, P. LEGENDRE, P. R. MINCHIN, R. B. O'HARA, G. L. SIMPSON, P. SOLYMOS, M. HENRY, H. STEVENS et HELENE WAGNER (2013). Vegan: Community Ecology Package. R package version 2.010 [<http://CRAN.R-project.org/package=vegan>].
- ONTARIO MINISTRY OF NATURAL RESOURCES (2009). *The lake sturgeon in Ontario*, Fish and Wildlife Branch, Peterborough, Ontario, 48 p. + app.
- PAQUET, G. (1974). Étude physico-chimique et inventaire ichtyologique sommaire du fleuve St-Laurent, 1972 et 1973. Ministère du Tourisme, de la Chasse et de la Pêche, Service de l'Aménagement de la Faune, Québec. Miméo, 12 p. + 18 figures et 8 tableaux.
- PAQUET, G. (1975). Étude physico-chimique et inventaire ichtyologique sommaire du fleuve St-Laurent dans les secteurs pont de Québec – Saint-David et le bras sud de l'île d'Orléans, 1974. Ministère du Tourisme, de la Chasse et de la Pêche, Service de l'Aménagement de la Faune, Québec. Miméo, 12 p. + 5 figures et 8 tableaux.
- PAQUET, A., I. PICARD, F. CARON et S. ROUX (2005). Les mulettes au Québec, *Le Naturaliste canadien*, 129 : 78-85.
- PAQUET, G., R. BOSSÉ et D. CARRIER (1977). *Étude physico-chimique et inventaire ichtyologique sommaires du fleuve Saint-Laurent, 1975*, ministère du Tourisme, de la Chasse et de la Pêche, Service de l'aménagement de la faune, Québec, Miméo, 13 p.
- PAQUET, A., N. DESROSIERS et A. L. Martel (en préparation). *Rapport sur la situation de l'anodonte du gaspareau (*Anodonta implicata*) au Québec*, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Faune Québec.

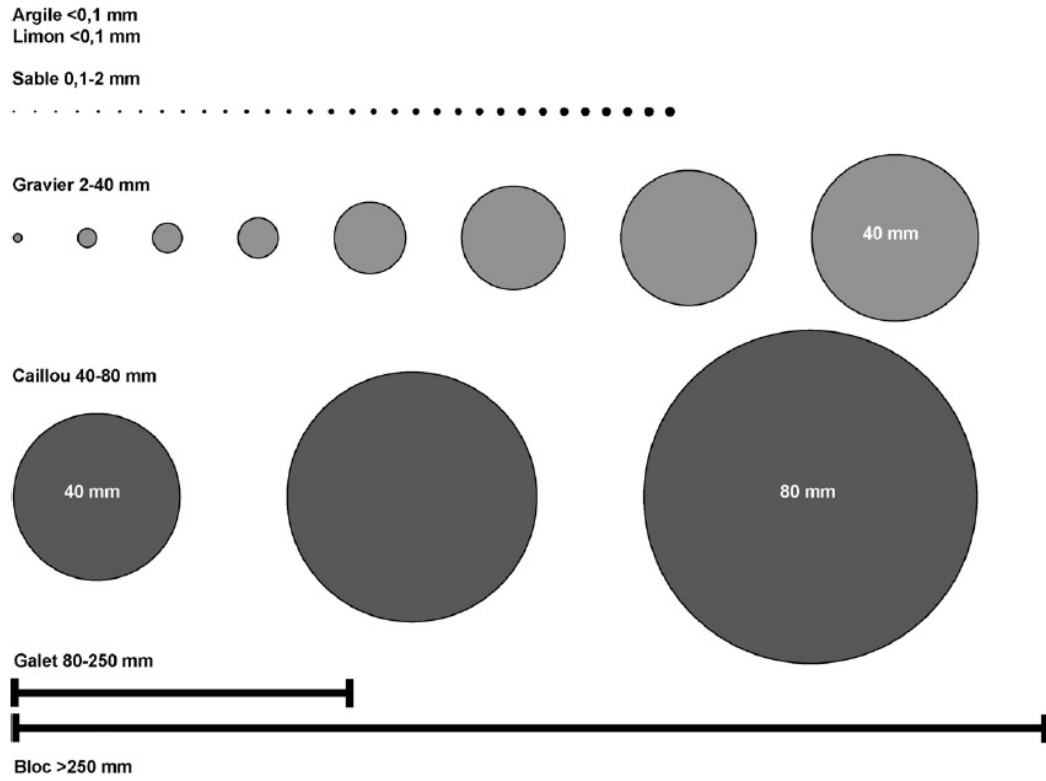
- PÊCHES ET OCÉANS CANADA (2008). *Atlas des courants de marée — estuaire du Saint-Laurent du cap de Bon-Désir à Trois-Rivières*, 108 p.
- PEER, A. C. et T. J. MILLER (2014). Climate Change, Migration Phenology, and Fisheries Management Interact with Unanticipated Consequences, *North American Journal of Fisheries Management*, 34: 94-110.
- PELLETIER, A.-M. (2009). *Premier portrait biologique de la nouvelle population de bars rayés (Morone saxatilis) qui colonise le fleuve Saint-Laurent suite auxensemencements réalisés entre 2002 et 2008*, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'expertise Faune-Forêts-Territoire du Bas-Saint-Laurent, 55 p.
- PELLETIER, A.-M. (2013). *Caractérisation des habitats d'été utilisés par les bars rayés juvéniles de l'année dans l'estuaire du Saint-Laurent*, rapport technique et scientifique dans le cadre du plan de rétablissement du bar rayé de l'estuaire, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction générale du Bas-Saint-Laurent, 44 p.
- PETERSON, D. L., P. VECSEI et C. A. JENNINGS (2007). Ecology and biology of the lake sturgeon: a synthesis of current knowledge of a threatened North American Acipenseridde, *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 17: 59-76.
- PIGEON, D., J. J. DODSON et L. BERNATCHEZ (1998). A mtDNA analysis of spatiotemporal distribution of two sympatric larval populations of rainbow smelt (*Osmerus mordax*) in the St. Lawrence River estuary, Quebec, Canada, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 55: 1739-1747.
- R CORE TEAM (2013). *R: A language and environment for statistical computing*, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, [<http://www.R-project.org/>].
- RICCIARDI, A., F. G. WHORISKEY et J. B. RASMUSSEN (1996). Impact of the Dresseina invasion on native unionid bivalves in the upper St. Lawrence River, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 53: 1434-1444.
- ROBITAILLE, J. A. et Y. VIGNEAULT (1990). L'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) anadrome de l'estuaire du Saint-Laurent: synthèse des connaissances et problématique de la restauration des habitats de fraie dans la rivière Boyer. Rapp. manus. can. sci. halieut. aquat. no 2057: vi + 56 p.
- RONDEAU, B., D. COSSA, P. GAGNON et L. BILODEAU (2000). Budget and sources of suspended sediment transported in the St. Lawrence River, Canada, *Hydrological Processes*, 14: 21-36.
- ROSE, J. D., R. ARLINGHAUS, S. J. COOKE, B. K. DIGGLES, W. SAWYNOK, E. D. STEVENS et C. D. L. WYNNE (2014). Can fish really feel pain?, *Fish and Fisheries*, 15: 97-133.
- SETZLER-HAMILTON, E. (1991). White perch, *Morone americana*, dans Funderbunk S .L., J. A. Mihursky, S. J. Jordan, D. Riley, *Habitat requirements for Chesapeake Bay living resources*, 2nd ed. Chesapeake Research Consortium Solomons, 12-1–12-20.
- SCOTT, W. B. et E. J. CROSSMAN (1974). *Poissons d'eau douce au Canada*, Bulletin 184, ministère de l'Environnement, Service des pêches et des sciences de la mer, Ottawa, 1026 p.
- SHANNON, C. E., et W. WEAVER (1949). *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press, Urbana.

- SHERI, A.N., ET G. POWER. 1968. Reproduction of white perch, *Roccus americana*, in the Bay of Quinte, Lake Ontario. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 25(10): 2225-2231.
- SMITH, F. (2013). *Understanding HPE in the VEMCO Positioning System (VPS)*, V1.0. Document # DOC-005457-01, 31 p.
- SOCIÉTÉ DE LA FAUNE ET DES PARCS DU QUÉBEC (2003). *Atlas des habitats critiques connus ou d'intérêt particulier pour les poissons du fleuve Saint-Laurent entre le port de Montréal et l'île aux Coudres (en vue de l'application de critères fauniques pour le choix d'un site de dépôt en eau libre pour les sédiments dragués)*. Direction du développement de la faune.
- STIVER K. A., S. H. WOLFF et S. H. ALONZO (2012). Adoption and cuckoldry lead to alloparental care in the tessellated darter (*Etheostoma olmstedii*), a non-group-living species with no evidence of nest site limitation, *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 66: 855-864.
- STRAYER, D. L., D. C. HUNTER, L. C. SMITH et C. K. BORG (1994). Distribution, abundance, and roles of freshwater clams (*Bivalvia*, *Unionidae*) in the freshwater tidal Hudson River, *Freshwater Biology*, 31: 239-248.
- STRAYER, D. L et L. C. SMITH (1996). Relationships between zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) and unionid clams during the early stages of the zebra mussel invasion of the Hudson River, *Freshwater Biology*, 36: 771-779.
- STRAYER, D. L et H. M. MALCOM (2007a). Effects of zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) on native bivalves: the beginning of the end or the end of the beginning?, *Journal of the North American Benthological Society*, 26: 111-122.
- STRAYER, D. L et H. M. MALCOM (2007b). Shell decay rates of native and alien freshwater bivalves and implications for habitat engineering, *Freshwater Biology*, 52: 1611-1617.
- STRAYER, D. L. (2008). *Freshwater mussel ecology: A multifactor approach to distribution and abundance*, Freshwater Ecology Series, University of California Press, Los Angeles, 204 p.
- TEXIER, S. (2003). *Inventaire des sites de frayère potentiels et réels de la population d'éperlans arc-en-ciel de la rive sud entre Lotbinière et Matane en 2003*, Société de la faune et des parcs du Québec, Direction de l'aménagement de la faune de la région du Bas-Saint-Laurent, 74 p.
- THERRIEN, J. H., H. MARQUIS, G. SHOONER et P. BÉRUBÉ (1991). *Caractérisation des habitats recherchés pour la fraie des principales espèces de poissons du fleuve Saint-Laurent (Cornwall à Montmagny)*, étude réalisée par le Groupe Environnement Shooner inc. pour le compte des ministères des Pêches et des Océans et de l'Environnement du Canada, 16 p. + un atlas.
- THIEM, J. D., D. HATIN, P. DUMONT, G. VAN DER KRAAK et S. J. COOKE (2013). Biology of lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*) spawning below a dam on the Richelieu River, Quebec: behaviour, egg deposition, and endocrinology, *Canadian Journal of Zoology/Revue canadienne de zoologie*, 91:175-186.
- TRENCIA, G. (1990). Inventaire ichthyologique de la côte de Beaupré. Direction régionale de Québec, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune, Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, vi + 18 p. et 5 annexes.

- TRENCIA, G. et D. FOURNIER (1999). *Vérification de la fraye de l'éperlan arc-en-ciel dans des tributaires du Saint-Laurent en 1995*, Faune et Parcs Québec, Direction régionale de la Chaudière-Appalaches, Service de la faune et du milieu naturel, 7 p.
- TRENCIA, G. et B. LANGEVIN (2008). *Chronologie de la reproduction de l'éperlan arc-en-ciel dans le secteur de Beaumont*, ministère des Ressources Naturelles et de la Faune, Direction de l'Aménagement de la Faune, Région de la Chaudière-Appalaches, 7 p.
- VERDON, R. et M. GENDRON (1991). *Creation of an artificial spawning ground downstream of the Riviere des Prairies spillway*, Hydraulic Power Section, Engineering and Operating Division, Canadian Electrical Association, Vancouver, British Columbia, 14 p.
- VERREAULT, G., P. PETTIGREW, R. TARDIF et G. POULIOT (2002). The exploitation of the migrating silver American eel in the St. Lawrence River Estuary, Quebec, Canada, dans *Biology, Management, and Protection of Catadromous Eels*, édité par D. A. Dixon.
- WANG, Y. L., F. P. BINKOWSKI et S. I. DOROSHOW (1985). Effects of temperature on early development of white and lake sturgeon, *Acipenser transmontanus* and *A. fulvescens*, dans *North American sturgeons: biology and aquaculture potential*, American fisheries Society, Dr. W. Junk publisher, p. 43-50.
- WARD, J. H., Jr. (1963). Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function, *Journal of the American Statistical Association*, 58: 236-244.
- WELSH, A., T. HILL, H. QUINLAN, C. ROBINSON and B. MAY (2008). Genetic assessment of lake sturgeon population structure in the Laurentian Great Lakes, *North American Journal of Fisheries Management*, 28: 572-591.
- WINTER, J. D. (1983). Underwater biotelemetry, p. 371-395, dans L. A. Nielsen et D. L. Johnson, éditeurs, *Fisheries techniques*, American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.
- Zuerlein, G. (1981). The white perch, *Morone americana* (Gmelin) in Nebraska. Nebraska Technical Series No.8. Nebraska Game and Parks Commission. 108 p.

Annexes

Annexe 1 : Classes de taille du substrat pour caractérisation



Note : En raison de la reprographie, la taille réelle des objets illustrés n'est pas exacte

Annexe 2 : Caractéristiques des stations d'échantillonnage pour les pêches expérimentales au filet maillant benthique et à la seine de rivage

N° Station	Secteur	Type d'engin	Latitude	Longitude	Profondeur approximative (m)
F01	Site de l'étude	Filet maillant benthique	46,88551	-71,13294	5,90
F02	Site de l'étude	Filet maillant benthique	46,88356	-71,12796	6,50
F03	Site de l'étude	Filet maillant benthique	46,87514	-71,14188	6,60
F04	Site de l'étude	Filet maillant benthique	46,87316	-71,13155	8,10
F05	Témoin	Filet maillant benthique	46,91019	-71,09029	5,90
F06	Témoin	Filet maillant benthique	46,90567	-71,07789	5,00
F07	Témoin	Filet maillant benthique	46,85071	-71,16173	6,90
F08	Témoin	Filet maillant benthique	46,84892	-71,14397	6,90
S01	Site de l'étude	Seine de rivage	46,88627	-71,13887	1,00
S02	Site de l'étude	Seine de rivage	46,88139	-71,12335	1,00
S03	Site de l'étude	Seine de rivage	46,87777	-71,15047	1,00
S04	Site de l'étude	Seine de rivage	46,87257	-71,12417	1,00
S05	Témoin	Seine de rivage	46,90939	-71,09671	1,00
S06	Témoin	Seine de rivage	46,90462	-71,07549	1,00
S07	Témoin	Seine de rivage	46,85719	-71,13533	1,00
S08	Témoin	Seine de rivage	46,84979	-71,14122	1,00

Annexe 3 : Méthodes utilisées pour l'identification à l'espèce à l'aide des outils génétiques

Par : Guillaume Côté et Eliane Valiquette

Extraction de l'ADN

Pour tous les échantillons, l'ADN a été extrait et purifié selon un protocole d'extraction aux sels modifié d'Aljanabi et Martinez (1997). Afin d'obtenir un morceau de tissu d'environ 1 à 5 mm², un bout de nageoire de 1 à 5 mm² était prélevé sur les plus gros poissons et une section d'environ 5 mm de longueur était prélevée le plus près possible de la queue pour les larves. Quant aux œufs, ils étaient traités en entier, un à un.

Amplification

Une région de l'ADN mitochondrial a été amplifiée par réaction en chaîne de la polymérase (PCR) afin de déterminer l'espèce de chaque individu. Une région d'environ 750 paires de bases du gène de la cytochrome oxydase I (COI) a été amplifiée à l'aide des amorces VF2-t1 et VR1-t1 décrites dans Ivanova et al. 2007 (tableau A1). Une étude de code-barre à ADN a démontré que ce gène possède plusieurs variations diagnostiques entre toutes les espèces du Québec (Hubert et al. 2008).

Tableau A1. Séquence et température d'appariement des amorces utilisées pour l'amplification du gène de la cytochrome oxydase I de l'ADN mitochondrial.

Amorce	Séquence des amorces (5'-3')	Température d'appariement (°C)
VF2-t1	TGTAAAACGACGGCCAGTCAACCAAC CACAAAGACATTGGCAC	50
VR1-t1	CAGGAAACAGCTATGACTAGACTTCTGG GTGGCCAAAGAATCA	

Séquençage

Les produits de la PCR ont été envoyés au laboratoire d'analyse et de synthèse d'acide nucléique de l'Insitut de biologie intégrative et des systèmes (IBIS) à l'Université Laval afin de procéder au séquençage automatisé. Le service de séquençage a d'abord purifié les produits par un traitement à l'ExoSAP-IT (GE Healthcare) qui dégrade les amorces et déphosphoryle les dNTP et a ensuite visualisé les résultats de séquençage à l'aide d'un séquenceur automatisé ABI Prism 313md (Applied Biosystems).

Identification

Les séquences des produits de la PCR de la région de la cytochrome oxydase 1 amplifiée ont été éditées à l'aide du logiciel Geneious version 6.1 (Biomatters, disponible sur le site <http://www.geneious.com/>). Les séquences obtenues ont été comparées aux séquences références sur le site du National Center for Biotechnology Information (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>). Le seuil utilisé pour identifier l'espèce des échantillons était la valeur d'identité (nombre de paires de bases identiques entre la séquence de référence et la séquence soumise). La valeur de seuil devait être supérieure à 98 %.

Références citées :

- ALJANABI, S. M. and I. MARTINEZ (1997). "Universal and rapid salt-extraction of high quality genomic DNA for PCR-based techniques", *Nucleic Acids Research*, 25: 4692-4693.
- HUBERT, N., R. HANNER, E. HOLM, N. E. MANDRAK, E. TAYLOR, M. BURRIDGE, D. WATKINSON, P. DUMONT, A. CURRY, P. BENTZEN, J. ZHANG, J. APRIL and L. BERNATCHEZ (2008). "Identifying Canadian Freshwater Fishes through DNA Barcodes", *PLOS One*, 3: e2490.
- IVANOVA N. V., J. DEWAARD, P. D. N. HEBERT (2006). "An inexpensive, automation-friendly protocol for recovering high-quality DNA", *Molecular Ecology Notes*, 6: 998-1002.

*Forêts, Faune
et Parcs*

Québec 